

MARIA ISABEL TAVARES PINHEIRO MARTINS

**A ENERGIA NAS REACÇÕES QUÍMICAS:
MODELOS INTERPRETATIVOS USADOS
POR ALUNOS DO ENSINO SECUNDÁRIO**

UNIVERSIDADE DE AVEIRO

1989

MARIA ISABEL TAVARES PINHEIRO MARTINS

OFERTA



UNIVERSIDADE DE AVEIRO
SERVIÇOS DE DOCUMENTAÇÃO

**A ENERGIA NAS REACÇÕES QUÍMICAS:
MODELOS INTERPRETATIVOS USADOS
POR ALUNOS DO ENSINO SECUNDÁRIO**

Dissertação apresentada
para obtenção do grau de doutor

Universidade de Aveiro

AVEIRO, 1989



55271

"... There is no learning without a learner.
And there is no meaning without a
meaning maker..."

N. Postman and C. Weingartner
1969

(In *Teaching as a Subversive Activity*,
Middlesex and N. Y.: Penguin Books, p. 85)

AGRADECIMENTOS

Manifesto o meu grande apreço e agradecimento sincero pelos apoios recebidos, os quais contribuíram para a realização do trabalho de investigação apresentado.

Ao Prof. Doutor António Francisco Carrelhas Cachapuz, a sua orientação crítica, a disponibilidade e paciência, a confiança depositada e os incentivos dirigidos durante a supervisão de todo o trabalho.

Aos alunos que aceitaram participar no estudo, através das entrevistas, a sua generosidade pelo tempo que me concederam e pelo empenho com que o fizeram.

À professora de Química dos alunos envolvidos (estudos piloto e principal), Dr^a Maria Manuel Félix, a gentileza de ter permitido o contacto com os seus alunos nas turmas, bem como o apoio dado aos pedidos de colaboração solicitados.

Aos professores envolvidos na administração do Teste diagnóstico e do Questionário, o tempo de aula dispensado para o efeito.

Às professoras de Química, Dr^a M. Isabel Cerqueira e Dr^a M. Luísa Ramos, a aceitação da tarefa morosa de validação da análise de protocolos.

À Universidade de Aveiro, Departamento de Química e Departamento de Didáctica e Tecnologia Educativa, a concessão de dispensa de serviço docente, e respectiva equiparação a bolseiro, que permitiu o avanço em períodos cruciais do trabalho.

Ao Instituto Nacional de Investigação Científica, todo o apoio financeiro recebido, nomeadamente a bolsa de estudo para doutoramento no país, a qual custeou despesas de duas deslocações a uma universidade inglesa, para um estágio e participação num seminário, e ainda permitiu aquisição de bibliografia.

À Margarida Vilela, o cuidado posto no processamento do texto manuscrito e a paciência com que o fez.

À minha sobrinha Cláudia, a grande ajuda que me dispensou na correcção das provas dactilográficas do Apêndice, vol. II, e a boa vontade que sempre manifestou numa tarefa tão cansativa.

A todos os meus familiares, amigos e colegas, os incentivos de estímulo e a compreensão com que "acompanharam" este trabalho. Uma palavra de reconhecimento muito especial ao meu marido e aos meus filhos, Ana e Jorge, por todo o carinho e ternura e pelo modo como ao longo destes anos, em particular em períodos especialmente difíceis, tão bem souberam ajudar-me.

RESUMO

O estudo apresentado refere-se a ideias alternativas de alunos do ensino secundário e 3º ciclo do ensino básico sobre "A Energia nas Reacções químicas", um tema curricular de grande importância, com dificuldades de aprendizagem para os alunos e ainda pouco investigadas.

A investigação conduzida é fundamentalmente do tipo descritivo e procurou identificar as ideias alternativas usadas pelos alunos e analisar a sua consistência em diferentes tarefas. Cuidados metodológicos foram tomados em conta, tendo-se realizado um estudo pré-piloto e um estudo piloto.

Seleccionou-se uma amostra de 30 alunos (15 do 9º ano e 15 do 11º ano, aproximadamente com 15 e 17 anos), e utilizou-se a entrevista individual do tipo clínico, semi-estruturada, como instrumento colector de comportamentos dos alunos relativos a quatro tarefas de formato experimental realizadas, uma por uma, na presença de cada aluno. As quatro tarefas (reacções químicas) escolhidas apresentavam características variadas: familiares no quotidiano e académicas; reacções endotérmicas e reacções exotérmicas; reacções espontâneas e reacções iniciadas.

A análise das respostas dos alunos foi do tipo ideográfico, baseada no método proposto por Erickson (1979). Tomaram-se em conta procedimentos com vista a aumentar a validade dos resultados obtidos.

Para cada uma das quatro tarefas foi possível identificar e caracterizar diversos tipos de ideias explicativas – categorias de resposta – relativas quer aos aspectos estruturais quer aos aspectos energéticos. A partir de tais ideias, definiram-se meta-ideias as quais ultrapassavam os aspectos particulares de cada tarefa, e, por isso, poderiam eventualmente funcionar como modelos interpretativos usados pelos alunos. Foram quatro as meta-ideias identificadas:

- o modelo de "Reagente Principal" (um dos reagentes assume uma função preponderante no desenrolar da reacção química);

- "Modelos Sequenciais" (as reacções químicas processam-se em duas etapas sequenciais, a saber, "destruição" de reagentes seguida de formação de produtos);
- "Modelos de Activação" (a energia fornecida durante o processo de activação do sistema reaccional pode ou ficar "acumulada" no sistema ou "circular" para o exterior);
- Modelos de "Estado Físico-Energia" (a energia associada aos subsistemas dos reagentes e dos produtos da reacção é interpretada em função do estado físico dos componentes respectivos).

De cada uma das meta-ideias é apresentada uma discussão que visa apontar razões possíveis para a sua origem.

Os resultados obtidos permitiram concluir que:

- os alunos do 11^º ano se centraram mais do que os do 9^º ano, em aspectos formais e estes em critérios observáveis. Quer uns quer outros estiveram longe de reflectir versões científicas propostas;
- as ideias alternativas persistiram à instrução;
- a consistência das meta-ideias não foi elevada o que pode significar serem estas apenas localmente válidas;
- o aumento do contexto químico das tarefas teve maior influência no tipo (químico) de explicações dos alunos do 11^º ano do que nas explicações dos alunos do 9^º ano.

Numa segunda etapa procurou-se conhecer qual a extensão das ideias identificadas via entrevista, em outros alunos, através de um questionário escrito elaborado a partir das ideias inferidas. O estudo envolveu 448 alunos (262 do 9^º ano e 186 do 11^º ano) e verificou-se que estes aceitaram substancialmente tais ideias, o que sugere a sua generalidade. Tal questionário pode ser um instrumento diagnóstico de ideias dos alunos, a utilizar pelos professores na sala de aula.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1

	Pág.
INTRODUÇÃO	1
1.1 - A INVESTIGAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIA: PERSPECTIVAS ACTUAIS	1
1.2 - OS PARADIGMAS VIGENTES EM INVESTIGAÇÃO EDUCACIONAL: SUA NATUREZA E PRINCIPAIS DIFERENÇAS	3
1.3 - PERCURSO DA INVESTIGAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIA	5
1.4 - O CONSTRUTIVISMO E AS IDEIAS ALTERNATIVAS	8
1.4.1 - Conhecimento científico e conhecimento do senso comum	9
1.4.2 - Importância do estudo das ideias alternativas	12
1.4.3 - Características das ideias alternativas	16
1.4.4 - Origem das ideias alternativas	17
1.4.5 - Situação actual da investigação sobre ideias alternativas	18
1.4.6 - O problema da terminologia	21
1.4.7 - Limitações dos estudos sobre ideias alternativas	23
1.5 - O PROBLEMA EM INVESTIGAÇÃO	25
1.5.1 - Selecção do tema químico	25
1.5.2 - Escolha do nível de escolaridade dos alunos	28
1.5.3 - Pressupostos do estudo	31
1.5.4 - Objectivos do estudo	31
1.5.5 - Plano do estudo	31

CAPÍTULO 2

REVISÃO DE LITERATURA	34
2.1 - ESTUDOS PUBLICADOS: SUA DIVERSIDADE	34
2.2 - ORGANIZAÇÃO DA REVISÃO DOS ESTUDOS	37
2.3 - O PROBLEMA DA CONSTITUIÇÃO E ESTRUTURA DA MATÉRIA	38

2.4 - O PROBLEMA DAS REACÇÕES QUÍMICAS	57
2.4.1 - Aspectos gerais	57
2.4.2 - O caso particular das reacções de combustão	66
2.4.3 - Outros casos particulares	69
2.4.3.1 - Equilíbrio químico	70
2.4.3.2 - Ácidos e bases	72
2.4.4 - O caso particular da Termodinâmica química	73
CAPÍTULO 3	
METODOLOGIA DA INVESTIGAÇÃO	78
3.1 - INTRODUÇÃO	78
3.2 - ESCOLHA DA TÉCNICA DE INVESTIGAÇÃO	78
3.2.1 - Avaliação das técnicas disponíveis	78
3.2.1.1 - Testes de associação de palavras	79
3.2.1.2 - Definições livres	80
3.2.1.3 - Técnicas de conhecimento declarativo	81
3.2.1.4 - Entrevista clínica	82
3.2.1.5 - Escolha da técnica	86
3.3 - SELECÇÃO DOS ALUNOS	89
3.3.1 - Critérios usados na selecção dos alunos	89
3.3.2 - Recrutamento dos alunos	91
3.3.3 - Caracterização das amostras	91
3.4 - SELECÇÃO DAS TAREFAS	92
3.4.1 - Critérios de selecção	92
3.4.2 - Estudo pré-piloto	96
3.4.2.1 - Objectivos do estudo pré-piloto	96
3.4.2.2 - Tarefas utilizadas e decisões tomadas	96
3.4.3 - Teste diagnóstico	99
3.5 - ESTUDO PILOTO	102

3.5.1 - Objectivos do estudo	102
3.5.2 - Ordenação e formato das tarefas	103
3.5.2.1 - Cozedura do ovo	103
3.5.2.2 - Combustão do papel	105
3.5.2.3 - Reacção entre o sódio e a água	105
3.5.2.4 - Reacção entre o cloreto de amónio e a água	106
3.5.2.5 - Novamente a cozedura do ovo	107
3.5.3 - Administração das tarefas	108
3.5.4 - Decisões tomadas	108
3.6 - FORMAÇÃO DE CATEGORIAS DE CONTEÚDO	109
3.7 - QUESTÕES COLOCADAS	111
3.7.1 - Critérios usados na formulação das questões	111
3.7.2 - Principais questões	112
3.8 - ESTUDO PRINCIPAL	115
3.8.1 - Administração do instrumento de investigação	116
3.8.2 - Condução da entrevista por aluno - alguns dados	122
3.9 - OBTENÇÃO DOS PROTOCOLOS ESCRITOS	123
3.9.1 - Limitações da transcrição	123
3.9.2 - Critérios e convenções utilizadas	124
3.9.3 - Realização da transcrição e codificação	124

CAPÍTULO 4

MÉTODO DE ANÁLISE DOS PROTOCOLOS	127
4.1 - INTRODUÇÃO	127
4.2 - ANÁLISE DE CONTEÚDO	127
4.2.1 - Importância de uma análise de conteúdo	127
4.2.2 - Enquadramento teórico da análise	129
4.3 - ESCOLHA DO MÉTODO DE ANÁLISE DO CONTEÚDO	130
4.3.1 - Fundamentação da escolha do método	130

4.3.2 - Descrição do método de análise do conteúdo	132
4.3.3. - Limitações do método de análise	135
4.4 - CONSTRUÇÃO DAS CATEGORIAS DE RESPOSTA	135
4.4.1 - Modelo de trabalho utilizado	135
4.4.1.1 - Caso da 1ª tarefa	139
4.4.1.2 - Caso da 2ª tarefa e seguintes	140
4.4.1.3 - Mapas de atributos	141
4.4.2 - Um exemplo	143
4.5 - FIDELIDADE E VALIDADE DOS RESULTADOS	145
4.6 - RESPOSTAS ADEQUADAS	150
4.6.1 - Significado da resposta adequada e interesse metodológico	150
4.6.2 - Respostas adequadas para a Componente estrutural	151
4.6.3 - Respostas adequadas para a Componente energética	155
4.6.4 - Atributos discriminantes nas R.A. do 11º ano	157
4.7 - ORGANIZAÇÃO DOS RESULTADOS	159

CAPÍTULO 5

RESULTADOS DA ANÁLISE: COZEDURA DO OVO	160
5.1 - INTRODUÇÃO	160
5.2 - CATEGORIAS DE RESPOSTA PARA A	
COMPONENTE ESTRUTURAL	160
5.2.1 - Natureza das categorias de resposta	160
5.2.1.1 - Interação sequencial	161
5.2.1.2 - Redistribuição	162
5.2.1.3 - Solidificação energética	162
5.2.1.4 - Empacotamento por dilatação	163
5.2.1.5 - Empacotamento sem dilatação	164
5.2.1.6 - Outra	165
5.2.1.7 - Não identificada	165

5.2.2 - Extensão das categorias de resposta	166
5.3 - CATEGORIAS DE RESPOSTA PARA A COMPONENTE ENERGÉTICA	168
5.3.1 - Natureza das categorias,de resposta	168
5.3.1.1 - Captação energética	169
5.3.1.2 - Dissipação da energia	169
5.3.1.3 - Absorção sequencial	170
5.3.1.4 - Modelo mecanicista	170
5.3.1.5 - Modelo do senso comum	172
5.3.1.6 - Outra e Não identificada	172
5.3.2 - Extensão das categorias de resposta	172

CAPÍTULO 6

RESULTADOS DA ANÁLISE: COMBUSTÃO DO PAPEL	175
6.1 - INTRODUÇÃO	175
6.2 - CATEGORIAS DE RESPOSTA PARA A COMPONENTE ESTRUTURAL	175
6.2.1 - Natureza das categorias de resposta	175
6.2.1.1 - Interação sequencial	176
6.2.1.2 - Aglutinação	176
6.2.1.3 - Modificação do papel	177
6.2.1.4 - Outras	178
6.2.2 - Extensão das categorias de resposta	179
6.3 - CATEGORIAS DE RESPOSTA PARA A COMPONENTE ENERGÉTICA	181
6.3.1 - Natureza das categorias de resposta	181
6.3.1.1 - Modelo sequencial substractivo	182
6.3.1.2 - Modelo sequencial aditivo	183
6.3.1.3 - Caixa de energia	183

6.3.1.4 - Substâncias combustíveis	184
6.3.1.5 - Outras	185
6.3.2 - Extensão das categorias de resposta	186

CAPÍTULO 7

RESULTADOS DA ANÁLISE: REACÇÃO ENTRE O SÓDIO E A ÁGUA	189
7.1 - INTRODUÇÃO	189
7.2 - CATEGORIAS DE RESPOSTA PARA A COMPONENTE ESTRUTURAL	189
7.2.1 - Natureza das categorias de resposta	189
7.2.1.1 - Interacção sequencial	190
7.2.1.2 - Desidrogenação	191
7.2.1.3 - Aglutinação	191
7.2.1.4 - Difusão	192
7.2.1.5 - Outras	193
7.2.2 - Extensão das categorias de resposta	194
7.3 - CATEGORIAS DE RESPOSTA PARA A COMPONENTE ENERGÉTICA	197
7.3.1 - Natureza das categorias de resposta	197
7.3.1.1 - Libertação	198
7.3.1.2 - Absorção	199
7.3.1.3 - Espontâneo	199
7.3.1.4 - Indução	200
7.3.1.5 - Outras e Não identificada	200
7.3.2 - Extensão das categorias de resposta	201
7.3.3 - Ideias sobre a origem da chama	203

CAPÍTULO 8

RESULTADOS DA ANÁLISE: REACÇÃO ENTRE O CLORETO DE AMÓNIO E A ÁGUA	207
8.1 - INTRODUÇÃO	207
8.2 - CATEGORIAS DE RESPOSTA PARA A COMPONENTE ESTRUTURAL	207
8.2.1 - Natureza das categorias de resposta	207
8.2.1.1 - Interação sequencial	208
8.2.1.2 - Fragmentação	209
8.2.1.3 - Aglutinação	209
8.2.1.4 - Difusão	209
8.2.1.5 - Mistura	210
8.2.1.6 - Outra e Não identificadas	211
8.2.2 - Extensão das categorias de resposta	211
8.3 - CATEGORIAS DE RESPOSTA PARA A COMPONENTE ENERGÉTICA	213
8.3.1 - Natureza das categorias de resposta	213
8.3.1.1 - Transferência sequencial	214
8.3.1.2 - Dissipação	215
8.3.1.3 - Absorção	215
8.3.1.4 - É inexplicável	216
8.3.1.5 - Outras	217
8.3.2 - Extensão das categorias de resposta	218

CAPÍTULO 9

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	221
9.1 - INTRODUÇÃO	221
9.2 - A META-IDEIA REAGENTE PRINCIPAL	222
9.2.1 - Caracterização da meta-ideia Reagente Principal (RP)	222

9.2.2 - Discussão da meta-ideia "Reagente Principal"	226
9.2.2.1 - Percepção do sistema	226
9.2.2.2 - Linguagem	232
9.2.2.3 - Instrução	233
9.2.2.4 - Razões culturais	235
9.3 - A META-IDEIA MODELOS SEQUENCIAIS	237
9.3.1 - Caracterização da meta-ideia Modelos Sequenciais (MS)	237
9.3.2 - Discussão da meta-ideia "Modelos Sequenciais"	240
9.3.2.1 - Analogia mecânica	241
9.3.2.2 - Sequencialidade e rapidez de reação	242
9.4 - A META-IDEIA MODELOS DE ACTIVAÇÃO TÉRMICA	243
9.4.1 - Posição do problema	243
9.4.2 - Caracterização da meta-ideia Modelos de Activação (MA)	244
9.4.3 - Discussão da meta-ideia "Modelos de Activação"	247
9.5 - A META-IDEIA MODELOS DE ARTICULAÇÃO	
ESTADO FÍSICO-ENERGIA	250
9.5.1 - Posição do problema	250
9.5.2 - Caracterização da meta-ideia Estado Físico-Energia	250
9.5.3 - Discussão da meta-ideia "Modelo EFE"	252
9.6 - CONSISTÊNCIA DAS META-IDEIAS	255
9.6.1 - Posição do problema	255
9.6.2 - Análise da consistência das meta-ideias	259
9.7 - EXTENSÃO DAS META-IDEIAS A OUTROS ALUNOS	264
9.7.1 - Posição do problema	264
9.7.2 - Questionário-piloto	265
9.7.3 - Resultados da resposta ao questionário	267
9.7.3.1 - Extensão da meta-ideia "Reagente Principal"	268
9.7.3.2 - Extensão da meta-ideia "Modelos Sequenciais"	269
9.7.3.3 - Extensão da meta-ideia "Modelos de Activação"	271

9.7.3.4 - Extensão da meta-ideia "Modelo EFE"	272
9.8 - INFLUÊNCIA DO CONTEXTO	273
9.8.1 - Posição do problema	273
9.8.2 - Tarefas familiares <i>versus</i> tarefas acadêmicas	274
9.8.3 - "Cozedura do ovo" <i>versus</i> "clara do ovo mais ácido sulfúrico"	275
9.8.4 - Influência do contexto situacional sobre a "Cozedura do ovo"	277

CAPÍTULO 10

CONCLUSÕES, IMPLICAÇÕES EDUCACIONAIS E SUGESTÕES	281
10.1 - INTRODUÇÃO	281
10.2 - SUMÁRIO DAS CONCLUSÕES PRINCIPAIS	281
10.3 - LIMITAÇÕES DO ESTUDO	284
10.4 - IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO	285
10.5 - SUGESTÕES PARA FUTURAS INVESTIGAÇÕES	286

REFERÊNCIAS	290
-------------	-----

ANEXOS

ANEXO I – Protocolo com anotações: um exemplo	A1
ANEXO II – Instruções aos juízes	A9
ANEXO III – Meta-ideias: Distribuição dos alunos	A12
Tabela A9.1	A13
Tabela A9.2	A14
Tabela A9.3	A15
Tabela A9.4	A16
ANEXO IV – Meta-ideias: Coeficientes de consistência	A17
Tabela A9.5	A18
Tabela A9.6	A19
Tabela A9.7	A20

Tabela A9.8	A21
ANEXO V – Questionário-Piloto e Resultados	A22
Questionário	A23
Tabela A9.9	A29

- CAPÍTULO 1 -

INTRODUÇÃO

1.1 - A INVESTIGAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIA: PERSPECTIVAS ACTUAIS

O avanço verificado no conhecimento científico e tecnológico na segunda metade deste século tem colocado grandes interrogações sobre as finalidades da educação em geral e da educação em ciência, em particular. Tendo sido reconhecido por muitos educadores e investigadores em todo o mundo, o interesse da educação em ciência (ver, por exemplo, ASE 1979 e ASE 1981) que serviu de inspiração a reformas curriculares importantes desenvolvidas nas décadas de 60 e início de 70, a evolução registada nos anos 80 sobre educação em ciência pode traduzir-se pelo "slogan" adoptado: "Ciência para todos" (Fensham 1985; Hodson and Reid 1988a). Mas, tal como defende Frazer (1984, p.4) não basta para isso que todos os adolescentes e jovens frequentem cursos de ciência. É necessário que esses cursos sejam apropriados às necessidades, capacidades e interesses dos alunos, o que implica, forçosamente, alterações quer nos conteúdos como nos métodos utilizados.

Uma ideia aceite por muitos educadores é a de que o tipo de ensino de ciência proporcionado desde a idade pré-escolar afecta o modo como os cidadãos podem compreender situações mais complexas, assim como o modo como se adaptam e tomam parte na mudança. A explosão de novas tecnologias e de nova informação (a informação disponível duplica em cada dois anos e meio (Linn 1987)) despertou os educadores em ciência para a revisão das abordagens de ensino tradicionais e para o estabelecimento de novas prioridades. Embora tenham sido feitos grandes esforços não existe ainda consenso a este respeito. No entanto, a ideia de que um dos desafios colocados aos educadores hoje é o de preparar os alunos para uma vida de aprendizagem autónoma,

parece oferecer poucas dúvidas.

Apesar do sucesso conseguido pela comunidade científica no avanço de fronteiras do conhecimento, não se pode dizer que o mesmo tenha sucedido na preparação de cidadãos suficientemente informados para tomarem decisões adequadas sobre a multiplicidade de situações conotadas como ocorrências científicas, com que se confrontam no dia-a-dia. Conseguir isto passa pela concepção, planificação e organização de um ensino mais eficaz fortemente articulado com resultados de investigação educacional, e onde é necessário rever as condições de trabalho dos próprios professores (organização curricular e funcionamento das escolas). Para isso é necessário desenvolver estudos de pesquisa que apontem propostas compreensíveis e plausíveis para os seus utilizadores (Hewson 1981).

Embora se tenha verificado nos últimos anos um aumento crescente de resultados de investigação em educação em ciência transferidos para práticas de sala de aula (Shymansky and Kyle 1988) a situação está longe de se considerar resolvida. Em particular, muito há a fazer em Portugal no sentido de uma melhor articulação entre a investigação educacional e as práticas educativas, sendo necessário clarificar a natureza e condições que levam às presentes rupturas (Cachapuz 1987). As recomendações apresentadas (por exemplo, Yeoman 1980) apontam para a procura de uma profunda interrelação dinâmica entre os elementos do trinómio "teoria (investigação) - elaboração de currículos - práticas de sala de aula", cada um dos quais é alimentado e alimenta os outros dois. Esta articulação parece pois ser imprescindível tendo em vista a melhoria da preparação científica dos cidadãos de amanhã. Naturalmente que tal interrelação passa também pela revisão dos cursos de formação de professores, inicial e contínua, esta última diversificada consoante as necessidades a identificar nos próprios professores.

Uma perspectiva que tem despertado em todo o mundo a atenção de investigadores e professores de ciência de todos os níveis de escolaridade, diz respeito à importância de conhecer e compreender os processos usados pelos alunos para interpretar situações muito variadas e em diversas áreas científicas. Parece pois ser opinião aceite por muitos que a investigação educacional, tal como o ensino, deve

privilegiar o aluno como sujeito dessa investigação, contrariamente ao que ainda é fortemente considerado - professores e recursos curriculares. Por outras palavras, a investigação educacional deve centrar-se sobre os problemas da aprendizagem e depois, e a partir deles, deve abordar problemas do ensino.

1.2 - OS PARADIGMAS (*) VIGENTES EM INVESTIGAÇÃO EDUCACIONAL: SUA NATUREZA E PRINCIPAIS DIFERENÇAS

Nesta secção pretende-se caracterizar as duas perspectivas extremas segundo as quais se tem conduzido a investigação educacional (I.E.) e posições assumidas em torno da discussão epistemológica.

O crescimento verificado em estudos de investigação educacional, em particular nos anos de 60 e 70, permitiu tornar claro a existência de trabalhos com duas inspirações filosóficas distintas: o paradigma científico e o paradigma humanista (Driver and Easley 1978; Keeves 1988).

(1) Segundo o paradigma científico a I.E., à semelhança do que acontece nas ciências físicas, deve preocupar-se em explicar os acontecimentos e prever comportamentos futuros. Trata-se de uma posição fortemente inspirada por correntes positivista e empiricista do séc. XIX, também designada por paradigma explicativo.

(2) Segundo o paradigma humanista a I.E. deve procurar interpretar e compreender o que acontece em termos de intenções, motivos e razões; trata-se de uma posição com raízes aristotélicas, referida também como paradigma interpretativo.

Na tabela 1.1 apresentam-se, de modo simplificado, as principais características de cada um dos dois paradigmas dominantes.

(*) Por "paradigma" entende-se aqui o modelo a seguir na investigação científica (um dos significados adoptados por Kuhn).

Tabela 1.1 - Paradigmas Científico e Humanista: suas características

Paradigma Científico	Paradigma Humanista
Indivíduo - a máquina	Indivíduo - o cientista
Conhecimento como acumulação de factos	Conhecimento como significação da realidade
Carácter explicativo	Carácter interpretativo
Análise nomotética	Análise ideográfica
Análise objectiva	Análise subjectiva
Métodos quantitativos (procedimentos matemáticos e/ou estatísticos)	Métodos qualitativos (descrições)
Amostras grandes	Amostras pequenas
Fidelidade e validade (replicabilidade de resultados e métodos)	Autenticidade
Generalização de resultados	Não-generalização de resultados
Visão reducionista	Visão holística
Metodologias rígidas (testes objectivos)	Metodologias flexíveis (entrevistas, observações de sala de aula com participação dos investigadores)

O debate conduzido pela comunidade científica sobre os dois paradigmas, veio a traduzir-se em duas tomadas de posição distintas (Walker and Evers 1988) as quais têm em comum a ideia de que eles são epistemologicamente diferentes.

(1) A diversidade oposicional: os dois paradigmas são incompatíveis e representam modos competitivos de investigar na mesma área.

(2) A diversidade complementar: os dois paradigmas são complementares e não são competitivos visto cada um deles se aplicar num determinado campo de investigação (por exemplo, Smith (1987) considera que a metodologia apropriada numa perspectiva é considerada irrelevante na outra).

Na última década foi possível clarificar os pontos fortes e os pontos fracos de cada um dos paradigmas de modo que as posições hoje assumidas pela maioria dos investigadores educacionais apontam para o reconhecimento de que nenhum deles pode responder a todas as questões que se levantam (Landsheere 1988). Competirá a cada um escolher aquele que for mais adequado ao tipo de problema a resolver.

Esta visão não reducionista sobre o modo de investigar está de acordo com as principais características apontadas à investigação educacional (Keeves 1988):

1 - A sua natureza multidisciplinar, englobando disciplinas como psicologia, sociologia, antropologia, filosofia, história, linguística, demografia e até ciências físicas, dependendo dos métodos usados.

2 - A natureza complexa dos problemas educacionais; em geral são necessárias muitas variáveis para descrever cada situação, e os procedimentos a utilizar devem ser capazes de as tratar conjuntamente.

É pois importante que os investigadores em educação em ciência consigam apreciar a grande variedade de recursos disponíveis para investigação e a extensão em que eles podem ser aplicados.

1.3 - PERCURSO DA INVESTIGAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIA

No final da década de 60 a investigação educacional foi dominada por estudos de análise estatística, e esteve fundamentalmente preocupada em ver se um determinado

método de ensino era melhor do que o outro, sem considerar o *como* e o *porquê* das diferenças individuais em termos de aprendizagem.

A investigação em ciência não foi exceção (Gunstone, White and Fensham 1988). Assim, por exemplo, os modelos de aprendizagem adoptados nesses estudos foram sobretudo dois, considerados complementares e baseados em ideias hierárquicas da aprendizagem: o de Gagné (1965) e o de Ausubel (1968).

O modelo de Gagné, privilegiando uma sequência de aprendizagem da base para o topo (i.e., de conceitos mais específicos e menos inclusivos para conceitos mais gerais), tornou-se naturalmente atractivo para a aprendizagem das ciências (White 1974 e 1981; Thomas 1975 e Beeson 1977, em tópicos de Física e de Química, citados por Gunstone et al. 1988). Entre as questões levantadas sobre os resultados deste tipo de investigação destacam-se: "porque é que uns indivíduos aprendem mais depressa ou melhor do que outros que recebem o mesmo tratamento?" e "porque é que uns recordam o assunto durante mais tempo?".

Tais questões foram importantes na medida em que encorajaram a redefinir o papel da memória e as estratégias utilizadas na aprendizagem em ciência, aspectos estes marcantes na investigação posterior baseada na teoria de Ausubel (por exemplo, West and Fensham 1974).

No início dos anos 70 começou a dar-se uma viragem importante no campo da investigação, com o aparecimento da ideia de que um melhor esclarecimento sobre o ensino da ciência também implicava considerar a perspectiva do aluno. Para esta viragem desempenharam um papel primordial os estudos desenvolvidos por Piaget, incidindo sobre ideias, crenças, previsões e explicações de fenómenos naturais que a criança elabora para dar sentido às suas experiências pessoais (estudos deste tipo haviam sido abordados por Piaget na década de 20, referidos como "estudos clássicos de Piaget", mas foram praticamente ignorados pelos investigadores em educação durante cerca de quatro décadas).

A influência marcante dos trabalhos conduzidos por Piaget, na investigação

educacional em ciência foi salientada por vários autores (Viennot 1979; Driver 1981; Gilbert and Zylbersztajn 1985; Osborne and Freyberg 1985), quer pela natureza das ideias identificadas nos alunos, quer pelo impacto dos seus métodos e técnicas de investigação, os quais mereceram algumas adaptações (destaca-se a técnica da entrevista clínica).

Conclusões importantes dos estudos de Piaget foram, por exemplo, as relativas ao tipo de explicações utilizadas pelas crianças – o realismo, o animismo e a causalidade. Segundo o autor, a criança (1) pode confundir o mundo real com o pensamento que sobre ele estabelece – realismo; (2) pode considerar objectos inertes como possuindo vida e consciência – animismo; (3) pode explicar acontecimentos atribuindo aos objectos acções ou operações análogas às do sujeito – causalidade (Piaget 1972).

Outro autor com importância marcante na investigação educacional dos anos 70, foi Ausubel que se distinguiu de Piaget sobretudo pela importância que atribuiu às ideias dos alunos sobre o mundo natural, num contexto didáctico. A ideia expressa por Ausubel, "o factor singular que mais influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece; descubra-o e ensine-o de acordo", inspirou numerosos estudos de investigação, reflectindo a sua enorme aceitação entre os investigadores (por exemplo, Driver and Erickson 1983, Osborne, Bell and Gilbert 1983, Driver and Oldham 1986 e Solomon 1987 realçam a importância das teorias ausubelianas).

Os trabalhos conduzidos mostraram a necessidade de rever as posições assumidas. Por exemplo, a existência de diferenças entre a estrutura da disciplina (tal como definida pelos cientistas), a estrutura do conteúdo (como a organização da informação num manual escolar) e a estrutura psicológica do aluno.

A viragem operada no modo de olhar para o ensino da ciência obrigou ao desenvolvimento de novos métodos de pesquisa nos finais dos anos 70 e início dos anos 80 (Gilbert, Osborne and Fensham 1982; Fensham 1983).

Com efeito, para conhecer *como e porquê* os alunos interpretam fenómenos e

conceitos ensinados nas aulas de ciência, foi necessário explorar novos métodos e técnicas tendo em vista identificar o significado que eles atribuíam a tais conceitos, significados esses que passaram a ter valor em si mesmos (Driver 1983).

Os resultados provenientes de investigações centradas sobre o aluno em diversas áreas das ciências têm permitido avanços importantes no sentido de uma visão mais coerente do processo de aprendizagem; contudo, é necessário ainda promover muito mais investigação e desenvolver novos métodos e técnicas para aumentar o nosso conhecimento nesse domínio (Linn 1987).

1.4 - O CONSTRUTIVISMO E AS IDEIAS ALTERNATIVAS

Um das correntes de investigação educacional centrada sobre o aluno com impacto crescente, em particular na última década, assenta no pressuposto que todo o indivíduo é um construtor do seu próprio conhecimento – teoria construtivista da aprendizagem (Kelly 1955). Segundo esta teoria, a construção do conhecimento é vista como um processo activo, criativo, racional e emocional centrado no indivíduo a quem é reconhecido o direito de ter oportunidades que lhe permitam desenvolver-se de modo a poder actuar de acordo com modelos científicos na sociedade em que está inserido. Nesta perspectiva, o conhecimento científico do aluno resulta da interacção que se estabelece entre as suas próprias crenças e experiências do dia-a-dia e a informação com que é confrontado na sala de aula. Por vezes essas crenças e experiências "exteriores" à escola constituem "barreiras" à compreensão das versões científicas propostas, facilitando a construção de concepções diferentes das ideias esperadas numa perspectiva de aprendizagem conseguida. Tais concepções são aqui designadas por "ideias alternativas" (ver subsecção 1.4.6 para discussão terminológica).

1.4.1 - Conhecimento científico e conhecimento do senso comum

Existem muitas evidências de que as ideias usadas pelos alunos para interpretar diversos fenómenos podem ser muito diferentes das ideias desenvolvidas pela escola, e que tais diferenças no modo de ver as coisas podem actuar como "barreiras críticas" à compreensão em variados domínios. Neste contexto, a função da educação em ciência será a de modificar a atitude dos alunos de modo a que eles procurem pensar em termos científicos. No entanto, para ocorrer tal modificação não basta haver uma mudança no conteúdo das ideias; é necessário que o raciocínio científico seja apreciado em termos da relação entre teorias ou modelos e experiência, ou até mesmo que os alunos se apercebam dos requisitos epistemológicos do pensamento científico (Driver 1987).

Sendo assim parece ser de interesse considerar algumas das principais diferenças entre conhecimento científico e conhecimento do senso comum no sentido de poder eventualmente esclarecer características das ideias alternativas que poderão constituir barreiras à sua substituição por ideias científicas.

Note-se no entanto desde já que o pensamento científico difere do raciocínio do dia-a-dia (usado quer pelos alunos quer pela maioria dos adultos incluindo cientistas) não apenas no seu conteúdo mas também nos seus fins (Driver 1987) e não será irrelevante considerar tal como refere Edgar Morin (1982, p. 21): "não há nenhum local privilegiado onde se possa julgar *a priori* a justeza de um pensamento. Não há nenhum tribunal supremo para julgar a clarividência ou a inteligência".

(i) Conhecimento científico.

A partir da revolução científica do século XVI, e no âmbito das ciências naturais foi constituído o modelo de racionalidade dito "científico", o qual só no século XIX foi estendido às ciências sociais. Trata-se de um modelo totalitário pois nega o carácter racional a todas as formas de conhecimento que não se pautem pelos seus princípios epistemológicos e pelas suas regras metodológicas. O avanço do conhecimento

científico fica dependente da observação descomprometida e livre, sistemática e tanto quanto possível rigorosa dos fenómenos naturais. As evidências da experiência imediata são ilusórias e torna-se necessário desconfiar delas. No entanto, ao contrário do que pensava Bacon (talvez por ele próprio não ter feito experiências), a experiência não dispensa a teoria prévia, o pensamento dedutivo ou mesmo a especulação. As ideias que precedem a observação e a experimentação são ideias claras e simples a partir das quais se pode ascender a um conhecimento mais profundo e rigoroso da natureza, através das expressões matemáticas. Deste modo a matemática ocupa um lugar central na ciência moderna, donde derivam duas consequências principais, a saber:

(1) Conhecer significa quantificar; o que não é quantificável é cientificamente irrelevante;

(2) O método científico assenta na redução da complexidade. O mundo é complicado e a mente humana não o pode compreender completamente no seu todo. Assim, conhecer significa dividir e classificar para depois poder determinar relações sistemáticas entre o que se separou.

O conhecimento científico aparece assim como um conhecimento causal que tem por finalidade formular leis as quais possam prever o comportamento futuro dos fenómenos, privilegiando *o como* funciona das coisas, em oposição a *qual o agente* ou *qual o fim* das coisas.

O conhecimento deste tipo, baseado na formulação de leis, tem como pressuposto teórico a ideia de que o passado se repete no futuro (ordem e estabilidade), a ideia do mundo-máquina. Em resumo, o conhecimento é utilitário e funcional (Santos 1987, p. 10 a 17). Estas ideias sobre o conhecimento científico foram postas em causa já no presente século, quer por cientistas quer por filósofos da ciência. Einstein abalou fortemente o paradigma da ciência moderna através das novas concepções de espaço e tempo. Heisenberg e Bohr demonstraram a impossibilidade de observar ou medir um objecto sem interferir nele, sem o alterar: "a ideia de que não conhecemos do real senão a nossa intervenção nele, está bem explícita no princípio de incerteza de Heisenberg" (Santos 1987, p.26).

A ideia hoje aceite é que o conhecimento é tanto mais rigoroso quanto mais restrito é o objecto sobre o qual incide, o que poderá fazer do cientista, na opinião de muitos pensadores, um ignorante especializado, sobretudo no domínio das ciências aplicadas. Pode portanto concluir-se que a ciência moderna nos ensina hoje pouco sobre a nossa maneira de estar no mundo.

Actualmente estão em aberto discussões sobre a importância da explicação científica face aos pressupostos metafísicos, as crenças e os juízos de valor. Tal como diz B. Sousa Santos (1987, p. 52): "A ciência moderna não é a única explicação possível da realidade e não há sequer qualquer razão científica para a considerar melhor que as explicações alternativas da metafísica, da astrologia, da religião, da arte ou da poesia. A razão por que privilegiamos hoje uma forma de conhecimento assente na previsão e no controlo dos fenómenos nada tem de científico. É o juízo de valor. A explicação científica dos fenómenos é a auto-justificação da ciência enquanto fenómeno central da nossa contemporaneidade". Assim, a ciência pós-moderna sabe que nenhuma forma de conhecimento é, em si mesma, racional.

(ii) Conhecimento do senso comum.

Por conhecimento do senso-comum pode entender-se "o conhecimento vulgar e prático com que no quotidiano orientamos as nossas acções e damos sentido à nossa vida" (Santos 1987, p.55). De uma forma simplificada podem apontar-se algumas características atribuídas a este tipo de conhecimento.

O senso comum:

- faz coincidir causa e intenção,
- é prático e pragmático,
- reproduz-se segundo as trajectórias e as experiências do quotidiano,
- é transparente e evidente,
- é retórico e metafórico,
- não resulta de uma prática especificamente orientada para o produzir,
- aceita o que existe tal como existe,

- privilegia a acção que não produza rupturas apreciáveis no real.

Enquanto a ciência moderna foi construída contra o senso comum que considerou ilusório e falso, a ciência pós-moderna (Santos 1989) procura recuperar o senso comum por reconhecer nesta forma de conhecimento potencialidades de enriquecimento da nossa maneira de ver o mundo.

Assim, a importância que tem vindo a ser reconhecida ao estudo sobre as ideias alternativas dos alunos em temas de ciência, insere-se na perspectiva de ciência que procura a contribuição das diversas maneiras de ver o mundo para a formulação de um conhecimento mais profundo e de cariz holístico, sobre o problema da aprendizagem da ciência. Daí terem-se recentemente começado a desenvolver esforços numa abordagem multidisciplinar combinando diferentes perspectivas de historiadores, filósofos da ciência, psicólogos e educadores em geral. Tais esforços contribuíram também para o desenvolvimento das próprias disciplinas envolvidas (Linn 1987).

Investigações conduzidas em diversos domínios incluindo filosofia, história da ciência, psicologia, educação e sociologia, partilham a convicção de que os indivíduos resistem à mudança das suas ideias. As contradições evidenciadas pelos alunos em estudos empíricos sobre o seu modo de pensar está de acordo com descrições de filósofos da ciência sobre a alteração das ideias científicas. Estudos teóricos e empíricos nos domínios da psicologia e da sociologia de como os alunos e as instituições resistem à mudança têm paralelo com a resistência da comunidade científica às novas ideias em ciência (Linn 1987).

1.4.2 - Importância do estudo das ideias alternativas

As razões para o estudo das ideias alternativas dos alunos podem classificar-se em três níveis de intervenção: o ponto de vista psicológico - a aprendizagem, a formação de professores e a organização curricular.

Para cada um destes níveis discriminam-se os aspectos considerados mais relevantes.

(a) O ponto de vista psicológico - a aprendizagem.

A ideia de que existe inconsistência entre o modo como os alunos vêem e explicam os diversos fenómenos e aquilo que é suposto que aprendam sobre eles, é presentemente um assunto central na educação em ciência e um tema sobre o qual existe acordo entre os educadores (Fensham and Kass 1988).

(1) É importante conhecer a natureza e o porquê das ideias dos alunos (eventualmente diferentes das versões públicas previstas) como ponto de partida para a intervenção pedagógica. Conhecer as ideias alternativas é pois um meio e não um fim, e está de acordo com propostas recentes de novos objectivos para o ensino das ciências (Fensham 1983).

(2) O aluno deve ser o sujeito das acções educativas e não um seu objecto, visto que, e de acordo com Fisher e Lipson (1986),

(i) a aquisição do conhecimento gera-se por um processo construtivo e, conseqüentemente, todo o conhecimento é pessoal e idiossincrásico (não se pretende significar que a comunicação do indivíduo com a sociedade não influencia o seu modo de pensar, mas apenas que tal influência também se processa em termos pessoais);

(ii) existem múltiplos caminhos para adquirir, organizar e reproduzir o conhecimento, bem como diferentes estratégias de resolução de situações-problema não só para diferentes indivíduos, como também para um mesmo indivíduo em diferentes ocasiões;

(iii) o conhecimento é conseguido por sucessivas aproximações, pelo que todo o conhecimento é, necessariamente, incompleto e imperfeito.

(3) O conhecimento das dificuldades dos alunos deve ser feito através dos próprios alunos (Hodson and Reid 1988b; Shaibu 1988).

Identificar e compreender as ideias alternativas dos alunos sobre temas científicos parece ser um passo importante a dar com vista a "um melhor conhecimento do aluno com um aprendiz de ciência e das actuações necessárias para promover essa aprendizagem" (Welch 1985, p. 444). Mais ainda, para fomentar a aprendizagem os alunos precisam de ser confrontados com as suas próprias ideias (para isso é preciso primeiro identificá-las!), para que o conflito possa emergir – o ponto de partida para a mudança conceptual (Clement 1987; Hand 1988).

Apesar da inexistência de uma teoria de aprendizagem que mereça o acordo de todos os investigadores e educadores, o modelo de aprendizagem generativa de Osborne e Wittrock (1983 e 1985), inserido numa tradição construtivista da aprendizagem, pode trazer contribuições úteis para a compreensão da existência nos alunos de ideias diferentes das esperadas segundo o ensino.

O modelo de aprendizagem generativa assenta na ideia de que o conhecimento prévio do indivíduo influencia os aspectos que são seleccionados e aos quais ele presta atenção, as ligações geradas entre os dados novos e os armazenados na memória, a construção de significados a partir das percepções sensoriais e da informação disponível na memória "longínqua" e, finalmente, a avaliação e o possível "armazenamento" dos novos significados construídos.

Segundo este modelo é de admitir que não é possível dois indivíduos construírem significados absolutamente iguais, pelo que a interpretação do aluno, não será, compreensivelmente, idêntica à do professor.

Em resumo, todas as actividades envolvendo aprendizagem com compreensão requerem esforço da parte de quem aprende. Competirá ao professor facilitar a aprendizagem através do ensino, mas o "bom" ensino não é suficiente para haver boa aprendizagem, visto ela requerer um esforço intelectual activo por parte do aluno. A aprendizagem é pois uma tarefa que o aluno deve aceitar como sendo da sua própria responsabilidade e que só ele pode fazer. Por outras palavras, "alunos e professores têm responsabilidades distintas na educação em ciência" (Osborne and Wittrock 1985, p.

66).

(b) A formação de professores.

Numa perspectiva construtivista (Hewson and Hewson 1988) é importante que a formação de professores (inicial e contínua) se organize de modo a que estes

(1) tomem consciência da existência de ideias alternativas pois tais ideias são, para o aluno, parte sensível e valiosa do seu conhecimento;

(2) possam prever a interferência de determinadas ideias alternativas em outros temas/domínios;

(3) consigam promover a mudança conceptual pelo que necessitam de conhecer tais ideias;

(4) procurem não subestimar as dificuldades dos alunos, i.e., deixem de ver as dificuldades dos temas na perspectiva do ensino, mas antes na da aprendizagem (Shaibu 1988);

(5) sejam capazes de reconhecer, respeitar e dar resposta a todas as perspectivas dos alunos sobre os fenómenos científicos (Linn 1987).

Em resumo, através do conhecimento das ideias alternativas, o professor poderá compreender como é que os alunos interpretam o "material" científico complexo e estruturado (Hewson and Hewson 1988).

(c) A organização curricular.

Se através do ensino da ciência se pretende influenciar o modo como as crianças e os jovens pensam sobre o mundo, então aquilo que se ensina deve ser sobre, ou estar relacionado com as suas ideias e experiências (Osborne and Freyberg 1985).

Nesta perspectiva, o ensino da ciência deve ser estruturado com vista a contemplar as ideias alternativas (Nussbaum and Novick 1981) e novos recursos didáticos (por exemplo, manuais escolares, experiências e programas de computador) devem ser construídos (Pfundt and Duit 1988), incorporando o que é conhecido sobre

mudança conceptual, de modo a que todos os alunos fiquem a conhecer temas científicos de importância fundamental (Linn 1987).

1.4.3 - Características das ideias alternativas

As principais características das ideias alternativas dos alunos, corroboradas por diversos autores, em estudos abrangendo diversas áreas e temas científicos, são:

(1) Pessoais, i.e., construídas pelos próprios indivíduos, antes e durante o estudo formal de um dado tema científico. Estas ideias apesar de "pessoais" não significa que não possam ser partilhadas; na verdade diferentes alunos (idade, escolaridade e nacionalidade) têm sobre fenómenos semelhantes, ideias do mesmo tipo.

(2) Incoerentes (do ponto de vista do educador), i.e., os alunos não reconhecem aspectos contraditórios de explicações que dão sobre o mesmo fenómeno. No entanto, tais ideias podem ser coerentes quando vistas segundo a perspectiva do aluno (Driver 1987). Por exemplo, na área da dinâmica, sabe-se que os alunos associam correntemente uma força constante ao movimento uniforme, uma noção que se adapta a um mundo onde existe atrito. O que acontece é que "força" tem significados diferentes para o aluno e para o professor. Nesta perspectiva as concepções dos alunos não estão erradas, apenas foram construídas de modo diferente, não tendo em conta o factor de idealização subjacente à lei da dinâmica em jogo.

A maioria de um grupo de alunos do ensino secundário explica o que acontece quando toca com a mão uma colher "quente", em termos de transferência de energia térmica para a sua mão. No entanto, quando esse grupo é confrontado com um objecto que ao tacto parece "frio", apenas uma minoria explica o fenómeno em termos de saída de energia térmica da mão para o objecto. Em vez disso os alunos consideram que "o frio vem do objecto para a mão" (Engel Clough and Driver 1985). Estas duas maneiras de interpretar a situação não são consideradas incoerentes pelos alunos; as duas

situações é que são diferentes para o aluno.

(3) Estáveis, i.e., persistentes mesmo após o ensino formal podendo competir com concepções segundo o ponto de vista científico (ver, por exemplo, Gunstone, White and Fensham 1988). Mais ainda, tais ideias podem ser modificadas de modo não previsto durante o ensino da ciência (por exemplo, Schollum and Osborne 1985).

(4) Gerais, i.e., as mesmas ideias alternativas (ou do mesmo tipo) têm sido encontradas em alunos de diferentes nacionalidades e de diferentes níveis escolares, elementar, médio, secundário e pós-secundário (Shymansky and Kyle 1988, p. 301).

1.4.4 - Origem das ideias alternativas

O problema da modificação das ideias alternativas por mudança conceptual, implica conhecer e discutir origens de tais ideias. Uma compreensão adequada desta questão deve ser fundamentada em premissas de ordem epistemológica. Um tal tipo de estudo está, no essencial, por fazer embora trabalhos recentes em epistemologia da ciência demonstrem o seu potencial interesse no esclarecimento da questão da mudança conceptual dos alunos (Santos 1989). A grande dificuldade parece residir na multiplicidade de factores, alguns deles possivelmente desconhecidos ainda, que podem influenciar o modo de pensar do indivíduo, e o modo como os diferentes factores são relacionados uns com os outros. Neste sentido, a discussão em torno da(s) origem(s) de tais ideias é especulativa. No entanto, alguns autores têm avançado nessa discussão dada a sua potencial utilidade para a compreensão do problema (Engel Clough, Driver and Wood-Robinson 1987). Apesar das limitações inerentes a tal discussão, podem apontar-se algumas razões que poderão estar na origem das ideias alternativas. Elas são essencialmente de dois tipos diferentes.

(1) A nível individual e social.

O raciocínio naturalista utiliza toda a informação disponível, não é selectivo (Maskill 1988). Também as crenças e as opiniões permitidas e até encorajadas na sociedade, a linguagem de uso corrente, em particular a linguagem metafórica, e muitas experiências do dia-a-dia poderão contribuir para a sua implementação (Sutton 1982).

(2) A nível do ensino formal.

As ideias veiculadas pelos professores (Ameh and Gunstone 1985) e pelos manuais escolares (Fensham and Kass 1988) nem sempre estão de acordo com as concepções cientificamente aceites. Também o tratamento didáctico dos temas pode ter importância. Por exemplo, o recurso a determinados métodos de abordagem dos temas, como o tratamento matemático demasiado (caso da Termodinâmica) permite facilmente confundir competência de ordem matemática com compreensão de conceitos físicos e químicos subjacentes (Jonhstone, MacDonald and Webb 1977). Também a ausência de conhecimentos do professor sobre a possível existência de ideias alternativas nos alunos poderá contribuir para a sua manutenção (Taskar 1981 e Anderson and Smith 1983, citados por Hashweh 1986).

Do que foi dito anteriormente sobre as ideias alternativas dos alunos, suas características e possíveis origens, ressalta que a investigação nesta área deverá ser conduzida numa perspectiva humanista (Pope and Denicolo 1986, p. 154).

1.4.5 - Situação actual da investigação sobre ideias alternativas

Na última década tem-se registado um crescimento enorme na investigação sobre ideias alternativas dos alunos em temas científicos e os resultados obtidos têm despertado grande interesse entre educadores em ciência e psicólogos (Helm and Novak 1983; Novak 1987). Tais trabalhos têm sido conduzidos essencialmente na Europa,

Austrália, Nova Zelândia e Estados Unidos. Embora os temas mais investigados se situem na área da Física, surgiram já resultados interessantes em Química, em Biologia e em Ciências da Terra e do Universo. Os diversos estudos têm sido realizados com alunos de todos os níveis escolares, desde o pré-primário ao universitário, mas a maioria tem-se centrado no ensino básico obrigatório e secundário (terminal).

Segundo Andersson (1988) existe já publicada uma lista grande de livros, artigos de revista e actas de simpósios e conferências, com muito interesse. Começa a ser difícil estar a par de todos os resultados e conclusões dado o número elevado de estudos (em Julho de 1987 existiam mais de 1000 referências, Duit 1987). É necessário portanto sistematizar e algumas tentativas foram já feitas nesse sentido, por exemplo, por Andersson (1986a) através da "the experiential gestalt of causation" (EGC), uma teoria unificadora das explicações e previsões dos alunos em áreas distintas como temperatura e calor, electricidade, óptica e mecânica.

Revisões de estudos sobre ideias alternativas foram apresentados em diversos artigos. Por exemplo, por Driver e Easley (1978), Driver e Erickson (1983), Gilbert e Watts (1983), Osborne, Bell e Gilbert (1983), Hashweh (1986) e Duit (1987), quanto a aspectos globais; Tiberghien (1984a,b,c) sumariou as áreas de temperatura e calor, circuitos eléctricos e luz; McDermott (1984) fez uma revisão detalhada na área de mecânica. Foram também publicadas actas de conferências com grande impacto entre os investigadores (Archenold et al. 1980; Helm and Novak 1983; C.N.R.S. 1984; Duit, Jung and von Rhöneck 1985; Novak 1987; Thijs, Boer, Macfarlane and Stoll 1988), e ainda livros descrevendo estudos em áreas diversificadas (Driver 1983; Driver, Guesne and Tiberghien 1985; Osborne and Freyberg 1985).

Resumindo e simplificando, pode dizer-se que o objectivo comum a todos estes estudos é procurar compreender o modo como os alunos vêem e tentam explicar os fenómenos (situações-problema) e considerar as implicações daí decorrentes, para a aprendizagem e o ensino da ciência.

Segundo Hashweh (1988) os estudos realizados sobre ideias alternativas podem classificar-se em três tipos fundamentais: descritivos, explanatórios e de testagem de explicações ou que pretendem induzir mudança conceptual nos alunos.

(1) Estudos descritivos.

Destinam-se a identificar e a descrever as ideias alternativas dos alunos, respondendo a questões como: quais são as concepções dos alunos em temas científicos; em que conceitos; qual a sua persistência; quais as metodologias apropriadas para este tipo de pesquisa; qual a validade das descrições das concepções dos alunos.

(2) Estudos explanatórios.

Pretendem explicar a estabilidade e a mudança conceptual (ver Hashweh 1986, para revisão).

(3) Estudos de mudança conceptual.

Procuram testar (na sala de aula) as explicações oferecidas pelos estudos explanatórios. Estes estudos são em número limitado (por exemplo, Stavy and Berkowitz 1980; Nussbaum and Novick 1981; Nussbaum and Sharoni-Dagan 1983; Rowell and Dawson 1983; Hewson and Hamlyn 1984; Hewson and Hewson 1984). Apesar de advogarem estratégias de instrução muito promissoras, a maioria destes estudos não descreve nem defende, cuidadosamente, a teoria de mudança conceptual na qual tais estratégias são baseadas. Por este motivo Hashweh (1988) é de opinião que não se deve falar em "resistência" das ideias alternativas, mas apenas em "persistência". Parece pois ser necessário incrementar estudos sobre estratégias alternativas que visem promover a mudança conceptual e fazer a sua testagem na sala de aula. Este deverá ser, certamente, o caminho mais adequado para resolver o problema da persistência das ideias alternativas.

Uma análise efectuada (Hashweh 1988) dos estudos do tipo descritivo (em ideias alternativas sobre movimento, mas podendo ser generalizada a outras áreas da ciência), permitiu ao autor concluir que

1 - Existe um número limitado de ideias alternativas sobre qualquer tópico da ciência.

2 - As ideias alternativas persistem e continuam a ser usadas na interpretação de fenómenos naturais mesmo quando as ideias científicas são apreendidas.

3 - As ideias alternativas muitas vezes interferem na aprendizagem de novas concepções porque o novo conhecimento é integrado nas concepções prévias existentes.

1.4.6 - O problema da terminologia

Apesar do avanço conseguido nos resultados e principais conclusões partilhadas pelos diversos investigadores, algumas questões permanecem ainda divergentes. Uma delas é o problema da terminologia usada para designar os estudos realizados, e uma pleiade de termos tem sido utilizada sobre a qual é possível proceder a uma análise epistemológica (Abimbola 1988).

Do ponto de vista da filosofia empiricista (por exemplo, Hume, em edição de 1966) as concepções dos alunos são consideradas inadequadas em relação às dos "peritos". As numerosas designações utilizadas (ver Abimbola 1988, para referências) podem ser divididas em duas categorias:

(i) conhecimento "errado", englobando expressões como "conceitos erróneos", "ideias erróneas", "concepções erradas" (misconceptions), "mal-entendidos" (misunderstandings), "erros";

(ii) conhecimento "não científico", onde se incluem designações como "superstições", "crenças infundadas", "crenças populares" (folk beliefs), "conhecimento casual", "conhecimento mundano".

Do ponto de vista da "nova" filosofia da ciência (por exemplo, Kuhn 1970) é reconhecido às ideias dos alunos valor em si mesmas, visto desempenharem um papel importante na aprendizagem. No entanto, alguns autores inseridos nesta corrente continuam a usar designações que poderão ser consideradas como estando em desacordo com a perspectiva teórica adoptada, como, por exemplo, conforme citação de Abimbola (1988), "mal-entendidos" (Brumby 1979), "ideias erróneas" (Champagne, Klopfer and Anderson 1979), "concepções erradas" (Champagne, Klopfer and Anderson 1979; Nussbaum 1979; Brumby 1979 e 1984). Exemplos deste último termo são ainda títulos dados a seminários internacionais de grande prestígio (Helm and Novak 1983; Novak 1987). De entre os termos usados por aqueles investigadores que adoptam a perspectiva de compreender o modo de pensar do aluno apesar da sua diferença relativamente ao conhecimento científico, podem ser estabelecidas duas categorias: uma, adoptando uma conotação neutral e outra conotando tais ideias como "alternativas" ao conhecimento dito científico.

No primeiro tipo incluem-se:

- "preconcepções" (Novak 1977),
- "concepções existentes" (Nussbaum 1979),
- "esquemas prévios" (prior schemata) (Champagne, Gunstone and Klopfer 1982, citado por Abimbola 1988),
- "raciocínio espontâneo" (Viennot 1979),
- "concepções prévias" (Posner 1982, citado por Abimbola 1988),
- "conhecimento prévio" (Finley 1985; Pines and Novak 1985).

O grupo coordenado por Andersson na Universidade de Gothenburg, Suécia, usa o termo "concepções do dia-a-dia em física e em química" para realçar que tais concepções são construídas para tornar compreensíveis experiências sobre luz, calor, electricidade, e outros temas, no quotidiano.

No segundo tipo encontram-se designações como

- "esquemas alternativos" (alternative frameworks) (Driver and Easley 1978),
- "ideias alternativas" (Engel and Driver 1981),

- "concepções alternativas" (Hewson 1981),
- "ciência das crianças" (Gilbert, Osborne and Fensham 1982; Osborne, Bell and Gilbert 1983; Tiberghien 1984) (uma crítica ao termo "ciência das crianças" é de que muitos adultos apresentam ideias idênticas).

Descrições detalhadas dos termos com maior utilização são apresentadas por Duit (1987).

Para Abimbola (1988) o termo preferido é "concepções alternativas" relativamente a "esquemas alternativos" dado o carácter mais geral, e portanto de maior aplicação, do primeiro.

No presente estudo adoptou-se o termo "ideias alternativas" por se considerar o vocábulo "ideia" mais simples do que "concepção" e serem sinónimos.

1.4.7 - Limitações dos estudos sobre ideias alternativas

Apesar dos resultados promissores dos estudos desenvolvidos nesta área, várias críticas têm sido dirigidas à sua importância (Claxton 1986). As principais limitações apontadas podem ser classificadas em dois grandes tipos: quanto à filosofia da investigação e quanto à metodologia que lhe é associada.

(i) Da filosofia da investigação.

Reduz a explicação do insucesso da aprendizagem a um só factor (aliás como muitas outras linhas de investigação), as concepções prévias dos alunos e suas interferências, mais ou menos bloqueadoras, com as concepções científicas, independentemente de outros factores possíveis (por exemplo, de ordem sociológica e do foro afectivo tais como interesses, valores e atitudes). Com efeito, existem outros obstáculos à aprendizagem além das ideias alternativas sobre os conteúdos. Por exemplo, numa situação experimental o aluno pode não compreender as relações espaciais envolvidas num esquema que lhe é associado, ou pode não compreender o processo científico, não

procurando testar todas as hipóteses mesmo que as tenha considerado à partida como tal (Andersson 1986a).

(ii) Da metodologia associada.

Na opinião de alguns investigadores (Gilbert and Watts 1983), esta área apesar do desenvolvimento apresentado, encontra-se uma fase pré-paradigmática por falta de acordo quanto aos métodos usados na recolha e tratamento dos dados, ao enquadramento teórico dos resultados e ao uso a fazer das conclusões. Assim, é referida a influência que o próprio investigador pode ter sobre os dados colhidos e o carácter subjectivo inerente à sua interpretação (McClelland 1984).

Os métodos de análise das evidências comportamentais colhidas são passíveis de discussões polémicas e será sempre difícil eliminar todas as dúvidas sobre o seu significado. A recorrência a juízes sobre o resultado da aplicação dos métodos de análise, embora possa contribuir para aumentar a confiança em tais resultados, não é por si mesmo o *método* para resolver o problema, dada a dificuldade de encontrar juízes à altura e com disponibilidade para se pronunciarem sobre todos os estudos, e sobretudo as suas interpretações serem também passíveis de críticas. Por outras palavras, não é possível resolver completamente o problema da subjectividade de um dado método de análise por recorrência a outro analista que utiliza os mesmos métodos.

Tal como diz Solomon (1987) há diversas perspectivas para estudar as ideias dos alunos em temas científicos, o que reflecte uma falta de convergência conceptual. Refira-se finalmente que têm sido levantadas questões sobre a consistência e a generalidade das ideias alternativas (Sutton and West 1982), dado que o número de estudos sobre ideias alternativas relativas a um dado conceito, dos mesmos alunos, ao longo de diferentes anos de escolaridade é ainda muito reduzido (Engel Clough and Driver 1986).

1.5 - O PROBLEMA EM INVESTIGAÇÃO

Do que foi dito anteriormente ressalta a importância do conhecimento de ideias alternativas dos alunos, em particular em áreas curriculares reconhecidamente difíceis. Daí pretender-se com o presente trabalho contribuir para a identificação de possíveis ideias alternativas no domínio da Química a nível do Ensino Secundário^(*) (e 3º ciclo do Ensino Básico).

Seguidamente apresentam-se as razões que fundamentaram a escolha do tema e o nível de escolaridade dos alunos e, esclarecem-se os objectivos do estudo e seus pressupostos. Por fim far-se-á uma apresentação sumária do plano de trabalho desenvolvido.

1.5.1 - Selecção do tema químico

A escolha do tema químico a usar na investigação das ideias dos alunos teve por base os critérios:

- (1) estar incluído nos programas de Química do Ensino Secundário;
- (2) tratar-se de um tema com dificuldades para os alunos, reconhecidas por professores e investigadores;
- (3) pertencer a uma área temática onde significados informais do dia-a-dia e eventualmente de outros domínios disciplinares poderão colidir, criando conflitos na aprendizagem;
- (4) ser um tema pouco investigado em ideias alternativas;
- (5) ser um tema com importância para outras áreas disciplinares.

A escolha recaiu sobre "A energia nas reacções químicas". Justifica-se em seguida a pertinência do tema químico à luz dos critérios de selecção definidos.

^(*) Presentemente o Ensino Secundário engloba três anos de escolaridade (10º, 11º e 12º) (lei 46/86, de 14 de Outubro)

(1) Por análise do conteúdo dos programas de Química para o 8º e 9º anos (na disciplina de Ciências Físico-Químicas) e para 10º e 11º anos (na disciplina de Física e Química é possível verificar que tais programas abordam extensivamente o tratamento do tema "A energia nas reacções químicas" (ver capítulo 3, secção 3.6, tabela 3.11).

(2) Relativamente à dificuldade do tema, são várias as referências encontradas em literatura de publicação recente. Por exemplo, "Energia de reacção" é um tema reconhecido por professores como difícil para os alunos (Finley, Stewart and Yaroch 1982) e identificado pelos próprios alunos (1º ano de cursos universitários) como uma das áreas onde existem dificuldades de compreensão (Jonhstone 1980).

Trata-se de uma área científica reconhecida como difícil para os professores e onde é necessário promover formação científica. Por exemplo, num curso de verão dirigido a professores de Ciências (N=330), nos Estados Unidos, em 1985, de entre os oito tópicos contemplados no programa, três estavam relacionados com a área temática do presente estudo: "Reacções químicas e Energia química", "Calor e Termodinâmica" e "Estrutura da matéria" (Lawrenz 1987). Uma razão apontada para a dificuldade sentida por professores ao ensinar o tema "Energia", é a falta de uma definição operacional e a não adequabilidade de materiais escolares (Summers 1983).

De um modo geral Química é um assunto conceptualmente difícil para os alunos (Bojczuk 1982), sendo tópicos como "mecanismos de reacção" (descrição de processos de ruptura e formação de ligações) e "energética de reacções" (por exemplo, conceitos de variação da energia livre e de variação da entalpia) considerados difíceis pelos próprios alunos (Shaibu 1988). No entanto, as dificuldades de compreensão podem mesmo incidir sobre conceitos mais latos e de grande centralidade, como é o caso de "reacção química". Por exemplo, apenas cerca de 3% duma amostra de alunos italianos, do 1º ano de um curso de Química, a nível universitário, revelaram compreender o conceito (Cervellati, Concialini, Innorta and Perugini 1984).

Um estudo efectuado nos E.U.A., envolvendo alunos do 3º, 7º e 11º anos de

escolaridade, sobre temas científicos considerados pelos professores da região como os mais importantes na área das ciências, os resultados obtidos apontam para o carácter problemático, em termos de aprendizagem, do conceito de energia (Yager and Yager 1984).

Aliás as dificuldades reconhecidas nos alunos em diferentes aspectos do domínio da energia têm despertado interesse para estudos sobre, por exemplo, conservação da energia (Duit 1981), calor e temperatura (Erickson 1979; Tiberghien 1984a; Erickson and Tiberghien 1985) e mudanças de estado (Andersson 1986b; Cosgrove and Osborne 1981).

(3) A interferência de significados do conhecimento do dia-a-dia sobre conceitos científicos tem sido verificada em diversos estudos realizados, sendo o tema "energia" um bom exemplo (ver, por exemplo, Solomon 1983).

A contradição por vezes existente entre o envolvimento da energia nas reacções químicas, ao nível da Química e da Biologia pode ser uma das causas de conflitos de compreensão evidenciados pelos alunos, apresentando-se certas explicações da Biologia como modelos explanatórios simples que satisfazem o aluno (por exemplo, "o ATP liberta energia porque tem ligações com energia elevada") (Horwood 1988).

(4) Estudos de revisão sobre a investigação em ideias alternativas dos alunos indica haver poucos estudos em temas de Química, quando comparados com os de Física (por exemplo, ver Duit 1987; Pfundt and Duit 1988).

Embora sendo conhecidos alguns resultados sobre ideias alternativas dos alunos em reacções químicas – aspectos estruturais (Andersson 1986b), os estudos publicados relativos aos aspectos energéticos das reacções foram desenvolvidos no âmbito do trabalho agora representado (Cachapuz and Martins 1987; 1988a; 1988b; Martins and Cachapuz 1989).

A importância da abordagem das reacções químicas segundo as duas perspectivas – estrutural (transformação de substâncias) e energética, foi aliás defendida

por Driver e Millar (1986, p.191) como uma prática de ensino que poderá contribuir para a melhoria da aprendizagem dos alunos.

(5) No que respeita à sua importância em outras áreas disciplinares (nomeadamente, Ciências da Natureza, Biologia, Saúde e Física), do 5º ao 12º anos de escolaridade, a tabela 1.2 é ilustrativa de tal importância em Portugal.

1.5.2 - Escolha do nível de escolaridade dos alunos

Apesar da abordagem do tema "energia" a partir do 5º ano de escolaridade conforme referido na secção anterior, o seu tratamento no contexto das reacções químicas só é introduzido nos programas de Química.

Assim, a nível do 8º ano, é reconhecida a existência de reacções químicas que libertam energia (exoenergéticas, exotérmicas) ou que consomem energia (endoenergéticas, endotérmicas), com eventual referência à conservação da energia total.

No 9º ano de escolaridade, e no programa de Física, são tratados os temas energia cinética e potencial, conservação da energia, calor e temperatura, sendo as variações de temperatura de um corpo interpretadas em função de alterações das velocidades moleculares. Embora no programa de Química do 9º ano o tema "energia" não volte a ser abordado em si mesmo o aluno deverá ser capaz de interpretar variações de temperatura que acompanham as reacções químicas, por aumento ou diminuição da energia cinética molecular dos produtos da reacção, respectivamente no caso de reacções exotérmicas e endotérmicas, quando comparada com a energia cinética molecular dos reagentes.

No 10º ano de escolaridade é introduzido o conceito de energia de ligação, o qual funciona, no 11º ano, como um pré-requisito para o tratamento formal, qualitativo e quantitativo, das transformações de energia cinético-potencial, de saldo energético e de

Tabela 1.2 - Exemplos de tópicos envolvendo conceitos de reacção química e/ou energia, em programas de diversas disciplinas

Ano de escolaridade	Disciplina	TÓPICO
5º	Ciências da Natureza	Combustões. Estudo experimental da composição do ar. Actividades dos seres vivos. Fontes e formas de energia. Transferência de energia. Variação da energia térmica dos corpos. Propriedades da água. Constituição da matéria.
6º	Ciências da Natureza	Respiração (teste de identificação do CO ₂). Constituição dos ossos. Energia dos alimentos. Fotossíntese.
7º	Ciências da Natureza	Fotossíntese. Luz fonte de energia para as plantas. Energia química armazenada (nos alimentos, nos combustíveis, nas "ligações químicas" - ATP). Conversão de energia luminosa em energia química. Fontes e manifestações de energia. Formas de energia. Respiração.
8º	Biologia	Respiração. Fotossíntese. Ciclos do carbono, da água, do oxigénio, do azoto, do cálcio e do fósforo. Poluição atmosférica, da água e dos solos. Energia fonte de vida. Ecossistemas e energia.
9º	Biologia	Testes sobre a composição do pão e leite. Função digestiva. Metabolismo celular. Constituição dos ossos. Valor energético dos nutrientes (glícidos, lípidos e prótidos) e sua conversão em moléculas mais simples.
9º	Saúde	Poluição (ar, água, solo).
9º	Física	Tipos de energia: cinética e potencial (várias categorias - gravítica, química, eléctrica, magnética, elástica, nuclear). Interconversão energia cinética - energia potencial. Calor e temperatura. Conservação da energia.
10º	Ecologia	Factores abióticos. Poluição atmosférica. Fluxo de energia solar. Ciclos biogeoquímicos. A descoberta da energia fóssil. Princípios da termodinâmica.
10º	Biologia	Composição química da célula: ligações químicas, energia química, tipos de reacções químicas, variações de energia nas reacções químicas; moléculas constituintes das células - testes de identificação, enzimas e actividade enzimática; ácidos nucleicos. A célula e a energia; acumulação da energia em moléculas de ATP e seu consumo; energia dos nutrientes: respiração e fermentação. Fotossíntese.
10º	Física	Energia mecânica. Formas cinética e potencial da energia mecânica; energia potencial gravítica. Princípio da conservação da energia mecânica. Degradação da energia.
10º	Noções Básicas de Saúde	Imunologia.

Ano de escolaridade	Disciplina	TÓPICO
11º	Noções Básicas de Saúde	Regulação hormonal. Regulação da produção de energia. Regulação do equilíbrio hidrossalino.
11º	Física	Energia electrostática de um condutor electrizado. Efeito de descarga de um condensador. Efeito Joule: transformação de energia num condutor.
12º	Biologia	Origem da vida. Sistema respiratório. Sistema digestivo. Sistema excretor.
12º	Física	Energia potencial. Conservação da energia mecânica. Princípio da conservação da energia. Energia de um oscilador. Propagação da energia. Temperatura. Equilíbrio térmico. Temperatura e energia interna. Trabalho e calor. 1ª e 2ª leis da Termodinâmica. Capacidade calorífica e calor específico. Transformações com trocas de calor e trabalho. Entropia. Ciclo de Carnot. Princípio de incerteza de Heisenberg. Estrutura atómica. Energia de ligação dos núcleos. Reacções de fusão e cisão nucleares.
12º	Química	Matéria e natureza das radiações. Equivalência massa-energia. Estrutura electrónica dos átomos. Ligação química e estrutura molecular. Estrutura e propriedades de gases, líquidos e sólidos. Equilíbrio químico. Reacções de ácido-base. Reacções de oxidação-redução. Principais reacções de compostos de carbono. Variações de energia e de entropia nas reacções químicas. Velocidade e mecanismo das reacções. Transformações nucleares.

conservação de energia nas transformações químicas.

O tratamento previsto pelos programas de Química permitiu assim que se optasse por alunos do 11º ano de escolaridade, após o ensino das rubricas programáticas relevantes.

A opção por alunos do ensino secundário e não por alunos do ensino superior (onde a insatisfação na área, quer em termos de ensino quer em termos de aprendizagem, é grande) justifica-se por se considerar que algumas das dificuldades a nível mais avançado poderão ter origem, ou ser uma extensão de dificuldades anteriores dos alunos; daí o interesse em as investigar a níveis de escolaridade mais baixos.

Por razões idênticas considerou-se ainda importante utilizar como referência um grupo de alunos imediatamente após a introdução formal dos temas "reacção química" e "energia". A escolha recaiu sobre alunos do 9º ano (após o ensino do programa de

Física). Saliente-se que a utilização dos alunos do 9º ano não constituiu um fim em si mesmo mas um meio para uma melhor compreensão das ideias alternativas dos alunos do 11º ano.

1.5.3 - Pressupostos do estudo

O percurso da presente investigação será guiado pelos seguintes pressupostos:

(1) A aprendizagem processa-se por via construtivista – cada indivíduo percebe o mundo à sua maneira; todo o conhecimento anterior, crenças e expectativas sobre o mundo objectivo, é a base não só do conhecimento presente mas também das previsões futuras e pode constituir uma "barreira" à compreensão de modelos formais usados pelos professores (Pope and Gilbert 1983).

(2) É possível identificar, apreciar e aceitar diferentes expectativas, maneiras de pensar, percepções, crenças e modelos de aprendizagem de diferentes grupos de alunos.

(3) O conhecimento das ideias dos alunos é uma base firme a ter em conta no planeamento de estratégias que permitam substituir ou modificar pontos de vista individuais.

(4) Aquilo que uns alunos pensam e dizem, outros também poderão pensar e dizer.

1.5.4 - Objectivos do estudo

Definem-se a seguir os objectivos do estudo.

(1) Quais as ideias alternativas usadas pelos alunos dos 9º e 11º anos de escolaridade para interpretar as variações de energia que ocorrem em reacções químicas (seleccionadas).

(2) Que razões possíveis para a existência de tais ideias alternativas.

(3) Que possíveis implicações educacionais decorrentes das ideias alternativas identificadas.

(4) Como variam/se distribuem tais ideias alternativas em diferentes populações de alunos

- do mesmo ano de escolaridade,
- de diferentes anos de escolaridade.

(5) Qual a consistência das ideias alternativas identificadas em diferentes tarefas

- a nível individual,
- a nível de grupo.

(6) Qual a generalidade das ideias alternativas identificadas em outros alunos dos mesmos anos de escolaridade.

(7) Qual a relação entre o contexto de apresentação das tarefas e o tipo de ideias alternativas usadas pelos alunos.

1.5.5 - Plano do estudo

Nesta secção descrevem-se as etapas seguidas na elaboração do estudo.

1ª etapa: Escolha da área e do paradigma de investigação – ideias alternativas dos alunos, numa perspectiva ideográfica.

2ª etapa: Selecção do tópico químico tendo em conta os estudos conhecidos – Energia nas reacções químicas.

3ª etapa: Escolha do nível de escolaridade dos alunos e definição da dimensão da amostra.

4ª etapa: Definição dos objectivos do estudo.

5ª etapa: Estabelecimento da metodologia de investigação

- escolha do instrumento colector dos comportamentos – entrevista

clínica,

- selecção das tarefas,
- validação empírica da escolha das tarefas (estudo pré-piloto e teste diagnóstico).

6ª etapa: Estudo piloto.

7ª etapa: Estudo principal – administração do instrumento de investigação e transcrição das entrevistas para obtenção dos protocolos escritos.

8ª etapa: Escolha do método de análise dos protocolos escritos e sua aplicação.

9ª etapa: Obtenção dos resultados da análise de conteúdo – sua caracterização e sistematização.

10ª etapa: Discussão dos resultados tendo em conta o interesse educacional.

11ª etapa: Determinação da generalidade das ideias identificadas – construção de um segundo instrumento de investigação (questionário escrito), sua aplicação a uma amostra mais alargada, obtenção de resultados e sua discussão à luz dos resultados obtidos no estudo principal.

12ª etapa: Conclusões finais sobre os resultados obtidos.

- CAPÍTULO 2 -

REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - ESTUDOS PUBLICADOS: SUA DIVERSIDADE

Muitos estudos sobre ideias alternativas foram realizados em vários países, sobretudo na última década, utilizando métodos diversos (Treagust 1985), e em muitos domínios das ciências. Predominam os estudos do tipo descritivo, sendo ainda reduzido o número de trabalhos relativos a estratégias de intervenção, aspecto que só recentemente começou a ser abordado. Os primeiros estudos foram desenvolvidos sobre temas de Física, onde foram verificados interessantes paralelismos entre conceitos de crianças e jovens e teorias do passado, como é o caso da Dinâmica. Surgiram depois diversos trabalhos na área da Química, outros na interface Química-Física (por exemplo, calor, temperatura e energia), na área da Biologia e na das Ciências da Terra e do Universo (Driver 1985; Osborne and Freyberg 1985).

O número crescente de trabalhos publicados (Shymansky and Kyle 1988, p. 293) sobre ideias desenvolvidas pelos alunos reflecte a importância que lhe tem sido atribuída sobre a sua influência no ensino e aprendizagem da Ciência. Com efeito, espera-se que o conhecimento sobre o grande número e as características de ideias alternativas já identificadas para muitos conceitos científicos, assim como os processos de construção e origem dessas concepções, permitam delinear estratégias de intervenção de modo a facilitar nos alunos a mudança conceptual com vista ao desenvolvimento nestes de ideias adequadas. Esta posição sobre o ensino da Ciência passa pela identificação do modo como se processa o movimento da mudança conceptual (Hewson 1981).

Sobretudo na década de 80 têm proliferado estudos visando diagnosticar em

profundidade a compreensão dos alunos sobre conceitos científicos, antes, durante e após o ensino formal, os quais diferem uns dos outros quanto a amostragem, metodologias e temas investigados.

(1) Amostragem.

Os alunos, sujeitos da investigação, têm sido seleccionados desde classes infantis até universitárias (sendo as unidades de análise o indivíduo ou o grupo-classe), de diversos países com grande heterogeneidade cultural, linguística, social e económica.

(2) Metodologias.

Diferentes técnicas de recolha e análise de dados têm sido usadas para obter informação sobre ideias alternativas.

(i) Entrevistas individuais ou colectivas, mais ou menos livres, mais ou menos directivas, frequentemente do tipo clínico.

A maioria dos trabalhos desenvolvidos utilizando esta técnica diz respeito a amostras de dimensão reduzida. Este problema, o qual representa uma limitação desta linha de investigação (McClelland 1984) não deve ser ignorado e é desejável conseguir um equilíbrio entre profundidade de análise e tamanho da amostra. Uma solução possível para o problema do conhecimento sobre a generalidade das ideias alternativas identificadas consiste em construir, a partir de tais ideias, um questionário escrito, o qual deverá ser administrado a uma população alargada. Estes testes dado o seu formato estruturado necessitam de pouco tempo para administração e tratamento dos resultados, e podem ser utilizados pelos professores na sala de aula, como instrumentos diagnósticos de ideias dos alunos, por exemplo, antes do ensino formal do tema. Exemplos de testes deste tipo são os referidos por Treagust (1985; 1988) sobre ligações químicas, por Erickson (1980) sobre calor e temperatura e ainda por Finley (1986).

Outra proposta de resolução do conflito da falta de credibilidade nos resultados dados os problemas de amostragem e técnicas foi apresentada por Hashweh (1988) o

qual advoga a existência de duas fases distintas nos estudos sobre ideias alternativas: uma fase exploratória, de identificação de ideias (por exemplo, através de entrevistas clínicas) e uma fase de previsão de ideias dos alunos em outras situações, com testagem de tais previsões. Esta fase constituiria a fase de validação dos resultados obtidos na primeira, e nela dever-se-ia dedicar especial atenção à procura de refutação dos resultados obtidos na fase exploratória.

(ii) Questionários escritos ou orais usando técnicas de associação de palavras ou expressões, definições livres, escolha múltipla, evocação de situações reais ou imaginadas, interpretação de desenhos, manipulação de dispositivos experimentais.

(iii) Observação de alunos em diferentes situações de sala de aula (discussão e confrontação de ideias, resolução de problemas).

(3) Temas.

A maioria dos estudos empíricos realizados concentrou-se sobre tópicos leccionados nas disciplinas de Física, Química e Biologia e menos em Ciências da Terra e do Universo.

Conforme se referiu no capítulo 1, subsecção 1.4.5, foram já publicados diversos artigos de revisão sobre ideias alternativas em temas específicos, actas de conferências e seminários internacionais, e livros contemplando estudos em áreas diversificadas, os quais nos dão, no seu conjunto, uma panorâmica da diversidade e quantidade dos estudos realizados.

Apesar do interesse dedicado e estudos empíricos realizados por muitos investigadores sobre o problema das ideias alternativas em Química, não existe ainda publicado um artigo de revisão que sumarie e interrelacione os vários resultados já obtidos (ressalve-se a tentativa de Andersson (1986b) sobre o tema reacção química, o qual será discutido na subsecção 2.4.1.). Situação equivalente parece ser a que ocorre na área da Biologia. Pretende-se, neste capítulo, apresentar uma contribuição ainda que

modesta, para o preenchimento dessa lacuna no domínio das ideias alternativas em Química, com ênfase para estudos de publicação recente.

2.2 - ORGANIZAÇÃO DA REVISÃO DOS ESTUDOS

A revisão dos estudos que adiante se apresenta foi organizada tendo em conta a sua pertinência para o trabalho desenvolvido sobre "Energia e Reacções Químicas". Dado que sobre este tema não são conhecidos trabalhos publicados, pareceu relevante sumariar os resultados de estudos relativos a "Reacções químicas" (aspectos conhecidos) e ainda sobre o tema "Constituição e estrutura da matéria". A inclusão deste último tema justifica-se pela importância capital que ideias sobre a constituição e estrutura da matéria desempenham na elaboração de modelos microscópicos sobre reacções químicas frequentemente usados em currículos de Química, incluindo o caso de Portugal. Desde muito cedo o problema da constituição da matéria é contemplado em currículos de Ciência, muito antes de os alunos se iniciarem no estudo da Química. Nesta área foram já conduzidos muitos trabalhos de identificação de ideias dos alunos e pensa-se que a compreensão de eventuais ideias alternativas sobre reacções químicas será melhor conseguida se forem conhecidas as principais ideias já diagnosticadas sobre constituição da matéria.

Relativamente às "Reacções químicas", o problema das ideias alternativas dos alunos pode ser encaminhado para aspectos de mecanismo ainda que rudimentares (por exemplo, o modo como se formam produtos de reacção em determinadas situações-problema seleccionadas), ou para temas mais específicos (por exemplo, equilíbrio químico), ou ainda para um determinado tipo de reacções químicas. Está neste caso o tema "reacções de combustão" que tem sido explorado por diversos investigadores.

Posto isto, os temas dos quais se faz revisão de estudos são os seguintes:

a) Constituição e estrutura da matéria;

b) Reacções químicas, quanto a aspectos gerais e casos particulares.

Dentro de cada tema, a apresentação dos trabalhos (amostra, metodologia e principais resultados e conclusões) é feita por data de publicação, salvo alguns casos (por exemplo, estudos do mesmo autor).

2.3 - O PROBLEMA DA CONSTITUIÇÃO E ESTRUTURA DA MATÉRIA

Muitos programas de Ciência em geral e de Química em particular, a nível introdutório, são baseados em teorias sobre a constituição da matéria (partículas, átomos, moléculas, iões, etc.) (Lynch et al. 1985). No entanto, alguns autores defendem que estes conceitos não são indispensáveis para compreender, a nível de iniciação, muitos fenómenos químicos. Por exemplo, Johnstone (1982) propõe a utilização de três níveis de explicação possíveis:

- (i) Descritivo e funcional – os materiais são observados, manipulados e descritas as suas propriedades (cor, dureza, etc); a conversão de um material em outro(s) acarreta mudança de propriedades;
- (ii) Representacional – as substâncias são representadas por fórmulas e as transformações por equações;
- (iii) Explicativo – as transformações são explicadas em termos de teorias atómicas e moleculares.

Para Johnstone (1982) é importante que os alunos comecem por utilizar o nível "descritivo e funcional", como suporte para aprendizagens posteriores.

A decisão sobre a profundidade do tratamento a dar a um dado conceito, a nível dos programas escolares não é uma questão pacífica e, para alguns autores (Schollum and Osborne 1985), a introdução dos conceitos nos currículos deve ter em conta a sua utilidade para o aluno. Acontece muitas vezes que uma determinada ideia científica é introduzida porque os professores pensam que essa ideia é alguma coisa que o aluno

precisa de saber e não por ser a explicação que ajudará o aluno a tornar mais compreensível o mundo que o cerca. Certamente que esta perspectiva do currículo não implica que os professores seleccionem apenas as experiências sobre as quais os alunos evidenciam interesse por um modelo explicativo de qualquer tipo, mas que se assegurem de que as experiências dos alunos (antes da introdução dos modelos) ajudá-los-ão a ver as vantagens do modelo e que as experiências futuras reforçarão tal posição.

Num trabalho recentemente publicado, Vogelezang (1987) propõe que a iniciação do estudo da Química deva ser baseada na noção de substância em alternativa a teorias atómicas e moleculares. Para o autor esta ideia vai ao encontro da proposta de Johnstone (1982) anteriormente referida e representa uma abordagem dos conceitos mais directamente relacionável com as experiências dos alunos. No entanto, esta perspectiva também não é isenta de críticas, pois o conceito de substância pode apresentar algumas dificuldades para os alunos e a sua utilização de modo não adequado poderá conduzir à falta de compreensão sobre a natureza de muitas transformações observadas. Por exemplo, Vogelezang, citando um trabalho realizado por de Vos (1985), refere que os alunos investigados consideravam "pregos de ferro" e "ferro pulverizado" como substâncias diferentes porque apresentavam brilho diferente. Este resultado serviu de argumento a de Vos para propor como base na iniciação do estudo da Química, o conceito de molécula, ao que Vogelezang contrapôs com a possibilidade de os alunos poderem pensar que se existem duas substâncias de ferro, então também existem dois tipos de moléculas de ferro.

Dos resultados obtidos através de numerosos estudos empíricos realizados em diversos países, com alunos de idades e níveis de escolaridade muito variados, é lícito afirmar-se que existem dificuldades de compreensão por parte dos alunos, antes e após o ensino de Ciência, sobre os modelos de constituição da matéria.

A grande dificuldade dos alunos parece residir na incompreensão da diferença

qualitativa existente entre os dois domínios, macroscópico e microscópico, ou seja, que o conceito de átomo/molécula é parte de um modelo inventado para explicar e prever o que acontece no mundo macroscópico. Daí surgirem, em diversos grupos etários, ideias como:

- a matéria é contínua (ideia reforçada por observações correntes, por exemplo, incompressibilidade aparente de sólidos e líquidos);
- a matéria é formada por partículas com alguma coisa entre elas, por exemplo, ar ou outras "partículas" mais pequenas;
- as partículas têm as propriedades macroscópicas das substâncias respectivas: estado físico, cor, odor;
- as partículas não são imutáveis: podem sofrer alterações de volume, mudança de estado ou arderem.

Segundo os professores o conceito de átomo é difícil porque os alunos não os podem ver. Podem ver um cristal, podem vê-lo dissolver-se e recristalizar, mas o que se passa com os átomos? É conhecida a dificuldade dos alunos em aceitarem. mesmo aos 14 anos, que existam "coisas" não observáveis (o ar é uma excepção). Verificou-se (Schollum and Osborne 1985) que os alunos pensavam que

- não existia oxigénio um tubo de ensaio porque não viam nada;
- quando se queimava um gás ele era consumido e nada restava. Frequentemente foi admitido que o ar não era envolvido activamente na combustão, embora pudesse ser considerado como um catalisador;
- se o vapor que saía de uma chaleira com água a ferver, deixava de se ver então ele transformava-se em ar.

Também o que é perceptível pelos sentidos dificilmente é ignorado em termos explicativos. Está neste caso o paladar, a cor e o odor. Por exemplo, alguns alunos consideravam que

- quando o açúcar se dissolvia em água "não ficava nada a não ser o gosto";
- quando um cristal colorido se dissolvia em água "a cor saía do cristal";

- quando se aquecia cânfora à porta de uma sala "apenas o cheiro atravessava a sala".

Note-se que estes são exemplos típicos utilizados por professores e manuais escolares para introduzir a teoria corpuscular da matéria.

A centralidade nos currículos de Ciência em geral de teorias sobre a constituição da matéria, a sua função explicativa para os fenómenos considerados do domínio da Química e o insucesso por parte dos alunos na aprendizagem dos conceitos inerentes reconhecido pelos professores, terão despertado a atenção dos investigadores para a identificação das ideias alternativas de alunos nesta área de conteúdo.

As situações-problema escolhidas pelos investigadores para recolher ideias dos alunos foram variadas e incluíram, em maior extensão, fenómenos de mudanças de estado, de dilatação e de dissolução.

Na tabela 2.1 apresenta-se uma listagem, ordenada cronologicamente por data da publicação, de estudos empíricos conhecidos neste domínio de conteúdo, dos quais a seguir se sumariam as principais conclusões.

Pode dizer-se que o início dos estudos sobre ideias dos alunos relativas às suas concepções sobre a constituição da matéria teve lugar em Genebra (Suiça), conduzido por Piaget e Inhelder (1962), com mais de uma centena de crianças, entre os 4 e os 12 anos. As tarefas utilizadas para condução das entrevistas clínicas foram a dissolução do açúcar em água, o aquecimento de um grão de milho ("pipoca") numa placa eléctrica e a dilatação do mercúrio num termómetro. Dos resultados obtidos os autores concluíram que o desenvolvimento de ideias atomistas (descontinuidade da matéria) estava relacionado com o desenvolvimento de ideias de conservação de substância, de peso (massa) e de volume.

Tabela 2.1 - Exemplos de estudos empíricos sobre ideias dos alunos relativas ao tema "Constituição e estrutura da matéria"

Autor(es) e ano	Amostra (idade ou ano de escolaridade)
Piaget and Inhelder 1962	4 – 12 anos
Dow, Auld and Wilson 1978	11 – 13 anos
Novick and Nussbaum 1978	12 – 13 anos
Happs 1980	10 – 17 anos
Cosgrove and Osborne 1981	8 – 17 anos
Kircher 1981	4 ^o – 6 ^o ano
Novick and Nussbaum 1981	5 ^o – 12 ^o ano e univ.
Selley 1981	12 anos
Driver 1983	13 anos
Andersson 1984	7 ^o – 9 ^o ano
Brook, Briggs and Driver 1984	15 anos
Driver 1985	11 – 16 anos
Ben-Zvi, Eylan and Silberstein 1986	15 anos
Séré 1986	11 anos
Mas, Perez and Harris 1987	7 ^o – 12 ^o ano
Renström 1987	7 ^o – 9 ^o ano
Stavy 1987	6 – 15 anos
Stavy, Eisen and Yaakobi 1987	13 – 15 anos
Ben-Zvi, Eylan and Silberstein 1988	15 – 16 anos
Stavy 1988	9 – 15 anos
Veiga 1988	10 – 15 anos

As crianças mais novas apresentaram ideias que tinham a ver com aspectos directamente observáveis. Por exemplo, como o açúcar deixava de se ver então é porque ele tinha desaparecido (embora o "paladar" ou algum "vapor" pudesse ter ficado na água; alguns alunos pensavam que mesmo esse "paladar" desapareceria, com o tempo). Alguns alunos foram de opinião que o açúcar, antes de desaparecer se fez em "migalhas" ou mesmo em "poeira" o que lhes poderia dar a ideia de partículas invisíveis, não ocupando espaço e sem peso (massa). No entanto, tal não significava que os alunos admitiam a ideia de conservação de substância na forma de corpúsculos não-perceptíveis, ou seja, apesar de os alunos admitirem e observarem a transformação de um torrão de açúcar em açúcar em pó, não prolongavam a ideia de "pulverização" para além do domínio do observável. As ideias de não-conservação seriam obviamente incompatíveis, para as crianças envolvidas, com a recristalização do açúcar. Os autores verificaram que os alunos mais velhos foram apresentando, sucessivamente, ideias atomistas da constituição da matéria embora tal não significasse uma interpretação adequada sobre os fenómenos. Por exemplo, o aumento de volume no aquecimento do grão de milho, devia-se à dilatação das partículas.

Novick and Nussbaum (1978) numa série de estudos com 150 alunos israelitas, seleccionados aleatoriamente em turmas do 8º e 9º anos (13-14 anos), procuraram conhecer as suas ideias sobre a teoria cinética dos gases. A metodologia utilizada foi a entrevista clínica individual. Os resultados obtidos permitiram concluir que

- (1) cerca de metade dos alunos não utilizaram ideias de "partículas" para explicar a constituição da matéria;
- (2) mesmo para os alunos que usaram conceitos de partículas, muitos deles evidenciaram ausência de modelos adequados. Por exemplo, 35% da amostra total, apresentou uma "visão contínua" do modelo de partículas, ao admitir que o espaço vazio entre partículas se encontrava preenchido por outras partículas, ar, poeiras, etc. Os alunos evidenciaram também como sendo difícil interpretar o movimento constante das partículas como intrínseco e

pensavam que deveria existir um agente exterior, por exemplo o ar, como causa desse movimento. Outra dificuldade dos alunos sobre o modelo de partículas foi a compreensão do modo como as partículas se distribuem: 30% dos alunos pensavam que as partículas não estavam uniformemente distribuídas.

Num estudo longitudinal posterior, Novick and Nussbaum (1981) procuraram conhecer qual a alteração nas ideias dos alunos sobre a constituição da matéria, com a instrução. Usaram uma amostra de 576 alunos, desde o 5º ao 12º anos (5º e 6º – 1º grupo; 7º, 8º e 9º - 2º grupo; 10º, 11º e 12º - 3º grupo) e ainda de nível universitário (4º grupo). O método utilizado foi um questionário escrito sobre situações de índole experimental, às quais se pedia uma explicação (resposta livre) ou escolha de alternativa, justificada, e ainda um desenho.

Verificaram que

- (1) apenas 37% dos alunos do último grupo do ensino secundário e do ensino superior apresentaram a ideia de vazio entre as partículas, apesar de a maioria dos alunos com modelo descontínuo da matéria admitirem a distribuição uniforme das partículas; o facto de 60% dos alunos do 1º e 2º grupos nada ter desenhado entre as partículas, foi, na opinião dos autores, indicador de uma visão contínua da matéria;
- (2) os alunos tinham um entendimento diferencial do efeito da temperatura no comportamento das partículas: 50% pensavam que o seu movimento aumentava por aumento da temperatura, mas só 30% admitiu o efeito inverso, isto é, que por diminuição da temperatura, diminuía o movimento. Alguns deste alunos pensavam que por arrefecimento de um gás, aumentavam as forças atractivas entre as partículas.

Happs (1980) investigou, na Nova Zelândia, as ideias de 41 alunos, de 10 a 17 anos, sobre partículas constituintes da matéria (átomos e moléculas), no contexto de

reações químicas (combustão de uma vela, neutralização de um ácido, precipitação do cloreto de chumbo e oxidação explosiva do magnésio). A técnica de investigação usada foi a entrevista individual sobre as experiências realizadas na presença de cada aluno. O autor concluiu que muitos alunos

- (1) não interpretaram adequadamente os fenômenos observados, com base na teoria da natureza corpuscular da matéria (as partículas têm as propriedades das substâncias: mudam de estado físico, de tamanho, ardem e explodem);
- (2) atribuíram ao termo "partícula" (e também "átomo" e "molécula") significados diferentes dos do ponto de vista científico (por exemplo, o significado de uso corrente, "grão");
- (3) não consideraram a conservação da massa, ou mesmo das partículas, nas reações químicas (para muitos a massa dos produtos seria inferior à dos reagentes).

Outro estudo realizado na Nova Zelândia (Cosgrove and Osborne 1981), com 43 alunos, dos 8 aos 17 anos, utilizando entrevista sobre situações experimentais de mudanças de estado (ebulição e condensação da água, e fusão do gelo) e sobre dissolução (açúcar em água), permitiu estabelecer as seguintes conclusões.

Nas mudanças de estado:

- (1) alguns alunos pensaram haver alteração da natureza da substância (a água transformava-se em ar);
- (2) a maioria dos alunos referiu predominantemente apenas alterações macroscópicas;
- (3) a partir dos 13 anos, alguns alunos explicaram as transformações em termos de partículas ou moléculas, com saliência para a ideia de que os seus movimentos aumentaram por aquecimento e por isso se afastaram umas das outras; algumas delas saíram do líquido porque se transformaram num gás (ideia de molécula como fracção de substância).

Na dissolução do açúcar em água:

- (1) cerca de um terço dos alunos usaram o termo "o açúcar fundiu" para descrever o processo, e alguns deles consideraram como sinónimos os termos "fusão" e "dissolução";
- (2) alguns alunos apresentaram respostas que sugeriram a ideia de que "açúcar" é uma substância definida pelas suas propriedades macroscópicas. Uma vez dissolvido deixa de ser açúcar, apenas fica o seu paladar;
- (3) a partir dos 13 anos, alguns alunos usaram ideias sobre partículas, (separação, fragmentação) para interpretar a dissolução.

Gilbert e Watts (1983, p. 81) cita trabalhos conduzidos por dois autores, Selley e Kircher, na área temática em referência.

Selley (1981) descreveu as explicações de alunos de 12 anos sobre a dissolução de cristais de iodo e difusão lenta numa solução de iodeto de potássio. Um grupo sugeriu diferenças de densidade, correntes de convecção, efeitos térmicos, transporte por bolhas de ar, etc. Segundo os comentários de Selley, o modelo de partículas não é auto-evidente e não pode ser inferido a partir dos próprios fenómenos por qualquer via lógica.

Kircher (1981) trabalhou com alunos do 4^o ao 6^o anos de escolaridade e defende que demonstrações como evaporação, dissolução de cristais ou cristalização são pouco convincentes para esclarecer os alunos sobre modelos de constituição da matéria.

Neste sentido apontam também as ideias de Gilbert, Osborne e Fensham (1982, p. 626) ao dizerem que a diferenciação pelos alunos dos diversos estados da matéria pode ser feita consoante a sua utilidade. Por exemplo, o gelo pode distinguir-se da água líquida porque "não é bom para beber".

Driver (1983) verificou que alunos de 13 anos explicavam a dilatação do mercúrio no termómetro por dilatação das partículas constituintes.

Num estudo conduzido por Andersson (1984) na Suécia, sobre conservação da massa na dissolução de açúcar em água, envolvendo 2883 alunos do 7^o, 8^o e 9^o anos, utilizando como instrumento um questionário escrito, de escolha múltipla entre cinco alternativas, com justificação, extraíram-se as seguintes conclusões:

- (1) apenas cerca de 60% dos alunos de cada ano apresentaram ideias de conservação da massa. Não se verificou diferença na extensão da ideia, com a instrução;
- (2) alguns alunos que previram diminuição da massa da solução, comparativamente com a soma das massas do açúcar e da água, apresentaram para isso três tipos de razões:
 - o açúcar desapareceu quando dissolvido;
 - confusão entre massa e volume (as partículas de açúcar distribuíram-se entre as partículas da água e o volume manteve-se);
 - o açúcar estava na solução mas "pesava" menos (i.e., a massa de um líquido é menor do que a de um sólido).

Brook, Briggs e Driver (1984) utilizaram um teste escrito em cerca de 300 alunos ingleses, de 15 anos (grupos diferentes de alunos por questão), e uma entrevista posterior a um pequeno grupo, para procurar saber como é que explicavam cinco situações do dia-a-dia, utilizando teorias de constituição da matéria. Por exemplo, uma das questões consistia em explicar o que acontece a um bloco de gelo quando a sua temperatura aumenta de -10 °C para -1°C.

As conclusões extraídas foram:

- (1) apenas 20% dos alunos apresentaram ideias adequadas sobre a teoria corpuscular. No entanto, apesar de a ideia mais popular neste grupo ser a relação entre a temperatura e o movimento das partículas, menos de 10% dos alunos relacionaram o aumento da velocidade das partículas com o aumento da pressão de um gás (caso de uma bola de futebol ou de um pneu de bicicleta);

- (2) os alunos utilizaram transferência de propriedades macroscópicas para o nível microscópico (as partículas fundiam, aqueciam ou mudavam de tamanho);
- (3) a referência a forças de interação entre as partículas foi pouco usada, e, possivelmente como consequência, os alunos pensaram que o gelo começava a fundir à medida que a temperatura ia aumentando;
- (4) cerca de um terço dos alunos usaram ideias do tipo macroscópico;
- (5) no grupo de alunos com ideias do tipo microscópico mas "incorrectas" (31%), registou-se dois tipos de ideias. Uns relacionaram as variações de pressão com forças entre partículas (possivelmente devido à confusão entre os termos "pressão" e "força"); outros pensaram que havia dilatação das partículas do gás (visão "estática") ou ainda que o aumento de volume era devido ao movimento cada vez mais rápido das partículas as quais precisavam, por isso, de maior espaço entre elas (visão "dinâmica"), "empurrando" as paredes do recipiente.

Driver (1985) apresenta um sumário de ideias de alunos entre 11 e 16 anos, de diversas nacionalidades (ingleses, franceses, suecos e neo-zelandeses) sobre "mudanças de estado" e "dissolução". Relativamente a "mudança de estado" podem destacar-se as três ideias principais:

- (1) ausência de movimento de partículas ou de forças de coesão entre as partículas de um sólido;
- (2) associação de ideias de separação das partículas e aumento da temperatura;
- (3) transferência de propriedades das substâncias para as próprias partículas.

Driver (1985) descreve o estudo realizado por Dow, Auld e Wilson (1978) com cerca de 1000 alunos escoceses de 11-13 anos, sobre a constituição da matéria, nos três estados.

Como parte do estudo era pedido aos alunos que desenhassem esquemas

mostrando a forma e a distribuição dos átomos/moléculas num sólido, num líquido e num gás.

As conclusões dos autores foram as seguintes:

- (1) cerca de metade dos desenhos representavam as partículas no líquido e no gás mais pequenas do que no sólido. Entrevistas posteriores com alguns destes alunos mostraram que não se tratava de uma mudança de escala no desenho mas que efectivamente eles consideravam que o diâmetro molecular diminuía do sólido, para o líquido, e deste para o gás;
- (2) a maioria dos alunos representaram as partículas do sólido mais ordenadas do que as do líquido e as do gás;
- (3) no estado líquido e gasoso a maioria dos alunos indicou movimento das partículas; no estado sólido um terço dos alunos não indicaram qualquer movimento.

Num estudo com alunos franceses de 11 anos, utilizando questionários escritos (600 alunos) e entrevistas (20 alunos), Séré (1985 e 1986) investigou quais as ideias dos alunos antes do ensino sobre propriedades físicas dos gases e concluiu:

- (1) apesar de os alunos conhecerem objectos correntes que utilizam propriedades do ar (pneus, almofadas, etc.) e terem contacto com eles, isso não foi suficiente para que eles tivessem adquirido conceitos científicos sobre o ar ou os gases;
- (2) 40% dos alunos pensaram que por aquecimento o ar se transformava num gás (para alguns deles o dióxido de carbono, confusão resultante, provavelmente, da associação entre aumento de temperatura e combustão); 60% dos alunos sabiam que o ar podia ser aquecido embora nem todos estivessem convencidos que isso faria alterar a leitura num termómetro. Contrariamente o ar arrefecido nunca foi descrito como diferente do ar à temperatura ambiente;
- (3) alguns alunos pensavam que "mais ar pesa menos" com base em ideias



analógicas do tipo "um objecto mais cheio de ar flutua melhor";

- (4) para os alunos o ar não exercia qualquer força baseados na ideia de que "nada acontece, o ar não empurra, não faz nada".

Ben-Zvi, Eylan e Silberstein (1986) mostraram existir ideias alternativas sobre o conceito de átomo para 66,3% de uma amostra de alunos israelitas ($N \approx 300$) de 15 anos: o átomo de um gás e o átomo de um sólido teriam propriedades diferentes. Estes alunos pensavam que os átomos deveriam conter as propriedades da substância que constituem (por exemplo, um átomo de cobre seria visto como uma pequena porção do metal sólido enquanto um átomo de mercúrio seria visto como uma pequena gota do líquido e um átomo de oxigénio como uma pequena massa de um gás invisível flutuando no ar).

Num estudo sobre a aprendizagem da unidade mole (Ben-Zvi, Eylan and Silberstein 1988), envolvendo 530 alunos israelitas, do 10º ano (15-16 anos), 38,5% dos alunos responderam que a massa de um átomo de hidrogénio era "um grama", e 21% responderam que em uma mole de H_2 e em uma mole de H_2O "o número de moléculas H_2 é igual".

Na opinião dos autores as dificuldades apresentadas pelos alunos estão fortemente relacionadas com uma visão não adequada sobre átomos e estrutura dos compostos, já explicitada num estudo anterior (idem 1986).

Algumas razões foram apontadas como podendo estar na origem das dificuldades dos alunos: (1) o salto brusco entre o nível de descrição das partículas, uma a uma, para o de moles de átomos e de moléculas (as representações diagramáticas e os modelos representativos envolvem apenas um número reduzido de espécies intervenientes; (2) linguagem/simbologia da Química.

Neste estudo envolvendo uma sub-amostra de 275 alunos do 10º ano com a mesma preparação em Química e o mesmo livro de texto, pretendeu-se investigar qual

- 1) o nível de descrição usado pelos alunos (macroscópico, atómico-molecular ou

multi-atômico), quando eram confrontados com simbologia química (Cu(s); H₂O(l); Cl₂(g));

- 2) como é que os alunos representavam a matéria a nível atômico e multi-atômico admitindo que utilizavam os vários níveis de descrição.

As questões colocadas por escrito eram de formato aberto. Da análise das respostas foi possível concluir que

- (1) mais de 90% dos alunos tinham algum modelo de líquido e de gás e apenas 45% no caso de um sólido;
- (2) apenas 8,4% dos alunos apresentavam simultaneamente um modelo multi-atômico para líquido e gás; e 70-80% atribuíam às representações simbólicas usadas para líquido e gás, apenas a representação de uma partícula;
- (3) 13% dos alunos consideravam que a molécula de água continha uma unidade H₂, "ligada"/"agregada" a um átomo de O (H₂ + O);
- (4) mais de 25% dos alunos utilizavam o modelo intuitivo de átomo e/ou molécula, como a "mais pequena porção de substância", atribuindo-lhe, portanto, o estado físico, a cor e o cheiro da substância respectiva.

Stavy (1987) descreveu ideias dos alunos sobre a conservação ou não da massa em diferentes transformações físicas e discutiu essas ideias à luz de teorias de constituição da matéria.

A amostra era constituída por alunos israelitas, do 1º ano (6-7 anos) até ao 9º ano (14-15 anos), com 20-25 alunos em cada grupo, inquiridos por entrevista

As tarefas usadas foram a fusão de uma vela e de um cubo de gelo, a evaporação de acetona e de iodo, a dissolução do açúcar em água e a dilatação da água.

Os resultados obtidos permitiram concluir que

- (1) as ideias de conservação da massa dependiam da natureza da transformação e por ordem decrescente de popularidade: transferência de local, mudança de sólido para líquido e mudança de líquido para gás. Por exemplo, a maioria dos alunos mais novos pensavam que a massa do gelo era superior à da

água, e que um gás tinha massa nula. Os mais velhos pensavam que a massa de um líquido era superior à de um gás, e no caso da dissolução do açúcar, a massa da solução era menor do que a soma das massas da água e do açúcar porque "o açúcar vai diminuindo até que desaparece". No caso da expansão da água a maioria dos alunos pensava que a massa da água quente é maior do que a da água fria por ter maior volume;

- (2) o contexto da tarefa influenciava as ideias de conservação da massa: a evaporação da acetona e a sublimação do iodo foram percebidas de modo diferente pelos alunos do 4º ao 7º ano. O iodo por ser corado podia ser observado no estado gasoso, contrariamente à acetona; talvez por isso ideias sobre conservação de massa foram mais extensas no caso do primeiro;
- (3) apenas 50% dos alunos do 7º ano compreenderam a conservação da massa no processo da evaporação, apesar de a estrutura da matéria ser um tema curricular com grande destaque. Talvez por esta razão nenhum aluno do 7º ano e apenas 15% dos alunos do 8º e 9º anos terão usado a teoria de constituição da matéria nas suas explicações.

Stavy recomenda que o ensino deva começar, por conservação da massa em mudanças de estado, em seguida teorias sobre constituição da matéria e só depois as reacções químicas.

Outro estudo de Stavy (1988), envolvendo uma amostra constituída por 6 grupos etários, do 4º ano (9-10 anos) ao 9º ano (14-15 anos), de 20 alunos cada, os quais foram entrevistados individualmente, a autora concluiu que os alunos pensavam que quando se faz borbulhar um gás num líquido,

- (1) o ar não tem massa (30% no 4º ano; 25% no 5º ano; 35% no 6º ano; 10% no 7º e 8º anos; 5% no 9º ano): "as bolhas de ar ou de gás rebentam na água e deixam lá o seu conteúdo" ou "é a mesma água". Estas explicações são possivelmente afectadas pelo facto do volume de água não mudar. O segundo tipo de resposta apareceu nos alunos do 4º ao 6º ano. Para estes

alunos o líquido é mais pesado do que o gás: "o gás torna as coisas mais leves, por isso, se o gás sai então o que fica pesa mais".

Tal como no estudo de Engel Clough e Driver (1986) os alunos não foram consistentes, ao nível do 7^o ano, entre diferentes tarefas. Eles são influenciados nas suas explicações por aspectos perceptuais das tarefas;

- (2) 50% dos alunos responderam correctamente à questão: depois da saída do CO₂ do contentor a massa é menor. A ideia não correcta mais comum foi de que a massa era a mesma, possivelmente com base na ideia "o ar (ou gás) não tem massa".

Neste estudo (Stavy 1988), a autora procurou investigar as definições que os alunos apresentavam sobre o termo "gás". As definições obtidas foram classificadas em três grupos diferentes:

1. Definição de gás por meio de um exemplo (gás de cozinha, gás das bebidas, ar, vapor) nos grupos mais novos (85% no 4^o ano; 80% no 5^o ano; 65% no 6^o ano e 35% no 7^o ano).
2. Definição de gás como forma da matéria (propriedades, estado físico) nos grupos intermédios (20% no 5^o ano; 20% no 6^o ano; 45% no 7^o ano; 75% no 8^o ano e 35% no 9^o ano).
3. Definição de gás com base numa teoria de constituição da matéria (distância entre partículas, arranjo e forças de atracção) nos grupos mais velhos (25% no 7^o e 80% no 9^o ano).

Num outro estudo conduzido por Stavy, Eisen e Yaakobi (1987), cujo objectivo era conhecer ideias de 33 alunos israelitas de 13-15 anos sobre fotossíntese (técnica de entrevista), foi considerado como importante investigar as ideias desses alunos sobre "gás", em particular se eles reconheciam que os gases são substâncias com massa. Todos os alunos consideraram que um recipiente contendo dióxido de carbono tinha massa superior à do outro recipiente igual vazio.

Em seguida, foram apresentados aos alunos dois tubos contendo volumes iguais de água de cal límpida, e com a mesma massa. Num dos tubos fez-se borbulhar dióxido de carbono e explicou-se a cada aluno a reacção entre o dióxido de carbono e os iões cálcio. Pretendia-se saber qual dos tubos tinha maior massa. Apenas 50% dos alunos responderam adequadamente.

O estudo de Stavy et al. evidencia a influência do contexto nas explicações utilizadas pelos alunos. A falta de consistência poder-se-á em parte explicar, na opinião dos autores, pelo facto de durante o ensino serem usados poucos exemplos de reacções com gases. Deste modo o reconhecimento por parte dos alunos de que os gases têm massa estaria limitado a algumas situações.

Renström (1987) conduziu um estudo com 20 alunos suecos, seleccionados aleatoriamente em turmas de 7^o ano (4), de 8^o ano (6) e de 9^o ano (10). O método usado foi a entrevista clínica, individual. O estudo visava investigar as concepções dos alunos sobre a matéria, as diferenças existentes entre várias substâncias e ainda, o modo como exprimiam o conceito de átomo. As substâncias utilizadas para discutir as ideias dos alunos apresentaram-se no estado sólido (sal das cozinhas, ferro, alumínio e madeira em lâminas), no estado líquido (água e óleo em tubos de ensaio) e no estado gasoso (ar do ambiente, oxigénio e dióxido de carbono em tubos fechados).

Os resultados obtidos permitiram concluir a existência de cinco concepções de substância:

- (1) um contínuo – a substância é formada por uma massa homogénea;
- (2) um contínuo com átomos – a substância é feita por átomos da substância (a água é constituída por átomos de água);
- (3) uma unidade não homogénea – existe uma unidade base contendo diversas camadas, revestidas por uma película/pele e um núcleo;
- (4) partículas entre as quais pode existir outra substância; ou partículas do tipo átomos desenhados de modo igual para todas as substâncias, mas com nomes diferentes;

- (5) átomos e moléculas, por vezes sem indicação das diferenças na constituição da substância em diferentes fases.

No que respeita às concepções dos alunos sobre o conceito de átomo, foram identificadas quatro ideias distintas:

- (1) sem concepção;
- (2) átomos são "coisas" pequenas;
- (3) os átomos são formados por outros átomos mais pequenos;
- (4) átomo como modelo atómico.

Não é indicada no estudo a extensão de cada uma das ideias identificadas.

Mas, Perez e Harris (1987) realizaram um estudo envolvendo 1198 alunos espanhóis de 12 escolas, do 7º (12-13 anos) ao 12º ano (17-18 anos), com o objectivo de verificar: (1) a extensão de ideias de não conservação de massa em tarefas em que sólidos e líquidos originam gases; (2) a correlação existente entre ideias de não conservação e a quantidade de material transformado.

O instrumento usado foi um questionário escrito e as questões apresentadas eram referentes a situações supostas familiares aos alunos (dissolução de um comprimido efervescente em água, oxidação do ferro, combustão do papel num vaso fechado, vaporização de um líquido num vaso fechado, e dissolução de açúcar em leite). Análise estatística dos resultados (método chi-quadrado), permitiu concluir a existência de diferença significativa entre os dois subgrupos (conservação de peso e conservação de substância), em cada um dos grupos etários (mesmo no caso de conservação de substância os alunos têm ideias de não conservação de massa e peso). Os resultados obtidos confirmaram as hipóteses iniciais: os gases são substâncias que, em comparação com os líquidos de onde provêm, têm menor massa e peso. Esta ideia diminui com a idade. Existiu uma correlação elevada entre a percentagem de respostas erradas e a quantidade de material transformado em gases (a diferença verificada entre a "vaporização do líquido" e o "açúcar no leite" foi cerca de 40%). Apesar dos alunos

terem estudado teoria atómica, não utilizaram ideias de conservação da massa em processos envolvendo gases. Os autores estabelecem o paralelo entre esta situação e concepções aristotélicas sobre gases.

Num estudo realizado por Veiga (1988) com 30 alunos portugueses do 5º ao 9º anos de escolaridade (10 - 15 anos), utilizando entrevistas clínicas, sobre fenómenos de dilatação e contracção de volume, mudanças de fase e solubilização, em contextos académico e do quotidiano, a autora tirou as seguintes conclusões.

- (1) Muito poucos alunos utilizaram espontaneamente ideias "científicas" para explicar as situações, em particular a teoria corpuscular da matéria, apesar de se tratar de um tópico curricular a partir do 5º ano. A utilização espontânea do conceito de "partícula" aumentou com o nível de escolaridade dos alunos e foi mais evidenciado no caso do envolvimento de líquidos e gases.
- (2) Em todos os grupos etários houve alunos que não usaram teorias de partículas.
- (3) Em todos os grupos apareceram ideias de não conservação de partículas (aumento de volume, fusão, combustão, etc.).
- (4) As explicações usadas dependeram do contexto de apresentação das tarefas (a teoria corpuscular foi usada mais espontaneamente em fenómenos de evaporação do que de fusão).
- (5) Nos grupos mais velhos apareceram mais significados para o termo "partícula" (electrões, iões, etc.).
- (6) A popularidade de certas ideias alternativas aumentou, nos grupos mais velhos. Por exemplo, por ebulição a água decompõe-se em oxigénio e hidrogénio, e a condensação consiste na recombinação dos dois gases, um resultado consistente com outros estudos (Osborne and Cosgrove 1983; Strauss 1981).

2.4 - O PROBLEMA DAS REACÇÕES QUÍMICAS

2.4.1 - Aspectos gerais

Uma das áreas de investigação sobre ideias alternativas dos alunos onde só recentemente começaram a surgir trabalhos, foi a relativa ao modo como estes explicam as reacções químicas. Isto ficou claro durante o "workshop" internacional "Research on physics education", realizado em La Monde Les Maures em 1983. Um grupo de participantes discutiu este tópico central para alunos de 10 a 15 anos, período em que os alunos são confrontados com a Química pela primeira vez (Champagne, Halbwachs and Méheut 1984). Os estudos discutidos foram os realizados por Andersson e Renström (1981), Schollum (1982), Pfundt (1982), Méheut, Saltiel e Tiberghien (1983) e Andersson e Renström (1983a; 1983b), envolvendo alunos com e sem instrução em Química. Os participantes no "workshop" não tinham conhecimento de quaisquer outros estudos relacionados com o tópico, nem os artigos de revisão e actas de seminários mencionavam quaisquer outras referências a ideias alternativas dos alunos sobre reacções químicas. Os estudos sobre reacções químicas acima mencionados, que produziram interessantes e valiosos resultados, também não faziam referência uns aos outros. Este facto, aliado à importância de estudos deste tipo para o ensino e aprendizagem da Química, foi motivação para Andersson (1986b) apresentar uma interessante síntese dos resultados desses estudos, visando, em particular, o modo como os alunos explicavam o aparecimento e o desaparecimento de substâncias (os estudos de Andersson e Renström (1981, 1983b) também tratavam da conservação da massa).

Cada um dos estudos apresentava muitos exemplos de explicações utilizadas pelos alunos e o trabalho de Andersson (1986b) procurou sistematizar os resultados obtidos. No entanto, existem algumas limitações quanto ao significado de algumas respostas apresentadas, sobretudo por razões de ambiguidade de linguagem. Por

exemplo, quando um aluno escreveu "formou-se óxido" para explicar porque é que um pedaço de cobre enegreceu, não se sabe se ele possuía um entendimento de reacção química, ou apenas apresentava um comportamento descritivo, ou se pensava que uma substância existente no ar tinha aderido ao metal, como uma fina camada de tinta. No entanto, na opinião de Andersson esta ambiguidade é compreensível visto que os estudos não tinham sido conduzidos para testar a série de categorias que ele apresenta na sistematização.

Pelo contrário, tais estudos eram explorações de como os alunos explicavam reacções químicas, e os investigadores não tinham ideias muito específicas do que procurar (isto explica por que razão não foi possível indicar em todos os casos a frequência para as várias categorias propostas). Segundo Andersson (1986b) foram cinco os modos usados pelos alunos para explicar uma reacção química.

1. É assim mesmo ... (ausência de explicação)
2. Deslocamento
3. Modificação
4. Transmutação
5. Interacção química

Na tabela 2.2. apresentam-se, de modo sistematizado, as características dos estudos que serviram de base a esta classificação elaborada por Andersson (1986b).

Em relação às conclusões estabelecidas por Andersson (1986b) sobre o entendimento por parte dos alunos no que respeita à interacção química, algumas reservas podem ser feitas sobre o seu significado. Assim,

(1) "o cobre e o oxigénio reagiram" não é indicação suficiente para se poder considerar a existência de interacção;

(2) "O oxigénio reage com o cobre, formou-se óxido de cobre, a película negra que reveste o tubo, $\text{Cu} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CuO}_2$ ".

Tabela 2.2 - Classificação de Andersson para os estudos realizados sobre reacções químicas, até 1983

Categoria	Autor e ano	Questão	Amostra e metodologia	Ideias dos alunos
É assim mesmo...	Andersson and Renström (1983a)	Oxidação de de um tubo de cobre	N = 2800, alunos suecos de 12-15 anos (7º, 8º, 9º anos); 130 turmas; questionário escrito com 6 questões; 40 min; 90% dos alunos tinham sido ensinados sobre oxidação	
Deslocamento	Andersson and Renström (1983a)	idem	idem	<ul style="list-style-type: none"> • Deslocamento de uma substância do interior para o exterior do tubo • Deslocamento de uma substância do ar para o exterior do tubo
	Schollum (1982)	Enferrujamento de um prego por imersão em água	Nova Zelândia; alunos 10-17 anos; N ≈ 40; entrevistas	<ul style="list-style-type: none"> • Deslocamento da ferrugem do interior para o exterior do prego • Deslocamento da ferrugem do ar para o prego
	Pfundt (1982)	Combustão do álcool	alunos alemães, 8 - 13 anos	
Deslocamento (microscópico)	Méheut et al. (1983)	Combustão do álcool e da madeira (evidenciando a formação de vapor de água)	N ≈ 400, alunos franceses, 11 - 12 anos; entrevistas e questionários	• Os produtos da combustão deveriam existir nos materiais de partida
	Méheut et al. (1983)	Combustão de uma vela (estearina indicação da fórmula)	idem	• Para se formar H ₂ O, estas partículas devem existir na estearina, o que não se verifica
Modificação (microscópico)	Méheut et al. (1983)	Combustão do álcool	idem	• A combustão modifica o álcool em vapor de álcool (mudança de estado)
	Pfundt (1982)	Combustão do álcool	idem	• idem
	Andersson and Renström (1983a)	Oxidação do tubo de cobre	idem	• O calor modifica a cor e a estrutura do cobre
	idem	Mudanças de estado	idem	• Desenhos evidenciando modificação das partículas durante a mudança de estado (tal como a água se modifica, as partículas também se modificam)
Transmutação (macroscópico)	Andersson and Renström (1981)	Oxidação da palha de aço	N = 593, alunos suecos (6º, 7º, 8º e 9º anos); entrevistas	• Transmutação de uma dada substância, noutra completamente diferente (palha de aço → carbono)
	Pfundt (1982)	Combustão do álcool	idem	
	Andersson and Renström (1983b)	Consumo de gasolina por um automóvel	idem 1983a	<ul style="list-style-type: none"> • Transmutação parcial de uma dada substância, em energia • Transmutação de uma substância em nada (desaparece)
	Méheut et al. (1983)	Combustão da vela ou do álcool	idem	• Calor é transmutado em vapor
	Schollum (1982)	Magnésio + ácido sulfúrico	idem	
Transmutação (microscópico)	Andersson and Renström (1981)	Oxidação da palha de aço	idem	<ul style="list-style-type: none"> • Um átomo é transmutado num novo átomo mais complexo (entrevista) • Um átomo desaparece (é transmutado em nada) (resposta escrita)
Interação química	Andersson and Renström (1981, 1983a, 1983b)	Tubo de cobre Palha de aço Consumo de gasolina	idem	

As palavras do aluno não são evidência quanto à compreensão sobre a formação do CuO_2 , pois esses alunos poderão pensar, por exemplo, que o CuO_2 se formou por simples agregação de Cu e O_2 , o que implica conservação de O_2 , sem ideias de "interacção", obviamente.

Pfundt (1982) resumiu as conclusões dos estudos sobre modificação das substâncias do seguinte modo:

- (1) há uma destruição irreversível das substâncias;
- (2) há uma modificação irreversível das propriedades das últimas substâncias;
- (3) há uma modificação reversível das propriedades das últimas substâncias;
- (4) há conservação das substâncias e portanto das suas propriedades, elas estão simplesmente misturadas ou separadas.

A conclusão (1) corresponde à categoria "Transmutação", (2) e (3) à categoria "Modificação" e (4) à categoria "Deslocamento".

Schollum (1982) considerou ter encontrado três concepções de reacção química:

- (1) A concepção do conglomerado: as substâncias que reagem entre si, ligam-se como dois ímanes (por exemplo, $\text{Mg} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MgH}_2\text{SO}_4$).
- (2) A concepção das "circunstâncias favoráveis": os produtos das reacções químicas existem desde sempre, embora ocultos, mas quando as condições são adequadas aparecem (por exemplo, o aparecimento da ferrugem).
- (3) Magia: tudo pode acontecer em química (por exemplo, Mg e H_2SO_4 podem originar CO_2).

As concepções (1) e (2) correspondem à categoria "Deslocamento", e a última à categoria "Transmutação".

Méheut et al. (1983) concluíram que para os alunos existiam dois tipos de transformações:

- (1) "transformações" incluindo noções de natureza permanente das substâncias,

com conservação de certas propriedades das substâncias (cor e cheiro, por exemplo). Por vezes pode haver reversibilidade da "transformação";

- (2) transformações sem indicação de conservação de quaisquer substâncias ou suas propriedades. Não existe nunca ideia de reversibilidade.

Na sua conclusão final, as autoras observam que "a modificação das propriedades de um objecto no decorrer de uma combustão não resulta de interações entre diversas substâncias compondo o objecto".

Fensham (1984) refere um estudo sobre a reacção entre o ácido clorídrico diluído e fita de magnésio com alunos do 9º ano (14 anos), 11º ano (16 anos) e 12º ano (17 anos). A cada aluno era pedido que observasse o que acontecia até reacção completa do magnésio (ácido em excesso). Entrevistas individuais sobre as observações e explicações dos alunos permitiram concluir que:

- (1) os mais velhos referiram menos os aspectos mais observáveis (aquecimento do tubo, desaparecimento do metal, bolhas de gás), utilizando mais terminologia dos professores (Mg dissolve-se, liberta-se H₂);
- (2) existiu maior variedade no tipo de respostas dadas pelos mais novos sobre "o que aconteceu ao metal". No entanto, o aprofundamento da resposta "dissolve-se" veio a revelar ideias não adequadas da parte dos alunos;
- (3) sobre a origem do gás, os alunos do 9º ano pensavam ser o metal, e os mais velhos o ácido.

Refere ainda Fensham (1984) que as respostas a questões do tipo "de onde vem a energia?" ou "o que aconteceu ao ácido?" foram não decifráveis pelo investigador quanto ao seu significado para o aluno.

Holding (1985) apresentou os resultados obtidos com cerca de 300 alunos ingleses de 15 anos, relativamente à tarefa em que uma substância de cor laranja (10 g), por aquecimento originava uma substância verde (7 g), com maior volume. Os alunos observavam um desenho e descrição da experiência, e era-lhes pedido que listassem três

observações que servissem, no seu entender, como evidência de que tinha ocorrido uma reacção química. As principais observações mencionadas foram as seguintes:

- diferença na cor de reagentes e produtos (80%);
- diminuição da massa (75%, embora poucos tenham frisado que a massa individual dos produtos era diferente da dos reagentes; foi também claro que muitos não contemplavam a conservação da massa);
- aumento da altura/profundidade/volume (50%; alguns disseram que a quantidade de substância tinha aumentado);
- diferença na densidade de reagentes e produtos (20%; apenas 3% usaram a palavra "densidade");
- fusão da substância inicial (10%);
- expansão da substância inicial por aquecimento (10%);
- diferença na forma cristalina (4%).

Dos resultados obtidos verifica-se que muitos dos alunos não reconheceram a reacção química pela formação de uma substância com propriedades diferentes da substância inicial, e muitos dos que o fizeram foram incapazes de apresentar razões plausíveis para distinguir as "novas" substâncias.

Para explorar as ideias dos alunos quanto à invariância da relação de massas dos reagentes na formação do produto, Holding (1985) utilizou a reacção entre o zinco (2 g) e o enxofre (1 g). Nestas condições forma-se sulfureto de zinco e, praticamente, não existe nenhum zinco ou enxofre por reagir. Esta informação era dada aos alunos e a questão colocada pretendia saber o que aconteceria se para 2 g de zinco se usassem 2 g de enxofre (escolha entre quatro alternativas e pedido de justificação). Das respostas obtidas verificou-se:

- 44% dos alunos seleccionaram a alternativa certa. No entanto, apenas dois terços apresentaram uma razão aceitável e um em vinte fizeram uma referência explícita à relação fixa entre a massa dos reagentes;
- as duas alternativas que continham a ideia "se há mais reagente forma-se mais

produto", somadas, apresentaram a mesma percentagem de escolha da resposta adequada.

Num estudo realizado em Portugal (Cachapuz e Ribeiro 1986) relativo a 10 conceitos relevantes em Química, utilizando a técnica de definições livres, e envolvendo, 55 alunos do 6º ano, 42 alunos do 8º ano e 42 alunos do 10º ano de Química, a respeito do conceito Reacção química, 56% dos alunos do 10º ano apresentaram uma visão macroscópica (formação de novas substâncias) e nenhum aluno apresentou ideias do tipo microscópico (formação de novas ligações químicas, como seria previsível de acordo com os respectivos programas).

Lawrenz (1986) investigou qual a extensão de ideias alternativas sobre alguns tópicos de física e química incluídos em cursos gerais de Ciência, em 330 professores do ensino elementar, durante um curso de formação contínua, nos E.U.A. O teste escrito contemplava 31 itens de escolha múltipla. Sobre a situação "o ferro combina-se com oxigénio para formar ferrugem", 46% dos professores foram de opinião que o ferro enferrujado tinha massa inferior ao ferro inicial. Relativamente a um sistema em equilíbrio dinâmico a uma certa temperatura e pressão, cerca de um quarto dos professores pensaram que o número de moléculas representadas à esquerda e à direita, na equação química, seria igual.

Ben-Zvi, Eylon e Silberstein (1987) estudaram ideias de alunos israelitas com idades a partir de 15 anos. A amostra era constituída por 337 alunos e o tema em investigação dizia respeito aos aspectos estruturais das reacções químicas, envolvendo apenas substâncias moleculares.

As principais conclusões relativas à reacção de decomposição de Cl_2O gasoso (nas respectivas substâncias elementares) foram:

- 97% dos alunos representaram uma molécula de oxigénio como uma unidade compreendendo dois átomos ligados;

- cerca de 25% dos alunos apresentaram uma visão aditiva, e não interactiva de composto (por exemplo, Cl_2O significa $\text{Cl}_2 + \text{O}$);
- apenas 10% dos alunos representaram $\text{O}_2(\text{g})$ por diversas moléculas de oxigénio separadas. No entanto, quando foi pedida a descrição de uma substância elementar no estado gasoso 68% já o fizeram de modo adequado. Segundo os autores a ilacção a tirar deste resultado é que a linguagem química não é espontaneamente acessível aos alunos.

Quanto aos aspectos interactivos duma reacção química, os alunos evidenciaram dificuldades em parte decorrentes das visões inadequadas sobre os aspectos estruturais das substâncias envolvidas, mencionados acima.

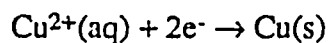
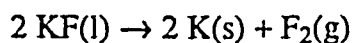
A questão utilizada para recolha de respostas era a reacção entre N_2 e O_2 , relativamente à qual era pedido que indicassem justificadamente quais os produtos de reacção possíveis de entre N_2O , NO , NO_2 , N_2O_5 e mistura de N_2 e O_2 :

- alguns alunos responderam que as espécies N_2O_5 e NO não podiam existir por junção de N_2 e O_2 ;
- 40% dos alunos não distinguiram entre N_2O_2 e $\text{N}_2 + \text{O}_2$.

Os resultados estão de acordo com outros referidos por Yarroch (1985).

Numa segunda parte do estudo os mesmos autores procuraram conhecer as concepções de alunos israelitas ($N = 994$) do 10º ano de escolaridade sobre reacções químicas, no caso, reacções de electrólise. O estudo visava recolher informação sobre o impacto de dois manuais escolares de química (um tradicional e outro elaborado com vista a superar dificuldades dos alunos quanto à visão dinâmica de reacção química). A amostra era constituída por dois grupos com dimensão aproximada: grupo experimental ($N = 454$) usando o novo manual escolar e grupo de controlo ($N = 540$) usando o manual escolar tradicional.

Era pedido aos alunos que representassem, por meio de desenhos, o significado das equações químicas:



As respostas obtidas foram categorizadas em quatro tipos distintos:

- (1) ausência de informação;
- (2) compreensão da equação em termos macroscópicos (sem uso de modelos);
- (3) representação microscópica estática (nada era indicado sobre o que acontecia durante o processo, incluindo por vezes ideias não adequadas sobre a estrutura das substâncias envolvidas);
- (4) representação microscópica dinâmica (incluía a indicação do movimento dos iões em direcção aos eléctrodos).

A classificação das respostas de todos os alunos foi feita de acordo com os quatro tipos referidos e foram considerados para efeito de comparação entre os dois grupos. apenas os alunos que responderam consistentemente às duas reacções em discussão (N = 169 no caso do grupo experimental, e N = 201 no caso do grupo de controlo).

Por análise comparativa entre os dois grupos os autores concluíram que:

- (1) 58% dos alunos no grupo experimental apresentaram uma representação estática de reacção química, sendo a situação no grupo de controlo semelhante (65,7%);
- (2) cerca de 25% do grupo de controlo foram classificados na resposta do tipo (1), o que aconteceu apenas para um aluno do grupo experimental;
- (3) mais de um terço dos alunos do grupo experimental evidenciaram ideias de modelo dinâmico, contra apenas 10% no grupo de controlo.

Numa outra experiência incluída no mesmo estudo, os autores utilizaram um questionário de escolha múltipla sobre diversos tópicos abordados ao longo dos programas, com 1100 alunos israelitas do 12º ano. Os resultados evidenciaram que os

alunos tinham dificuldades com alguns dos aspectos básicos relativos à compreensão de reacção química.

Smith (1987) refere um estudo realizado por Hesse (1987) envolvendo cerca de 100 alunos do ensino secundário sobre conservação da matéria em ecossistemas, combinando explicações por escrito, acerto de equações, uso de analogias e entrevistas posteriores.

Entre as conclusões de Hesse destacam-se:

- (1) Apenas uma minoria dos alunos explicou o fenómeno em termos de uma teoria química.
- (2) Poucos alunos usaram "conservação da massa" nas explicações. No entanto, alguns apresentaram raciocínios do tipo "conservação" quando interpretaram as modificações como transformações físicas do tipo congelação ou evaporação.
- (3) Existiu entre os alunos uma preponderância de pensamento analógico, mesmo no caso dos alunos com mais conhecimentos de química. Parece que os alunos pensam que as explicações dos químicos dizem essencialmente o mesmo usando apenas outras palavras. No entanto, os alunos não apresentaram preferência por nenhuma analogia particular. Na opinião do autor, sem uma teoria química a conservação da massa parece ser não plausível para muitos fenómenos, e sem ideias de conservação existe pouca viabilidade de os alunos considerarem a possibilidade da existência de reagentes e produtos não observáveis.

2.4.2 - O caso particular das reacções de combustão

Pode dizer-se que as reacções de combustão têm um lugar destacado entre as reacções químicas, quer em situações do quotidiano, quer ao nível dos currículos de

Ciência (a partir dos 10 anos) e de Química (a partir dos 13-14 anos), sendo a situação em Portugal semelhante à dos outros países. A saliência das reacções de combustão terá, possivelmente, contribuído para a utilização de exemplos deste tipo por vários investigadores preocupados com as ideias alternativas dos alunos, em diversos países. Dos estudos já efectuados, pode concluir-se que tais situações-problema foram extremamente úteis para recolher evidências de ideias dos alunos sobre esse tipo de transformações, e permitiram também prever modelos interpretativos sobre reacções químicas em geral, alternativos aos modelos científicos aceites.

Tabela 2.3 - Estudos de ideias alternativas dos alunos sobre reacções de combustão

Autor e ano	Situação-problema	Amostra
Schollum 1981	Combustão do gás butano, num queimador	N = 35 (do 1º ao 6º ano) N = 2 (prof. primários em formação) (Nova Zelândia)
Andersson and Renström 1981	Combustão da palha de aço	N = 593 (do 6º ao 9º ano) (Suécia)
Andersson and Renström 1983b	Combustão da gasolina no motor do automóvel	N = 2800 (do 7º ao 9º ano, 12-15 anos) (Suécia)
Driver, Child, Gott, Head, Johnson, Worsley and Wylie 1984	Combustão da palha de aço	N = 48 (11-12 anos) N = 765 (224 com Química e 541 sem Química) (15 anos) (Inglaterra)
Driver 1985	Combustão de aparas de madeira Combustão do fósforo (vaso fechado)	N = 48 (11-12 anos antes e após o ensino) N = 48 (12 anos) N = 776 (15 anos) (Inglaterra)
Méheut et al. 1985	Combustão de aparas de madeira Combustão do álcool Combustão de uma vela Combustão de um fósforo Combustão de um cartão	N = 400 (11-12 anos) (França)
Cauzinille-Marmèche et al. 1985	Combustão de uma vela	N = 31 (11-13 anos) (França)
Dornelly and Welford 1988	Combustão de uma vela Combustão da palha de aço Combustão do fósforo (vaso fechado)	N = 769 (15 anos) N = 599 (15 anos) N = 769 (15 anos) (Inglaterra)
Cachapuz and Martins 1988a e 1988b	Combustão do papel	N = 30 (15 a 17 anos) N = 448 (15 a 17 anos) (Portugal)

Os resultados obtidos permitiram estabelecer algumas conclusões as quais são independentes da nacionalidade, da idade, do nível de escolaridade, e nalguns casos da tarefa (tipo de combustão) utilizada.

São estas conclusões em termos de ideias alternativas que a seguir se apresentam.

(1) Ideias intuitivas, antes do ensino formal (também identificadas em alguns alunos após o ensino):

- durante a combustão o material torna-se incandescente e forma-se uma chama;
- é necessário oxigénio (ou ar), embora a sua função não seja sempre clara;
- por combustão os materiais perdem peso/massa;
- durante a combustão parte do material "escapa-se" na forma de fumo;
- as cinzas são os componentes incombustíveis do material inicial.

(2) O papel do oxigénio/ar na combustão.

Apesar de a maioria dos alunos reconhecerem que o oxigénio (ou o ar) é necessário para uma combustão ocorrer, poucos evidenciaram compreensão adequada do seu envolvimento no processo. Algumas das explicações alternativas adoptadas por vários alunos foram, para as diferentes tarefas, as apresentadas a seguir.

- Combustão da palha de aço: a maioria dos alunos previu uma diminuição da massa após a combustão baseados na ideia de que a combustão é um processo onde há diminuição de massa devido à saída de fumo ou de outros materiais combustíveis.
- Combustão do gás butano num queimador: a combustão ocorre devido à chama usada na iniciação (idem no caso da combustão do papel); o oxigénio é necessário para haver chama.

(3) Conservação de substâncias durante a combustão.

Mesmo quando os alunos utilizaram ideias microscópicas para interpretar a

observação, não admitiram que as partículas (átomos) são inalteráveis, mas antes lhes atribuíram as modificações operadas ao nível da substância. Assim, por exemplo, a nova substância é vista como a inicial, numa "nova" forma: "as partículas arderam e por isso ficaram pretas".

- Os produtos da combustão deveriam existir nos materiais de partida (na combustão da madeira, do álcool ou da vela não se pode formar água porque ela não existe no material inicial).
- Na combustão acontece uma mudança de estado (evaporação do álcool, fusão da cera ou da palha de aço).

Resumindo, são frequentes ideias alternativas nos alunos relativas a reacções de combustão. Tais ideias resultam de as modificações operadas não serem concebidas como o resultado da interacção entre diversas substâncias, mas de transformações separadas de cada um dos componentes, i.e., uma lógica de atributos e não uma lógica de relações. Por este motivo é difícil o aluno admitir, por exemplo, a formação de água durante a combustão da madeira pois ele não reconhece que a madeira possa conter água. Pela mesma razão, se o oxigénio não é referido como intervindo na combustão os produtos resultantes não o poderão conter. Alguns materiais ditos combustíveis têm a propriedade de arder (por exemplo, a madeira, o cartão, o papel ou o álcool) originando "outras" substâncias (cinzas, fumo, carbono, resíduos negros); outros como os metais e a cera/estearina fundem ou evaporam-se originando a mesma substância.

2.4.3 - Outros casos particulares

De entre os estudos realizados sobre reacções químicas alguns procuraram conhecer ideias dos alunos em aspectos particulares das reacções químicas, com destaque a nível dos programas do ensino secundário e universitário. Salienta-se o "equilíbrio químico" e "ácidos e bases".

2.4.3.1 - Equilíbrio químico

O tema "equilíbrio químico" tem sido considerado como um dos temas em que os alunos de Química apresentam grandes dificuldades e diversos estudos, visando identificar qual a natureza dessas dificuldades, foram já realizados. Destacam-se os de Johnstone et al. (1977), Pereira (1981), Cachapuz (1984), Hackling e Garnett (1985), Cachapuz e Maskill (1987), Gussarsky e Gorodetsky (1988) e Maskill e Cachapuz (1989).

Hackling e Garnett (1985) entrevistaram 30 alunos do 12º ano (17 anos aproximadamente) sobre equilíbrio químico e princípio de Le Chatelier. Dos resultados obtidos concluíram que:

- (1) muitos alunos não distinguem reacções completas de reacções reversíveis, podendo estar na origem dessa dificuldade dos alunos, certas práticas de cálculos estequiométricos baseados em equações relativas a reacções completas;
- (2) no equilíbrio, a concentração dos reagentes é igual à concentração dos produtos, ou, pelo menos, os componentes com o mesmo coeficiente estequiométrico têm a mesma concentração;
- (3) o sistema atinge o equilíbrio porque a velocidade da reacção directa vai aumentando e a velocidade da reacção inversa vai diminuindo.

Cachapuz e Maskill (1987) e Maskill e Cachapuz (1989) investigaram ideias de 30 alunos ingleses de 14-15 anos, sobre equilíbrio químico, utilizando uma combinação de testes de associação de palavras e entrevistas.

Os autores concluíram que a ideia mais saliente nos alunos investigados era que a extensão da reacção dependia da velocidade da reacção, i.e., a reacção seria tanto mais extensa quanto mais rápida fosse. Tal ideia alternativa foi detectada usando novos formatos de testes associativos desenvolvidos pelos autores, os quais permitem a fácil identificação pelos professores numa situação de sala de aula, dessa ideia, caso exista.

Verificaram ainda que o efeito do aumento da pressão foi interpretado como o efeito da concentração a nível molecular, afectando apenas os reagentes. Haveria assim um aumento no número de colisões responsável pelo aumento da velocidade da reacção no sentido directo.

Na opinião dos autores tais dificuldades adviriam da natureza abstracta do conceito de equilíbrio químico sobre o qual os alunos estabeleceriam raciocínios analógicos baseados em situações do dia-a-dia.

Gussarsky e Gorodetsky (1988) estudaram concepções de alunos do 11^º ano (N= 87) e do 12^º ano (N= 73) em 18 conceitos relacionados com o tema equilíbrio químico (por exemplo, energia de activação, reversibilidade, temperatura, estático, constante de equilíbrio, etc.). Utilizaram a técnica de associação condicionada de palavras.

No estudo foi utilizado um grupo de controlo de 147 alunos, com conhecimentos de química a um nível menos avançado.

Os autores concluíram que:

- (1) existiu associação de conceitos com base linguística: semelhança (por exemplo, constante de produto de solubilidade, concentração e solubilidade) ou oposição (por exemplo, dinâmico e estático);
- (2) a associação verificada entre temperatura e energia de activação poderia indicar confusão entre temperatura e energia;
- (3) a instrução teve um efeito positivo na compreensão dos alunos sobre o tema.

Num estudo envolvendo 113 alunos universitários portugueses (Pedrosa 1988), a autora concluiu que esses alunos evidenciavam ideias alternativas sobre equilíbrio químico do tipo das identificadas em alunos do ensino secundário (Pereira 1981), o que revela tratar-se de um tema difícil.

2.4.3.2 - Ácidos e bases

Cros, Maurin, Amouroux, Chastrette e Leber (1986) usaram um questionário com alunos do 1º ano de duas universidades francesas antes do início das aulas, no começo do ano acadêmico, com vista a caracterizar ideias dos alunos sobre átomos, ácidos e bases. Verificaram que apesar de os constituintes de átomos, moléculas, ácidos e bases serem bem conhecidos e compreendidos, as interações entre tais constituintes foram desconhecidas ou fracamente percebidas. Mais, os alunos revelaram bom conhecimento de aspectos formais, descritivos, mas uma concepção muito inadequada de fenômenos concretos (por exemplo, a libertação de calor durante uma reação ácido-base e o pH baixo, aproximadamente 2,5, de bebidas comercializadas de uso corrente como Coca-Cola e sumo de limão).

Na continuação do estudo anterior, Cros, Chastrette e Fayol (1988) procuraram conhecer como evoluíram (e em que extensão) as ideias dos alunos sobre os temas referidos após um ano de ensino universitário. Foram administrados dois questionários (sobre estrutura atômica, N = 191 e sobre ácido-base, N = 145). Os resultados obtidos apontam para um aumento de respostas adequadas nuns casos e diminuição noutros.

- (1) Estrutura atômica: apenas um terço dos alunos responderam de modo correcto às questões. Foram frequentes ideias do modelo atômico de Bohr apesar da insistência a nível do ensino, sobre o modelo quântico; o papel do núcleo do átomo também não foi bem compreendido.
- (2) Radioactividade: os alunos continuaram a não associar aos fenômenos de radioactividade a produção de energia.
- (3) Moléculas e cristais: melhorou entre os alunos a ideia de ligação química covalente e iónica.
- (4) Ácidos e bases: as definições apresentadas evoluíram no sentido mais formal, embora as definições de Arrhenius continuassem muito populares. Apesar de os alunos serem capazes de dizer o nome de três ácidos, no que

respeita a bases, quase metade dos alunos continuaram a indicar apenas dois nomes. Razões possíveis para este desequilíbrio poderão ser de natureza linguística (em francês, tal como em português, a designação do ácido começa pela palavra "ácido", não acontecendo o mesmo com a base), ou os professores prestarão mais atenção aos ácidos do que às bases.

Apenas 12% dos alunos admitiram existir libertação de energia em reacções ácido-base, e no caso da reacção entre um ácido fraco e uma base forte isso foi ainda menos compreendido do que no caso de ácido forte. Isto traduz a ideia de que um ácido fraco não pode apresentar o mesmo comportamento do ácido forte no que respeita à energia envolvida.

Apenas 50% dos alunos responderam que seriam capazes de beber na solução com pH 6.

É opinião dos autores deste estudo que muito há a fazer na modificação do ensino da química a nível universitário e secundário, no sentido de os alunos serem capazes de aplicar conceitos "ensinados" a situações de sala de aula, e no dia-a-dia.

Cervellati, Concialini, Innorta e Perugini (1984) utilizaram um teste de 24 questões, de escolha múltipla, com 116 alunos do 1.º ano da universidade de Bolonha (amostra considerada representativa dos alunos, 658, que nesse ano iniciaram o curso de Química). No teste eram incluídas quatro questões sobre ácidos e bases, e os autores verificaram que cerca de metade dos alunos que tinham estudado o tema recordava apenas o título.

2.4.4 - O caso particular da Termodinâmica química

A Termodinâmica é um ramo da Ciência com características interdisciplinares, e representa um instrumento de importância fundamental na interpretação e previsão de diversos fenómenos considerados do domínio da Física, da Química, da Bioquímica e da

Engenharia. A evolução operada a nível dos conceitos que integram esta área do conhecimento, com uma componente inicial predominantemente macroscópica (início do século XVII), foi enorme (por exemplo, para aspectos históricos, ver Palavra e Castro 1988).

A Termodinâmica foi pela primeira vez aplicada em problemas químicos em 1869, mas foi Gibbs quem, em 1878, deu o passo decisivo para a sua implementação como um modo de pensar extremamente profícuo sobre muitos problemas químicos.

A Termodinâmica tem sido reconhecida por muitos professores e investigadores como uma área científica de grande dificuldade para os alunos (Wright 1974 e 1986; Johnstone et al. 1977; Fuchs 1987), e tem sido questionado por outros "o que ensinar" ou "qual o problema de ensinar termodinâmica" no final do ensino secundário e início do ensino superior (ver, por exemplo, os argumentos apresentados por Campbell 1979 e Battino 1979). Mais ainda, a Termodinâmica apresenta-se como um domínio no qual a organização e estruturação dos conceitos inerentes e respectiva simbologia tem levantado algumas divergências entre autores de manuais escolares (Barrow 1988). Não será pois de estranhar que os alunos apresentem dificuldades de compreensão nesta matéria.

A resolução do problema das dificuldades de compreensão dos alunos (fim do secundário e início do superior) seria resolvido por uns com a abolição do tratamento da Termodinâmica a esses níveis, dado que "os princípios básicos estão para além das capacidades dos alunos dessa idade" (Wright 1974 e 1986).

Muito poucos estudos empíricos sobre dificuldades dos alunos relativas a conceitos na área da Termodinâmica química, são conhecidos. Um dos primeiros a ser publicado envolveu 98 alunos de 16-18 anos, na Escócia (Johnstone, MacDonald and Webb 1977) e através dele foram identificadas oito ideias alternativas.

- (1) A maioria dos alunos não identificaram que a energia cinética média das moléculas de um líquido é a mesma que a das moléculas no estado gasoso à temperatura de ebulição.

Os alunos são ensinados que as partículas de um sólido se movem com dificuldade, enquanto as de um líquido se movem mais vigorosamente e as de um gás ainda mais violentamente, daí, possivelmente, a origem da confusão identificada.

(2) Cerca de um sexto dos alunos insistiu na ideia de que as reacções endotérmicas não podem ser espontâneas. Isto resulta possivelmente da regra aparentemente universal que as situações tendem espontaneamente para uma posição de menor energia.

(3) Pareceu existir alguma tendência para os alunos relacionarem o valor da variação de energia livre com a rapidez da reacção: um quarto dos alunos admitiu que uma reacção onde a variação de energia livre é elevada, é rápida.

Existe possivelmente a ideia de que a rapidez da reacção tende para zero quando o sistema se aproxima do equilíbrio porque o valor de ΔG tende para zero. (Isto não foi testado).

Os alunos fazem provavelmente analogias com o mundo macrofísico onde as coisas pesadas caem, os mais rápidos vão à frente ou ainda quanto maior a energia, maior é a velocidade.

Tal como em (2) o "sentido comum" da Física parece estar em conflito com a Termodinâmica química.

(4) Mais de metade dos alunos tiveram dificuldade em verificar que a quantidade de energia libertada durante uma reacção varia com a quantidade de trabalho realizada pelo sistema e que se liberta a energia máxima (é absorvida a mínima) quando o sistema não realiza trabalho.

(5) Dois terços dos alunos compreenderam os significados descritivo (rapidez) e prescritivo (termodinâmica) de reversibilidade.

A definição descritiva de rapidez (uma reacção pode ocorrer "para diante ou

para trás") mostrou ser bem aceite ao nível mais baixo, embora a ocorrência simultânea das duas reacções com igual rapidez (conceito dinâmico em conflito com o conceito estático mecânico) não fosse bem compreendida pelos alunos mais adiantados.

Os alunos tenderam a pensar que "lentidão" é o critério de reversibilidade e afirmaram que uma mistura de H_2 e O_2 , por exemplo, reagia reversivelmente à temperatura ambiente porque a reacção ocorria lentamente.

Cerca de metade dos alunos não pareceram perceber que uma reacção pode ser contida por uma barreira cinética e que isto não tem nada a ver com reversibilidade.

(6) Cerca de um quarto dos alunos não tinha ideia clara de distinção entre sistema e exterior.

(7) A entropia foi geralmente interpretada como "a medida da desordem". Isto pode ou não ser conceptualmente correcto, tudo depende de como a desordem é interpretada. Pareceu haver alguma tendência em confundir entropia com energia cinética. Assim, aumentar a entropia pareceu ser equivalente a aumentar a temperatura, ideia talvez resultante de confusão da noção de "desordem" e também de confusão entre energia e temperatura.

(8) Cerca de três quartos dos alunos consideraram que quando a constante de equilíbrio era igual à unidade a mistura em equilíbrio continha 50% de reagentes e 50% de produtos.

Algumas das confusões identificadas nos alunos poderão ter a sua origem na tentativa por eles desenvolvida de estabelecer ligações entre a nova informação e o seu conhecimento comum, mas tais ligações processarem-se de modo inadequado. Por exemplo, a ideia de que uma reacção tem de ser exotérmica para poder ser espontânea foi defendida por Berthelot em 1878.

Os autores salientam ainda que o tratamento demasiado matemático posto no

tema, sobretudo a nível universitário, poderá "mascarar" a ideia do professor sobre a compreensão dos alunos, por confusão entre competência matemática e compreensão dos conceitos subjacentes.

Granville (1985) refere diversas ideias associadas com palavras chave comumente usadas em problemas numéricos de termodinâmica. O estudo foi realizado com alunos após um curso de um semestre em termodinâmica. Uma série de afirmações apresentadas na forma de questões verdadeira/falsa foram, em geral, consideradas verdadeiras apesar de cada uma necessitar de pelo menos uma ou mais condições a serem satisfeitas para que fosse totalmente verdadeira.

- CAPÍTULO 3 -

METODOLOGIA DA INVESTIGAÇÃO

3.1 - INTRODUÇÃO

Este capítulo tem por finalidade descrever a metodologia utilizada no estudo e fundamentar as opções tomadas, tendo por base os objectivos da investigação apresentados no capítulo 1.

Os principais aspectos em referência são a fundamentação da escolha da técnica de investigação, o modo como foi seleccionada a amostra envolvida, o processo de selecção das tarefas utilizadas e sua administração. Sempre que considerado como relevante, procurou-se ilustrar os aspectos referidos, sobretudo na administração das tarefas, com dados colhidos durante a sua realização.

3.2 - ESCOLHA DA TÉCNICA DE INVESTIGAÇÃO

3.2.1 - Avaliação das técnicas disponíveis

Diversas são as técnicas utilizadas para inferir as ideias dos alunos num determinado domínio de conteúdo, cada uma delas comportando vantagens próprias, condicionadas por limitações inerentes, mais ou menos dependentes das capacidades e do treino do investigador, consumindo tempos variados, utilizáveis ou não pelos professores na sala de aula, abrangendo amostras de dimensões muito diferentes, envolvendo métodos de análise distintos e alguns deles altamente problemáticos no que respeita à validade e fidelidade dos resultados. Nenhuma delas é uma técnica absoluta e, por isso, muitas vezes são usadas em conjunção.

Nesta subsecção faz-se a apresentação de técnicas disponíveis para averiguação das ideias dos alunos, e referem-se as principais vantagens e limitações próprias de cada uma. As técnicas de investigação a referir são: Testes de associação de palavras, Definições livres, Técnicas de conhecimento declarativo e Entrevista clínica. Para além destes existem ainda a selecção de definições e os testes objectivos, estruturados, os quais, por serem de resposta fechada, não são considerados no paradigma de investigação adoptado no presente estudo.

3.2.1.1 - Testes de associação de palavras

Um teste de associação de palavras (T.A.P.) consiste em apresentar ao aluno palavras (estímulos), uma por uma, e pedir-lhe que escreva outras palavras (respostas) que no seu entender reflectam ideias que, naquele momento, estejam relacionadas com a palavra apresentada, durante um intervalo de tempo limitado (meio ou um minuto, por exemplo). O domínio de escolha das palavras-respostas ao estímulo pode ser ou não condicionado (Preece 1976).

De acordo com Sutton (1980) a aprendizagem pode ser vista como o desenvolvimento e a modificação dos conceitos privados do indivíduo. Assim, o significado das palavras e portanto o seu uso, vai mudando à medida que novas e relevantes experiências são integradas, reflectindo a mudança conceptual.

A hipótese de trabalho de um T.A.P. é de que pelo menos uma parte substancial dos significados atribuídos pelo aluno à palavra-estímulo se encontra reflectida na(s) resposta(s) dada(s). Um pressuposto subjacente à utilização desta técnica é o de que se determinada palavra-estímulo faz com que o aluno ou um grupo de alunos responda com a mesma palavra ou com o mesmo grupo de palavras, isto será evidência de que existe uma estrutura associativa entre as duas a qual pode dar indicações sobre o conhecimento do aluno relativo ao conceito representado pela palavra-estímulo.

A associação entre a palavra-estímulo e as palavras-respostas é então analisada qualitativamente ou com vista ao traçado de mapas cognitivos.

Relato completo desta técnica muito usada em estudos de psicologia e linguística é feito por Esper (1973). A relação entre o estímulo e a resposta, de grande utilização em psicanálise tem sido muito usada em investigação em educação em ciência, entre outros, por Isa e Maskill (1982), Johnstone e Moynihan (1985), Cachapuz e Maskill (1987).

Entre as principais vantagens atribuídas a esta técnica destacam-se o pouco tempo consumido na recolha dos dados, são fáceis de elaborar e simples de administrar, poder ser utilizada por professores na sala de aula, ser susceptível de tratamento quantitativo.

Apesar destas vantagens as limitações apontadas são várias. Por exemplo, Sutton (1980) alerta que estes testes apenas estabelecem a existência de relações entre os conceitos (palavras) ligadas e nada estabelecem quanto à natureza dessa relação. As relações estabelecidas podem ser fortemente influenciadas pelo contexto, eventualmente ambíguo, associado à utilização da palavra-estímulo. Também a escrita de frases ligando a palavra-estímulo e a palavra-resposta tem sido uma técnica adicional introduzida, com vista a esclarecer o significado das associações estabelecidas (Gunstone 1980; Maskill and Cachapuz 1989). Esta variante pode ser considerada como uma ponte entre os T.A.P. e a técnica de definições livres.

3.2.1.2 - Definições livres

A técnica das definições livres (T.D.L.) consiste em pedir ao aluno que elabore, por escrito, definições sobre conceitos-palavras que lhe são apresentados, um por um. As descrições compostas nas próprias palavras do aluno, não ultrapassando algumas linhas, são depois analisadas procurando inferir as ideias subjacentes do aluno.

Como hipótese de trabalho esta técnica pressupõe, tal como a anterior, que as descrições elaboradas pelo aluno reflectem de modo substancial o conhecimento mais relevante que ele possui, naquele momento, sobre o conceito apresentado através da sua designação.

Alguns autores têm utilizado esta técnica, por exemplo temas de Química (Cachapuz e Ribeiro 1986; Ross and Sutton 1982) e em temas de Biologia (Schaefer 1979).

As vantagens desta técnica são a facilidade da sua administração, poder ser usada pelos professores e não necessitar de métodos complicados de tratamento de dados.

A principal limitação diz respeito ao carácter problemático da interpretação das descrições obtidas devido à dificuldade dos próprios alunos em exprimirem as suas ideias e em o fazerem por escrito.

3.2.1.3 - Técnicas de conhecimento declarativo

Trata-se de um conjunto de técnicas descritas por Stewart (1980) tendo como pressuposto que as proposições elaboradas pelos alunos reflectem as suas ideias. As técnicas mais usadas, englobadas nesta designação, são três caracterizadas conforme se indica a seguir.

(1) Fornece-se aos alunos um conjunto de etiquetas (cada uma com o nome de um conceito) e pede-se-lhes que as ordenem sobre uma folha de papel, traçando linhas de ligação entre os conceitos relacionados, e descrevendo a relação que cada linha representa.

(2) Pede-se aos alunos definições de alguns conceitos. Apresenta-se um par desses conceitos e pede-se aos alunos que descrevam, numa frase, a relação que julgam existir entre tais conceitos.

(3) Apresenta-se uma lista de palavras (conceitos) aos alunos e pede-se-lhes que escrevam frases utilizando duas ou mais das palavras apresentadas (van Kirk 1979).

Estas técnicas apresentam como limitações o número reduzido de conceitos a usar na investigação e, sobretudo, o facto de ser altamente dependente da capacidade dos alunos se exprimirem por escrito.

3.2.1.4 - Entrevista clínica

A entrevista clínica, técnica usada em psiquiatria como meio de diagnóstico foi introduzida por Piaget, em 1929, para investigar o modo como crianças explicavam certos fenómenos naturais. Em 1958 foi usada por Inhelder e Piaget para investigar os processos de raciocínio utilizados por jovens quando expostos a diversas situações, e a partir dos anos 70 foi adaptada por diversos autores para inferir também ideias dos alunos sobre alguns conceitos científicos. Estudos realizados utilizando a técnica da entrevista clínica têm permitido concluir, por exemplo, que os alunos podem usar termos sem que os conceitos científicos a eles subjacentes existam (Cosgrove and Osborne 1981) e acertar equações químicas por manipulação matemática sem evidenciarem compreensão sobre o significado da simbologia a elas associada (Yarroch 1985). Poder-se-á dizer que através da entrevista clínica se procura compreender o que o aluno compreende e não apenas o que ele é capaz de fazer.

Nesta metodologia de trabalho encoraja-se o aluno a falar abertamente, respondendo às questões que lhe são colocadas oralmente, e/ou através de tarefas experimentais, e ao mesmo tempo torna-se possível ao entrevistador confirmar o raciocínio utilizado pelo aluno. Descrição detalhada desta técnica é apresentada por Pines et al. (1978). A entrevista clínica é distinta da técnica do "pensar em voz alta" ("thinking aloud") muito usada em estudos que visam conhecer processos que os alunos utilizam na resolução de problemas (por exemplo, em Química, Pestana 1986).

O formato adoptado para a entrevista é condicionante do conjunto de comportamentos obtidos. Fundamentalmente distinguem-se dois tipos de formatos segundo o grau de estruturação: não estruturado e estruturado. No primeiro tipo, uma vez proposto o tema, o aluno determinará o seguimento da entrevista pois o entrevistador deverá perseguir as ideias subjacentes àquilo que o entrevistado disser. Não existe, por isso, à partida certeza de se poderem recolher dados respeitantes a um determinado conteúdo.

No segundo tipo, a entrevista é rígida, uma espécie de questionário oral, com as questões apresentadas sempre pela mesma ordem. Entre estes dois formatos há, evidentemente, uma variedade de situações intermédias. Num formato semi-estruturado perseguem-se as ideias do aluno em áreas temáticas previamente estabelecidas, mas com flexibilidade bastante para esclarecer ideias não esperadas e fazer-se a confirmação das ideias do aluno.

Indicam-se a seguir os pressupostos, as vantagens e as limitações desta técnica. Importa no entanto salientar que o êxito de uma investigação utilizando a entrevista clínica (num formato não rígido) está altamente dependente da capacidade do entrevistador para colocar a questão "certa" no momento "certo", ou seja, ser capaz de após cada resposta do aluno inferir qual deverá ser a ideia subjacente mais provável e tomar decisão sobre a questão seguinte a dirigir.

A sequência das respostas apresentadas pelo entrevistado constitui o conjunto dos comportamentos, os dados, a partir dos quais o investigador infere, utilizando o modelo de análise do conteúdo das respostas considerado apropriado, as ideias do indivíduo.

A utilização da técnica da entrevista clínica como método de recolha de dados na presente investigação baseia-se em três pressupostos:

(1) as respostas dadas pelo aluno reflectem legitimamente as suas ideias, ou seja, o aluno é sincero, imparcial e procura fazer o seu melhor;

(2) durante a entrevista o aluno elabora interpretações para as situações que lhe são apresentadas, em termos do conhecimento conceptual que ele considera relevante (Bobrow and Norman 1975; Norman and Rumelhart 1974; Rumelhart 1980, citados por Finley 1984);

(3) a validade das respostas é referente ao momento em que foram obtidas, pelo que não se pressupõe que o aluno em outro momento, perante a mesma questão,

respondesse exactamente da mesma maneira, ou seja, usando as mesmas palavras (Pines et al. 1978).

Indicam-se a seguir as principais vantagens da técnica da entrevista clínica.

(1) Proporciona ao aluno oportunidade máxima de expor o seu raciocínio comparativamente com qualquer outra técnica (Rowell 1978 citado por Posner and Gertzog 1982).

(2) Permite adaptar o modo de recolha da informação às características do aluno, por exemplo, no número e tipo de perguntas e no tempo de espera pelas respostas.

(3) Permite que o aluno utilize vários meios para apresentar o seu raciocínio (por exemplo, representações diagramáticas).

(4) Nenhuma outra técnica permite obter tanta informação e tão profunda sobre o significado das palavras para o aluno.

(5) O aluno está concentrado apenas naquilo que quer expor, não precisando de executar qualquer outra tarefa (por exemplo, escrever).

São ainda vantagens da técnica, resultantes do uso de gravação, ser possível:

(6) O entrevistador estar completamente disponível para ouvir aquilo que o aluno diz sem necessidade de tomar notas por escrito (o que aliás pode ser uma tarefa muito difícil no caso do aluno falar depressa).

(7) Garantir com rigor tudo quanto o aluno disse, condição indispensável para efeitos de validade de análise.

Apesar das vantagens apontadas, diversas são as limitações inerentes à utilização da entrevista clínica, listadas a seguir.

(1) Trata-se de um método extremamente moroso no que respeita à realização das entrevistas individuais (recolha de dados aluno por aluno), transcrição dos protocolos à forma escrita e respectiva análise.

(2) Uso de amostras pequenas impostas pelo tempo envolvido. A dimensão da amostra depende do tipo e do número de tarefas a propor ao aluno.

Esta limitação alerta para a precaução que é necessário ter quanto à selecção dos alunos e não generalização dos resultados obtidos. Para tentar resolver, ainda que por aproximação, o problema da dimensão reduzida da amostra, alguns estudos envolvendo esta técnica contemplam, numa segunda fase, a administração de outro instrumento (por exemplo, um questionário escrito) a uma amostra de maiores dimensões. A articulação entre as duas fases é feita através da elaboração do segundo instrumento o qual deve ter por base as ideias identificadas via entrevista clínica (por exemplo, Finley 1986).

(3) Não existe acordo entre os investigadores sobre o modo de analisar os protocolos; são utilizados diversos modelos de análise.

(4) A entrevista pode criar uma situação de aprendizagem para ao aluno, à medida que progride.

(5) É uma técnica difícil a qual exige ao entrevistador ter a atenção completamente centrada no aluno de modo a "ser um bom ouvinte e ter a capacidade de raciocinar como o aluno raciocina" (Dexter 1970, citado por Posner and Gertzog 1982), e ainda preparação e capacidades especiais para

- identificar contradições no aluno as quais deverão ser objecto de novas questões,

- certificar-se do significado dos termos para o aluno, no contexto em que os está a usar,

- aperceber-se de qualquer ideia não esperada (por exemplo, uma ideia idiossincrásica) e ser capaz de, no momento, elaborar questões com vista a esclarecer essa ideia,

- decidir colocar ou não mais questões,
- ser capaz de manter o aluno participativo durante toda a entrevista, mostrando sempre elevado interesse pelas suas respostas.

(6) Não é possível estabelecer qual o número de treinos necessários até se conseguir uma boa técnica de entrevistador. Piaget estimou que seria necessário um a dois anos de treino. Pines et al. (1978) verificaram que é possível conseguir entrevistas fiáveis com prática de 10 sessões. Os factores que influenciam esta variedade de situações são diversificados e incluem, entre outros, os traços de personalidade do entrevistador e a flexibilidade da própria entrevista. Conseguir a maneira certa de pôr as questões e a linguagem apropriada para o fazer só pode ser adquirido reflectindo sobre a sua própria experiência. Além disso, ser-se um bom entrevistador numa dada área de conteúdo, não é garantia de o ser em qualquer outra área. Os dois aspectos, conhecimento profundo na área científica e experiência de entrevistador, são, provavelmente, os dois factores que condicionam o êxito de qualquer entrevista (Pines et al. 1978).

(7) Existe o perigo de se tornar cada vez mais difícil para o entrevistador isolar aquilo que o aluno diz, relativamente ao que os outros já disseram, à medida que aumenta o número de entrevistas efectuadas.

(8) Existe a possibilidade de qualquer aluno comentar com os colegas que aguardam ser entrevistados, o conteúdo da conversa.

(9) Não existem duas entrevistas iguais num formato não rígido, o que contribui também para tornar a análise do conteúdo mais difícil.

3.2.1.5 - Escolha da técnica

Com o presente estudo pretende-se identificar as ideias dos alunos na área de conteúdo seleccionada, pelo que a técnica da entrevista clínica foi considerada a mais adequada para a abordagem das ideias dos alunos num domínio de conteúdo ainda

pouco explorado, como os aspectos energéticos das reacções químicas. A escolha desta técnica baseou-se nos seguintes critérios:

(1) destacar o aluno como sujeito da investigação (atendimento individual, interesse pelas suas ideias);

(2) obter mais informação em extensão, i.e., sobre o maior número de assuntos relacionados com o tema, por aluno;

(3) conseguir informação em maior profundidade, por aluno;

(4) ser adaptável às características de cada aluno (por exemplo, permitir certificar-se sobre o entendimento que o aluno tem daquilo que lhe é pedido);

(5) ser a mais adequada para a colocação de questões relativas a situações experimentais.

Além disso, o número já avultado de trabalhos publicados utilizando esta técnica (ver alguns exemplos na tabela 3.1), pela pertinência educacional das conclusões elaboradas, são por si também uma razão justificativa .

Apesar da relevância dos resultados já conseguidos, Solomon (1983) considera que a melhor maneira para investigar as diversas ideias que os alunos possuem é observar o que se passa em discussões na sala de aula.

Neste estudo procuraram-se minimizar as limitações apontadas conforme se descreve na subsecção 3.8.1 "Administração do instrumento de investigação".

Adoptou-se o formato semi-estruturado para a entrevista clínica por ser aquele que permite:

- confirmar explicações (Rowell 1978, citado por Posner and Gertzog 1982),
- esclarecer o significado dos termos para o aluno,
- perseguir ideias não esperadas,
- manter o aluno participativo, revelando interesse na resposta que acabou de dar, através da colocação da pergunta relacionada.

Tabela 3.1 - Exemplos de estudos utilizando a técnica da entrevista

Tema	Autor(es) e ano
Química	Andersson and Reeström (1981) Schollum (1982) Cachapuz (1984) Fensham (1984) Schollum and Osborne (1985) Méheut et al. (1985) Cauzinille-Marmèche et al. (1985) Driver (1985) Yaroch (1985) Cachapuz and Maskill (1988)
Calor e temperatura	Erickson (1979) Tiberghien (1979; 1980; 1984a) Finley (1985) Engel Clough and Driver (1985) Veiga (1988)
Constituição da matéria, mudanças de estado, dissolução	Novick and Nussbaum (1978) Cosgrove and Osborne (1981) Brook, Briggs and Driver (1984) Séré (1986) Renström (1987) Stavy (1987; 1988) Veiga (1988)
Energia Pressão Circuitos eléctricos Mecânica Densidade Fotossíntese Ciências da Terra e do Universo	Stead (1980) Watts (1983) Engel and Driver (1981) Séré (1982) Osborne (1981) Gilbert, Watts and Osborne (1982) Clement (1982) Hewson (1986) Stavy (1987) Klein (1982) Nussbaum and Sharoni-Dagan (1983) Jones, Lynch and Reesink (1987)

3.3 - SELECÇÃO DOS ALUNOS

O estudo efectuado incidiu sobre alunos do 9º e 11º anos de escolaridade, da Escola Secundária nº 1 de Aveiro, em três etapas conforme se indica na tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Articulação temporal das etapas do estudo envolvendo entrevistas clínicas

Fase de estudo	Data	Ano(s) de escolaridade
Estudo pré-piloto	Junho e Julho de 1983	11º
Estudo piloto	Abril de 1984	9º e 11º
Estudo principal	Junho e Julho de 1984	9º e 11º

Nas subsecções a seguir indicam-se os critérios usados na selecção dos alunos, o processo de recrutamento e caracterizam-se as amostras envolvidas nas diferentes fases.

3.3.1 - Critérios usados na selecção dos alunos

No que respeita aos critérios utilizados na selecção dos alunos há que referir os que foram: (1) de índole geral, e, por conseguinte, se aplicaram a todos os alunos envolvidos em qualquer das etapas do estudo; (2) específicos de cada fase do trabalho; (3) utilizados na selecção dos protocolos para análise de conteúdo.

(1) Como critérios de índole geral destacam-se:

(i) alunos voluntários, (ii) alunos com aproveitamento escolar variável (bom, médio e reduzido) na disciplina de Física e Química, (iii) alunos com idade na faixa

etária dos correspondentes anos escolares, não se excluindo alunos repetentes, mais velhos por consequência.

(2) Os critérios específicos foram estabelecidos de acordo com os objectivos relativos a cada fase do trabalho e explicitados, respectivamente, nas secções 3.5 e 3.8.

Para o estudo piloto (secção 3.5) seleccionaram-se alunos de ambos os níveis de escolaridade e em número aproximado e pertencentes ao mesmo grupo dos que seriam envolvidos no estudo principal.

No caso do estudo principal (secção 3.8) incluíram-se alunos que satisfizeram as condições: número igual ou aproximado de cada um dos anos, 9^o e 11^o; no total em número que pudesse viabilizar o estudo, i.e., garantir a recolha de dados (entrevista clínica) numa amostra superior àquela que seria considerada necessária. Este aspecto é particularmente relevante por duas razões: primeiro, é contingente a participação de alunos em trabalhos desta natureza dado o elevado nível de envolvimento que é exigido ao aluno; segundo, a época que foi possível escolher (após o ensino do programa de Química) para realização do estudo (final do ano lectivo e início das férias de verão), tornou difícil a marcação de datas com os alunos, um por um, por estes não poderem prever qual a sua disponibilidade.

(3) Na selecção dos protocolos para análise do conteúdo das entrevistas clínicas realizadas, no total de N=21 para o 9^o ano e N=20 para o 11^o ano, optou-se por uma amostra final de 15 alunos do 9^o ano e 15 alunos do 11^o ano; escolha aleatória dentro de cada ano, e dentro de cada um dos três grupos formados de acordo com o critério (ii).

A opção por uma amostra de 30 alunos foi considerada adequada dada a natureza ideográfica do estudo, o número e o carácter experimental das tarefas a realizar pelos alunos, a extensão do tratamento de cada uma delas e o limite de tempo aceitável para a conclusão do trabalho de investigação. O problema da dimensão da amostra deve ser tomado em conta: 15 a 20 casos é o número proposto por Sowden e Keeves (1988, p. 516) para estudos qualitativos.

3.3.2 - Recrutamento dos alunos

Por razões de acessibilidade na administração das entrevistas, escolheram-se alunos de uma escola secundária de Aveiro e procurou-se um(a) professor(a) de Física e Química disponível para possibilitar o contacto com os alunos.

Deu-se preferência ainda a um(a) professor(a) que leccionasse nesse ano lectivo os dois níveis de escolaridade para facilitar a organização da investigação e reforçar a sua coerência interna (por exemplo, no que respeita à apreciação do aproveitamento escolar dos alunos). Conseguida a colaboração de uma professora efectiva da Escola Secundária nº 1, foi possível o encontro entre a autora e os alunos, nas próprias turmas, durante um período normal de uma aula de Química, e na ausência de professora, com vista a:

- (1) informar os alunos dos objectivos do estudo que se pretendia levar a cabo e sua importância educacional futura;
- (2) solicitar colaboração voluntária para a realização do mesmo;
- (3) esclarecer aspectos da organização do trabalho, nomeadamente, o tipo, a data aproximada, o tempo a consumir e o local da realização.

A marcação da entrevista, um por um, foi estabelecida num segundo encontro com os alunos. Na tabela 3.3 indicam-se os números de alunos que aceitaram participar no estudo e os que o concretizaram, em cada etapa.

3.3.3 - Caracterização das amostras

Na tabela 3.4 apresenta-se a caracterização das amostras de alunos envolvidos em cada uma das etapas, e na tabela 3.5 o aproveitamento escolar dos alunos do estudo principal.

Tabela 3.3 - Alunos que aderiram a participar no estudo

Fase do estudo	Ano de escolaridade	1º encontro na Escola Secundária	2º encontro para marcação de data	Aceitação de marcação	Entrevistas realizadas
PRÉ-PILOTO	11º	27	16	16	9
PILOTO E PRINCIPAL	9º	47	26	3 (Est. Piloto)	2
				23 (Est. Principal)	21
	11º	36	25	3 (Est. Piloto)	3
				22 (Est. Principal)	20

3.4 - SELECÇÃO DAS TAREFAS

Definida a técnica a utilizar e a amostra, procedeu-se à selecção das tarefas a usar para a obtenção de comportamentos dos alunos de acordo com os objectivos do estudo.

3.4.1 - Critérios de selecção

A selecção das tarefas assentou em seis critérios:

(1) adequabilidade para a ilustração dos conceitos na área de conteúdo escolhida (por exemplo, reacções endoenergéticas e exoenergéticas, reacções espontâneas e iniciadas);

Tabela 3.4 - Caracterização das amostras utilizadas

		NÚMERO DE ALUNOS	
FASE DO ESTUDO	CARACTERÍSTICA	9º ano	11º ano
PRÉ-PILOTO	Masculino (Nº)	-	9
	Média das idades (em anos)	-	16,9
	Área de estudos	-	Científico-Tecnológicos: Electrotecnia
PILOTO	Feminino (Nº)	1	1
	Masculino (Nº)	1	2
	Média das idades (em anos)	15,0	16,0
	Área de estudos	Desporto (Opção)	Científico-Tecnológicos: Electrotecnia
PRINCIPAL	Feminino (Nº)	5	0
	Masculino (Nº)	10	15
	Média das idades (em anos)	15,7	17,2
	Área de estudos	Desporto (Opção)	Científico-Tecnológicos: Electrotecnia

(2) formato experimental tendo em vista minimizar o uso de linguagem extensa ou complicada, por exemplo, evitar a introdução de vocabulário que pudesse sugerir ideias científicas (Engel Clough and Driver 1986) e ainda permitir mais facilmente gerar conflito conceptual no aluno;

(3) previsível acessibilidade de interpretação por parte dos alunos;

(4) número de tarefas compatível (quatro) com a extensão da entrevista;

Tabela 3.5 - Distribuição (Nº) dos alunos da amostra do estudo principal de acordo com o aproveitamento escolar em Física e Química, no 3º período de 1983-1984

ANO DE ESCOLARIDADE	APROVEITAMENTO ESCOLAR		
	BOM (c)	MÉDIO (d)	REDUZIDO (e)
9º (a)	2	8	5
11º (b)	2	6	3

Notas:

(a) No 9º ano a disciplina tem a designação de Ciências Físico-Químicas.

(b) No 11º ano a disciplina é designada por Física e Química. Dos 15 alunos que participaram no estudo, quatro não foram avaliados pela professora por se tratar de alunos não matriculados na disciplina em virtude de não terem tido aproveitamento na mesma no 10º ano. Tais alunos não foram excluídos do estudo pois frequentaram as aulas de Física e Química de modo idêntico aos outros, tendo sido sujeitos à mesma instrução.

(c) Aproveitamento "Bom" significava nível 4 para os alunos do 9º ano e igual ou superior a 14 valores (no caso, 14 e 16) para os alunos do 11º ano.

(d) Aproveitamento "Médio" significava nível 3 para o 9º ano e de 10 a 13 valores (no caso, 10 e 11) para o 11º ano.

(e) Aproveitamento "Reduzido" significava nível 2 para o 9º ano e inferior a 10 valores (no caso, 8) para o 11º ano.

(5) possível transferibilidade para uma situação de sala de aula, para o que contribui a simplicidade de organização e execução, o tipo de reagentes e equipamento (por exemplo, não usar bico de bunsen);

(6) contexto variado.

A importância do contexto de apresentação da tarefa na interpretação proposta pelo aluno baseia-se na ideia de que variando o contexto de apresentação de um dado conteúdo, é possível identificar diferentes aspectos do conhecimento que o aluno mobiliza acerca desse conteúdo (Solomon 1983) e, eventualmente, analisar também a transferibilidade de conceitos em função do contexto. Uma dimensão possível para o contexto de apresentação de uma tarefa é a sua familiaridade/academismo. Tal como mostraram Maskill e Wallis (1982) esta dimensão da tarefa tem influência no tipo de raciocínio utilizado pelo aluno. Em particular, foi verificado que na amostra envolvida nesse estudo os alunos pensavam mais adequadamente (segundo o ponto de vista científico) quando o contexto lhes era familiar. Concordantemente os autores sugerem que, por exemplo, na abordagem de resolução de problemas se deva começar por apresentar aos alunos situações mais familiares.

A corroborar a influência da familiaridade na resolução de situações-problema existem estudos realizados, quer com crianças pequenas (Donaldson 1984), quer com adultos (Wason 1977). Esta verificação constitui um forte argumento a desfavor das teorias piagetianas de modelos de aprendizagem (Brown and Desforges 1979; Driver 1977). A influência do contexto, de reconhecida importância educacional, está na base de estudos recentes sobre modelos interpretativos dos alunos relativos, por exemplo, a temas de Física (Engel Clough and Driver 1986; Solomon 1983).

Neste estudo pensou-se que poderia também ser importante o contexto familiar/académico da tarefa na interpretação usada pelo aluno. Daí ter-se introduzido esta dimensão na selecção das tarefas a utilizar, duas de cada tipo.

Adoptou-se a seguinte definição operacional para esta dimensão:

"Familiar" é toda a tarefa que é do conhecimento quotidiano (corrente) do aluno;

"Académica" é toda a tarefa não familiar.

Para a selecção das tarefas do tipo académico recorreu-se a exemplos dos currículos de Química e a metodologia utilizada é apresentada na subsecção 3.4.2. Mais difícil era a escolha das tarefas familiares. Para isso houve necessidade de recorrer a um pequeno teste diagnóstico que se apresenta e discute na secção 3.4.3.

3.4.2 - Estudo pré-piloto

3.4.2.1 - Objectivos do estudo pré-piloto

O estudo pré-piloto teve dois objectivos principais:

(1) ajudar a seleccionar experiências académicas adequadas às finalidades da investigação;

(2) treinar a autora na técnica da entrevista clínica, nomeadamente, organização das experiências e colocação de questões.

O último objectivo foi de grande importância no desenvolvimento de capacidades da entrevistadora.

A descrição da amostra de alunos envolvidos no estudo pré-piloto foi referida na secção 3.3.

3.4.2.2 - Tarefas utilizadas e decisões tomadas

Os conteúdos a abordar através das tarefas, tiveram por base de selecção o critério da sua centralidade para a discussão do tema escolhido para a investigação. Assim, os conceitos escolhidos foram: (1) conceito de reacção química (nos aspectos estruturais), (2) energia de reacção (reacções endo e exoenergéticas), (3) conservação da energia (contemplando articulação entre energia e temperatura).

As tarefas utilizadas no estudo pré-piloto, de formato experimental, académicas, umas endo e outras exoenergéticas, todas elas espontâneas à temperatura ambiente, seleccionadas a partir de manuais escolares de Química, foram as seguintes:

Tarefa 1: Reacção entre o sódio e a água, com medição da temperatura inicial da água e da mistura obtida.

Tarefa 2: Reacção entre o cloreto de amónio sólido e a água, num vaso termicamente isolado, com medição da temperatura inicial da água e do cloreto de amónio, e da temperatura da mistura final.

Tarefa 3: Adição de quantidades iguais de CuSO_4 e de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, separadamente, as duas porções de água com vista a obter duas soluções idênticas, em vasos termicamente isolados, com medição da temperatura do sistema inicial e final.

A duração da entrevista (com gravação magnética) por aluno variou entre 60 e 90 minutos e teve em conta a disponibilidade de tempo de cada aluno inquirido sobre tal, antes de iniciar a entrevista. Assim, três alunos dispunham de menos tempo e só foram inquiridos sobre uma tarefa. Optou-se, nestes casos, por discutir apenas uma tarefa, por se privilegiar a profundidade do tratamento dos assuntos em alternativa à discussão superficial de maior número de tarefas (ver tabela 3.6).

Tabela 3.6 - Distribuição das tarefas, por aluno, no estudo pré-piloto

ALUNO	TAREFA Nº		
	1	2	3
1	x	x	
2	x	x	
3	x	x	
4	x		x
5	x		x
6	x	x	
7		x	
8		x	
9			x

Posteriormente, as nove gravações foram atentamente ouvidas pela autora com vista a identificar: (1) questões geradoras de respostas explicativas - "boas questões"; (2) erros de ordem técnica com vista a tomar decisões para os reduzir ou eliminar no estudo principal.

Transcreveram-se algumas gravações, aquelas que por audição evidenciaram ser mais úteis nesta fase de trabalho, e os respectivos protocolos escritos foram sujeitos a inspecção cuidadosa para identificação de ideias subjacentes, com vista à selecção de boas questões (assim julgadas pelo valor heurístico das respostas obtidas) a colocar em estudos posteriores.

Do estudo efectuado tiraram-se as seguintes conclusões quanto às tarefas testadas:

(1) As tarefas 1 e 2 (a primeira era conhecida da sala de aula e a segunda não o era) revelaram-se úteis para a recolha de dados na área em estudo. Foram, por isso, pré-seleccionadas para os estudos posteriores.

(2) Na tarefa 3 as variações de temperatura foram pouco acentuadas e revelou-se ser necessário dar informação sobre fórmulas químicas. Além disso a tarefa apresentou-se muito complicada do ponto de vista experimental (necessidade de amostras previamente preparadas, exactas quanto às quantidades de sulfato de cobre, anidro e hidratado, e quanto às duas porções de água). Esta tarefa foi rejeitada.

(3) Foram detectados alguns erros na técnica de entrevista os quais apontaram para a alteração de comportamento da entrevistadora em etapas posteriores, por exemplo, intervenções mais curtas, não introduzir termos científicos novos antes do aluno, pedir o significado de termos usados pelo aluno.

Através do estudo pré-piloto foi resolvido o problema da escolha das duas tarefas do tipo académico. Faltava apenas seleccionar as tarefas do tipo não académico

(familiares). Para isso utilizou-se um pequeno teste diagnóstico (ver subsecção 3.4.3). As duas etapas, estudo pré-piloto e teste diagnóstico, foram pois complementares no que respeita à sua função na selecção das tarefas a utilizar na entrevista clínica.

3.4.3 - Teste diagnóstico

Com vista a seleccionar as tarefas familiares aos alunos a serem utilizadas na entrevista clínica, elaborou-se um pequeno teste diagnóstico destinado a alunos do 9º e do 11º anos de escolaridade. Seriam seleccionadas as tarefas mais votadas, uma endo e outra exotérmica.

O pressuposto subjacente à utilização do teste para o fim em vista era que a classificação feita por estes alunos e aquela que fariam os alunos envolvidos no estudo principal, seria semelhante.

Relativamente à construção do teste diagnóstico considerar-se-ia familiar, i.e., não-académico, aquilo que os alunos indicassem como não tendo sido referido pelo professor nas aulas de Química, ou não tivesse aparecido descrito no livro de Química, nesse ano ou em anos anteriores.

Seleccionaram-se onze tarefas supostas familiares aos alunos, e susceptíveis de serem discutidas em termos de reacções químicas, englobando exemplos de reacções endo e exotérmicas, e reacções espontâneas e iniciadas.

Para tentar minimizar a eventual dificuldade na escolha pelos alunos para quem os termos técnicos não fossem acessíveis, optou-se por apresentar para cinco dessas tarefas dois formatos de linguagem diferentes, um com terminologia do quotidiano e outro com terminologia académica (por exemplo, "queimar lenha numa fogueira" e "combustão da madeira").

Foram assim apresentadas 16 descrições, previamente validadas por uma professora de Química com mais de 10 anos de experiência docente .

Tabela 3.7 - Descrições usadas para as 11 tarefas seleccionadas

-
- 1 - Queimar lenha numa fogueira
 - 2 - Combustão de uma vela
 - 3 - Bronzear a pele por exposição ao sol
 - 4 - Queimar gás no fogão
 - 5 - Levedar massa para fabricar o pão, num alguidar coberto com um pano
 - 6 - Combustão do papel
 - 7 - Cozer um ovo numa caçarola com água
 - 8 - Queimar álcool numa lamparina
 - 9 - Preparar cal para caiar as paredes, adicionando pedra de cal à água
 - 10 - Combustão da madeira
 - 11 - Queimar açúcar num tacho para preparar caramelo
 - 12 - Uma vela a arder num castiçal
 - 13 - Combustão de um gás
 - 14 - Queimar papéis
 - 15 - Deixar escurecer ao ar uma maçã descascada
 - 16 - Combustão do álcool
-

O estudo realizado em Março de 1984, envolveu 497 alunos de duas Escolas Secundárias de Aveiro, conforme se indica na tabela 3.8.

Tabela 3.8 - Caracterização da amostra usada no teste diagnóstico

CARACTERÍSTICA	ANO DE ESCOLARIDADE	
	9º	11º
Dimensão	272	225
Idade, média (em anos)	15,7 ± 1,3	17,3 ± 1,3

O teste foi administrado pela professora de Química dos alunos, durante uma aula normal, sem aviso prévio, e era constituído por duas folhas. A folha de rosto destinava-se à indicação, pelo aluno, da Escola, idade e ano de escolaridade, e apresentava o objectivo do teste (esclarecer um grupo de pessoas interessadas no estudo de problemas relacionados com a aprendizagem da Química nas Escolas Secundárias, sobre exemplos utilizados nos programas de Química) e instruções gerais para o preenchimento. A segunda folha continha as 16 descrições sobre cada uma das quais o aluno deveria indicar se ela havia ou não sido referida pelo professor de Química ou se vinha ou não descrita no livro de Química.

Para as tarefas mencionadas no teste diagnóstico e susceptíveis de poderem ser facilmente demonstradas (formato experimental) durante a entrevista clínica (descrições 2, 6, 7, 8, 10, 12, 14 e 16), indica-se na tabela 3.9, as escolhas (em percentagem) feitas pelos alunos como não tendo sido referidas pelos professores nem tendo sido descritas nos livros de Química (resposta "Não").

Tabela 3.9 - Respostas dos alunos (em %), do tipo "Não" (no teste diagnóstico)

Tarefa (Nº de ordem)	2	6	7	8	10	12	14	16
Resposta "Não" (%)	22,0	42,5	92,4	19,0	31,8	60,6	55,0	11,3

As tarefas mais escolhidas ("Não") pelos alunos foram as nº 7 (Cozer um ovo), nº 12 (Uma vela a arder num castiçal) e nº 14 (Queimar papéis). Seleccionaram-se a nº 7 e a nº14 por se ter considerado esta última mais simples do que a nº 12 em termos de possível transferibilidade para a sala de aula.

Foi assim possível validar empiricamente a selecção de duas tarefas familiares: "Cozer um ovo numa caçarola com água" e "Combustão do papel".

Apresentam-se na tabela 3.10 as tarefas (designadas pelo seu nome) utilizadas durante a entrevista (estudo piloto e estudo principal) e suas características.

Tabela 3.10 - Tarefas utilizadas (estudos piloto e principal) e suas características

TAREFA	TIPO DE REACÇÃO	CONTEXTO
COZEDURA DO OVO	Reacção endotérmica e iniciada (a)	Familiar
COMBUSTÃO DO PAPEL	Reacção exotérmica e iniciada (a)	Familiar
REACÇÃO ENTRE O SÓDIO E A ÁGUA	Reacção exotérmica e espontânea	Académico
REACÇÃO ENTRE O CLORETO DE AMÓNIO E A ÁGUA (b)	Reacção endotérmica e espontânea	Académico

Notas:

(a) A classificação "iniciada" é relativa à temperatura ambiente.

(b) A transformação implica modificações da natureza das ligações químicas envolvidas e não apenas alteração no estado de agregação das unidades estruturais pelo que é melhor classificada como reacção química.

3.5 - ESTUDO PILOTO

3.5.1 - Objectivos do estudo

O estudo piloto centrou-se nos alunos, pelo que nele foram incluídos alunos dos dois níveis escolares seleccionados. O estudo piloto teve como objectivos:

(1) testar a adequabilidade das tarefas pré-seleccionadas quanto ao tempo necessário para a sua discussão;

(2) determinar a pertinência das questões dirigidas para a área de conteúdo em referência;

(3) treinar o método da entrevista clínica quanto à sua condução e organização.

As principais alterações introduzidas na investigação, do estudo pré-piloto para o piloto, foram a introdução de alunos do 9º ano e a utilização de tarefas relativas a contextos diferentes (definidos na subsecção 3.4.1).

3.5.2 - Ordenação e formato das tarefas

Escolhidas as quatro tarefas a utilizar durante a entrevista clínica houve que decidir a ordem da sua apresentação, já que a ordenação pode ter influência nas respostas do aluno (Osborne and Gilbert 1980). Decidiu-se apresentar primeiro as tarefas familiares. Este critério pretendia criar confiança no aluno. De entre as primeiras optou-se por apresentar em primeiro lugar a tarefa mais extensa. No caso das duas últimas foi arbitrária a escolha da ordem de apresentação. A ordenação adoptada foi a seguinte:

1ª Tarefa: Cozedura do ovo

2ª Tarefa: Combustão do papel

3ª Tarefa: Reacção entre o sódio e a água

4ª Tarefa: Reacção entre o cloreto de amónio e a água

Manteve-se a mesma ordenação das tarefas para todos os alunos, visto tratar-se, neste estudo, de uma investigação centrada em indivíduos e não em grupos.

Descrevem-se a seguir, para cada uma das quatro tarefas experimentais o material e os aspectos essenciais do procedimento usado, mantidos constantes para todos os 41 alunos.

Após a descrição relativa a cada tarefa, fundamentam-se decisões tomadas quanto a algumas condições experimentais.

3.5.2.1 - Cozedura do ovo

(i) Material:

Ovo cru sem casca (em taça de plástico, com diâmetro 11 cm)

Ovo cozido sem casca (em taça de plástico, com diâmetro 11 cm)

Ovo cru inteiro

Panela com água

Placa eléctrica para aquecimento

Copo de vidro

Ácido sulfúrico diluído (1:1)

(ii) Procedimento:

1ª Mostrou-se ao aluno, em dois recipientes distintos mas idênticos (taças de plástico), um ovo cru sem casca e um ovo cozido, sem casca, cortado ao meio. Numa panela com água a ferver, colocada sobre uma placa eléctrica aquecida, introduziu-se um ovo cru inteiro para cozer.

2ª Após a discussão sobre a cozedura do ovo, adicionou-se a um pouco de clara de ovo crua, colocada num copo, umas gotas de ácido sulfúrico diluído (1:1). O conteúdo do copo tornou-se esbranquiçado, tal como a clara cozida, passados cerca de 18 s (tempo médio) após adição do ácido sulfúrico.

Fundamentam-se a seguir as decisões tomadas quanto a alguns aspectos do formato adoptado para a "Cozedura do ovo".

(1) Optou-se por utilizar três ovos alternativamente a usar apenas dois, esperando que um deles cozesse, com base nos critérios: economia de tempo e ilustração apenas do processo da cozedura, visto o resultado dela ser previsível por todos os alunos, dada a sua familiaridade. Por outro lado, o processo de cozedura do ovo com a casca também não permitiria ao aluno estabelecer comparação, para o mesmo ovo, entre o aspecto dele em cru e o aspecto após a cozedura. No entanto, houve o cuidado de garantir, através de pergunta colocada, se as diferenças entre os dois ovos eram ou não, no seu entender, devidas à cozedura. Todos os alunos evidenciaram a ideia de que as diferenças entre o ovo cru e o cozido eram resultantes de um deles ter sido sujeito à cozedura.

(2) A decisão de cozer o ovo inteiro com casca teve como intenção sugerir um sistema fechado onde ocorreria uma reacção do tipo "um reagente".

(3) A adição de ácido sulfúrico à clara do ovo cru, teve como finalidade:

(i) modificar o contexto familiar da tarefa inicial visto o ácido sulfúrico ser uma substância com acentuada conotação académica;

(ii) verificar se a diferença na interpretação apresentada seria devida à presença de "uma substância - o ovo" no primeiro caso, e de duas no segundo (clara do ovo e ácido sulfúrico), apesar do aspecto idêntico do produto final.

3.5.2.2 - Combustão do papel

(i) Material:

Folha de papel de escrita branco, com 15 cm x 21 cm

Placa de vidro, com 10 cm x 10 cm

Fósforos

(ii) Procedimento:

Sobre a placa de vidro colocou-se a folha de papel previamente amachucada entre as mãos. Acendeu-se um fósforo e aproximou-se a chama do papel, a fim de iniciar a combustão deste. Deixou-se decorrer a combustão do papel, até ao fim, sem nada dizer.

3.5.2.3 - Reacção entre o sódio e a água

(i) Material:

Sódio em parafina (dentro de um frasco de vidro, rotulado)

Tina de vidro (diâmetro 5,5 cm)

Papel de filtro

Pinça metálica

Canivete

Termómetro

Água destilada (em garrafa-esguicho)

Proveta de 50 cm³

(ii) Procedimento:

Na tina de vidro colocou-se cerca de 50 cm³ de água destilada, medida com a proveta. Com o auxílio do termómetro mediu-se a temperatura da água (entre 22 °C e 26

°C). O aluno fez a leitura. Retirou-se um pedacinho de sódio, de dentro da parafina, usando a pinça metálica, e colocou-se sobre o papel de filtro. Secou-se bem o pedacinho de sódio e com o canivete cortou-se um fragmento do tamanho aproximado de um grão de arroz. Com cuidado, e pegando com a pinça, colocou-se o pedacinho de sódio sobre a água contida na tina, no centro da tina. Deixou-se decorrer a reacção até ao fim, sem nada dizer. No final da reacção mediu-se a temperatura do conteúdo da tina (entre 25 °C e 32 °C). O aluno fez a leitura. O aumento verificado na temperatura da água inicial para a temperatura da solução após a reacção oscilou entre 2 °C e 7 °C (valor médio = 4 °C).

3.5.2.4 - Reacção entre o cloreto de amónio e a água

(i) Material:

Cloreto de amónio, sólido (dentro de uma embalagem comercial rotulada)

Água destilada (em garrafa-esguicho)

2 termómetros iguais

Espátula

2 copos de vidro

Proveta de 50 cm³

Agitador de vidro

Tampa de vidro com dois orifícios, para um dos copos

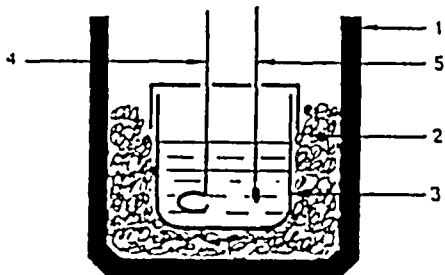
Vaso de esferovite, sem tampa, com algodão no interior

(ii) Procedimento:

Com a proveta mediu-se cerca de 50 cm³ de água que se transferiu para um copo de vidro e colocou-se este, rodeado de algodão, dentro do vaso de esferovite. Com a espátula transferiu-se uma porção de cloreto de amónio sólido, 5-10 g (previamente estimado), para o outro copo de vidro, seco. Utilizando dois termómetros iguais mediu-se a temperatura da água e a do cloreto de amónio (entre 21 °C e 27 °C). O aluno fez a leitura. Adicionou-se, de uma só vez, o cloreto de amónio sobre a água, colocou-se a tampa de vidro sobre o copo, fazendo passar o agitador e o termómetro através dos orifícios respectivos. Agitou-se o conteúdo do copo com cuidado e pediu-se ao aluno a observação da temperatura da solução, indicada pelo termómetro (entre 6 °C e 15 °C). O

decréscimo verificado na temperatura relativamente ao valor inicial variou entre 8 °C e 17 °C (valor médio = 13 °C).

(iii) Esquema da montagem:



Legenda:

- 1 - Vaso de esferovite
- 2 - Algodão
- 3 - Copo de vidro com tampa
- 4 - Agitador de vidro
- 5 - Termómetro (0,1 °C)

A utilização do vaso isolador e da tampa (sistema quasi-isolado) teve em vista facilitar a identificação da confusão entre temperatura e energia, caso tal confusão existisse. Em particular, a colocação da tampa sobre o copo teve como finalidade criar uma "barreira", ainda que fictícia, à saída da energia de dentro da solução.

3.5.2.5 - Novamente a cozedura do ovo

Tendo em vista determinar qual a influência que a discussão sobre as restantes tarefas poderia ter tido nas ideias do aluno sobre a cozedura do ovo retomou-se brevemente a discussão sobre a cozedura do ovo após a realização da 4ª tarefa.

(i) Perguntou-se ao aluno se seria capaz de apresentar mais alguma explicação sobre o que acontecia durante a cozedura do ovo que não tivesse referido anteriormente.

(ii) Foi pedido ao aluno que fizesse um desenho simples, ilustrativo daquilo que ele julgasse acontecer dentro do ovo, durante a cozedura do mesmo.

O pedido de desenho representativo da transformação teve por base recolher dados que pudessem ser usados como complemento de informação.

De entre os 30 alunos, apenas dois do 11º ano não fizeram desenho alegando não saberem fazê-lo.

3.5.3 - Administração das tarefas

As tarefas utilizadas no estudo piloto foram as mesmas que no estudo principal e ordenadas da mesma maneira, tal como se descreveu na subsecção 3.5.2. Todos os alunos discutiram as quatro tarefas. O estudo decorreu em Abril de 1984, durante o período de férias da Páscoa. O procedimento seguido na condução das entrevistas foi idêntico ao utilizado no estudo principal, conforme será descrito na subsecção 3.8.1.

Os registos magnéticos foram atentamente ouvidos pela autora, transcritos e posteriormente escrutinados, ainda que de forma rudimentar, para identificar dificuldades, por exemplo, procurar estabelecer o significado que o aluno atribuía a termos e expressões. Verificou-se que o número médio de interpelações por aluno foi de 207 e o tempo médio de entrevista, por aluno, e sem incluir o tempo usado na demonstração das tarefas, foi de 85 minutos.

3.5.4 - Decisões tomadas

Todas as tarefas utilizadas foram julgadas úteis para o estudo a efectuar. Decidiu-se, por isso, incluir as quatro tarefas e pela mesma ordem, no estudo principal. Tomou-se a decisão de introduzir uma alteração no formato da quarta tarefa "Reacção entre o cloreto de amónio e a água". O copo de vidro, colocado dentro do vaso isolador, esteve destapado no estudo piloto, e invocando essa razão, todos os alunos consideraram o sistema aberto, saindo do copo, forçosamente, alguma coisa. Para tentar obstar a tal interpretação que dificultaria criar uma situação de conflito conceptual ao aluno, decidiu-se colocar sobre o copo uma tampa, também em vidro, com dois orifícios por onde passavam o termómetro e o agitador. Tal decisão veio a revelar-se de grande utilidade no estudo principal.

Relativamente às questões postas aos alunos, não se introduziram quaisquer modificações (ver secção 3.7). Foi decidido que após a discussão de cada tarefa seria perguntado ao aluno se estava cansado e se não se importaria de passar à discussão da

tarefa seguinte. Só continuariam a entrevista os alunos que dessem o seu consentimento para tal. No caso de algum aluno querer fazer uma pausa para descanso, isso ser-lhe-ia facultado. O cuidado posto neste procedimento tem a ver com a articulação entre o tempo necessário para realizar uma entrevista em profundidade e o aceitável pelo aluno para esse fim. A este respeito as opiniões de diversos autores divergem. Por exemplo, Bogdan e Taylor (1975, p.109) referem que a entrevista deve ser suficientemente longa de modo a cobrir os tópicos, mas evitando que o entrevistador ou o entrevistado estejam fatigados. Acrescentam ainda que menos do que uma hora é pouco tempo e que são necessários períodos de pelo menos duas horas para explorar um tópico em profundidade.

A questão do tempo adequado é uma questão sem resposta, pois trata-se de um aspecto variável com o indivíduo (características pessoais, idade, maturidade, formação) e, para o mesmo indivíduo, com o conteúdo da entrevista (Pines et al. 1978).

3.6 - FORMAÇÃO DE CATEGORIAS DE CONTEÚDO

Por análise do conteúdo dos programas de Química para 8^o e 9^o anos (na disciplina de Ciências Físico-Químicas) e para 10^o e 11^o anos (na disciplina de Física e Química), pôde estabelecer-se a correspondência entre os tópicos programáticos e temas químicos considerados relevantes na abordagem de "A energia nas reacções químicas". Na tabela 3.11 apresenta-se a correspondência estabelecida.

A consideração dos temas químicos referidos na tabela 3.11 tem por finalidade servir de apoio à organização dos resultados da investigação. Para tal é necessário agrupar esses temas em categorias de análise também chamadas categorias de conteúdo. Esta situação levou à definição de duas categorias de conteúdo dizendo respeito a aspectos genéricos:

Tabela 3.11 - Correspondência entre os temas químicos e os tópicos programáticos, para cada um dos anos de escolaridade (os n^{os} listados representam a numeração dos tópicos nos programas * correspondentes)

TEMA QUÍMICO	ANO DE ESCOLARIDADE			
	8 ^o	9 ^o	10 ^o	11 ^o
Estrutura da matéria	8	3	1;3	1.1;3.1
Sistema químico	9	2	-	1.4;2.1
Reagentes e produtos da reacção (Natureza do sistema)	9	2	-	1.2;2.1
Interacção entre reagentes e formação de produtos de reacção	9	2	-	1.2;2.1
Reacções exo e endoenergéticas	9	-	-	1.5
Conservação da energia	-	-	-	1.5
Variacão da temperatura e energia do sistema	9	-	-	1.5
Espontaneidade e não-espontaneidade de reacção	-	2	-	2.2

Nota: O traço - significa que o tema não é contemplado, explicitamente.

* Os programas inspeccionados são aqueles a que os alunos envolvidos no estudo estiveram sujeitos.
 8^o ano - Ciências Físico-Químicas (1980-81 e 1982-83); homologado pelo Despacho do SEEBS de 17-09-1976, iniciado em 1976-77.
 9^o ano - Ciências Físico-Químicas (1981-82 e 1983-84); homologado pelo Despacho do SEEBS de 06-09-1977, iniciado em 1977-78.
 10^o ano - Física e Química (1982-83); homologado pelo Despacho do SEEBS de 17-08-1978, iniciado em 1978-79
 11^o ano - Física e Química (1983-84); homologado pelo Despacho do SEEBS de 11-07-1979, iniciado em 1979-80.

(1) Componente estrutural: o processo de formação do sistema final a partir do sistema inicial, ou seja, a categoria de conteúdo abrangendo os aspectos estruturais da transformação.

(2) Componente energética: o processo de variação da energia do sistema dos reagentes para o sistema dos produtos da reacção, ou seja, a categoria de conteúdo abrangendo os aspectos energéticos da transformação.

A explicitação das duas categorias de conteúdo distintas assenta no pressuposto de que pode não haver, por parte dos alunos, articulação entre as ideias relativas aos aspectos abrangidos em cada uma delas.

A classificação dos temas químicos pelas duas categorias de conteúdo é indicada na tabela 3.12.

Note-se que o tema "sistema químico" é um tema comum a ambas as categorias de conteúdo por ser necessário à explicitação de outros temas incluídos em cada uma das categorias, por exemplo, "natureza dos sistemas inicial e final" e "variação da temperatura e energia do sistema".

3.7 - QUESTÕES COLOCADAS

3.7.1 - Critérios usados na formulação das questões

Na técnica da entrevista clínica não é possível definir antecipadamente se uma determinada questão é uma "boa questão". A resposta do aluno é que determinará a relevância da pergunta colocada pelo entrevistador. Daí a vantagem de se fazer um bom estudo piloto. No entanto, poder-se-á afirmar, sem grande risco de prova contrária, que questões orientadas para o pedido de explicação serão, provavelmente, as mais ricas. O objectivo do entrevistador é colocar questões cujas respostas apresentem interesse genuíno e encorajar o aluno a justificar os seus argumentos não esquecendo que a

Tabela 3.12 - Classificação dos temas químicos por categoria de conteúdo

CATEGORIA DE CONTEÚDO	TEMAS QUÍMICOS
COMPONENTE ESTRUTURAL	<p>Sistema químico</p> <p>Reagentes e produtos da reacção (Natureza do sistema)</p> <p>Interação entre reagentes e formação de produtos de reacção</p> <p>Estrutura da matéria</p>
COMPONENTE ENERGÉTICA	<p>Sistema químico</p> <p>Reacções exo e endoenergéticas</p> <p>Conservação da energia</p> <p>Variação da temperatura e energia do sistema</p> <p>Espontaneidade e não-espontaneidade de reacção</p>

entrevista não é um interrogatório. As questões devem ser fáceis de responder, neutras, e profundas (Bell et al. 1985).

Os critérios que serviram de base à formulação das questões colocadas foram os seguintes: (1) estarem adaptadas aos temas englobados nas categorias de conteúdo definidas; (2) serem baseadas, tanto quanto possível, em observações feitas pelo aluno; (3) permitirem diversas respostas por parte do aluno; (4) serem acessíveis, por exemplo em termos de linguagem, aos alunos do 9º ano.

3.7.2 - Principais questões

Na entrevista de formato semi-estruturado as questões têm de tomar em conta as respostas anteriores do aluno, não podendo ser, por isso, exactamente as mesmas para

todos os alunos. No entanto, utilizaram-se questões-tipo, exploratórias das ideias dos alunos, as quais se mantiveram, salvo pequenas exceções, em todas as entrevistas.

As questões usadas na entrevista podem ser classificadas quanto à sua função, i.e., quanto ao papel que desempenham no processo de identificação e verificação das ideias dos alunos (Pines et al. 1978) em três tipos:

(1) questões de iniciação, exploratórias, que se destinam a desencadear as primeiras ideias do aluno. Por exemplo, "Observa o ovo cru e o ovo cozido e diz-me o que notas de diferente entre eles". Estas questões apelam no essencial a descrições;

(2) questões de desenvolvimento, elaboração, que se destinam a expandir ideias previamente expressas e/ou a completá-las. Por exemplo, "Como é que pode haver variação de temperatura num sistema isolado?". São questões que apelam no essencial a explicações;

(3) questões de certificação, que se destinam a confirmar (ou não) ideias já apresentadas anteriormente ou esclarecer aspectos duvidosos. Por exemplo, "Por favor recapitula a tua ideia sobre o que achas que acontece entre o papel e o oxigénio, durante a combustão do papel". Estas questões têm por principal finalidade contribuir para aumentar a fidelidade dos resultados.

Indicam-se, na tabela 3.13, as principais questões colocadas, para cada tarefa, e por cada categoria de conteúdo.

Sempre que a resposta do aluno o permitiu, aprofundou-se o nível de tratamento explicativo do fenómeno em discussão, colocando questões consideradas adequadas para tal. Essa situação foi observável sobretudo para os alunos do 11^o ano quando comparados com os do 9^o ano. Indicam-se a seguir exemplos de algumas questões específicas para alunos do 11^o ano:

- "Em qual das fases, ruptura ou fecho de ligações, existe absorção e libertação de energia?"

- "As ligações serem mais fortes significa que têm mais ou menos energia?"

Tabela 3.13 - Questões colocadas para cada tarefa, por categorias de conteúdo

TAREFA	CATEGORIA DE CONTEÚDO	
	COMPONENTE ESTRUTURAL	COMPONENTE ENERGETICA
COZEDURA DO OVO	<ul style="list-style-type: none"> - Observa o ovo cru e o ovo cozido e diz-me o que notas de diferente entre eles. - Como explicas o que acontece dentro do ovo quando ele está a ser cozido na panela com água. - Quais as substâncias que intervêm na cozedura do ovo? - As substâncias que existem no ovo cru são iguais ou são diferentes das substâncias que existem no ovo cozido? Porquê? 	<ul style="list-style-type: none"> - Por que razão se aquece o ovo durante a cozedura? - Em qual dos ovos, cru ou cozido, à mesma temperatura, existe mais energia? Porquê?
CLARA DO OVO E ÁCIDO SULFÚRICO	<ul style="list-style-type: none"> - O que acontece quando se junta ácido sulfúrico à clara do ovo? - Quais são as substâncias envolvidas nesta transformação? - O produto final agora obtido é igual ou é diferente da clara do ovo cozida? Porquê? 	—
COMBUSTÃO DO PAPEL	<ul style="list-style-type: none"> - O que acontece ao papel durante a combustão? - Que substâncias intervêm na combustão do papel? - Explica o que acontece durante a combustão do papel, esquecendo o modo como ela foi iniciada. 	<ul style="list-style-type: none"> - De onde veio a energia/o calor que se sentiu durante a combustão do papel? - Porque é necessária a chama do fósforo para a combustão do papel acontecer? - Porque é que não é necessário continuar lá com o fósforo para a combustão prosseguir?
REACÇÃO ENTRE O SÓDIO E A ÁGUA	<ul style="list-style-type: none"> - Diz-me o que observaste. - Que substâncias intervêm na reacção? - Como explicas o que aconteceu? - O que é que a água fez ao sódio? - O que é que o sódio fez à água? - A que será devido o fumo observado? 	<ul style="list-style-type: none"> - Porque aumentou a temperatura? - A que será devida a faísca/chama/luz observada? - Porque é que ela não se observou sempre?
REACÇÃO ENTRE O CLORETO DE AMÓNIO E A ÁGUA	<ul style="list-style-type: none"> - Diz-me o que observaste. - Como explicas o que se passou? - O que é que o cloreto de amónio fez à água? - O que é que a água fez ao cloreto de amónio? 	<ul style="list-style-type: none"> - O que é para ti um vaso isolador? - Por que razão a temperatura diminuiu? - Como é que pode haver variação de temperatura num sistema isolado? - A energia existente na mistura final é maior, é menor ou é igual à energia existente inicialmente na água e no cloreto de amónio antes de serem misturados? Porquê?
NOVAMENTE A COZEDURA DO OVO	<ul style="list-style-type: none"> - És capaz de acrescentar mais alguma coisa sobre o que acontece ao ovo durante a cozedura, além do que disseste no início? - És capaz de fazer um desenho daquilo que tu julgas que acontece dentro do ovo, durante a cozedura? 	<ul style="list-style-type: none"> - Como é que pensas que o ovo coze, todo ao mesmo tempo, ou alguma parte primeiro?

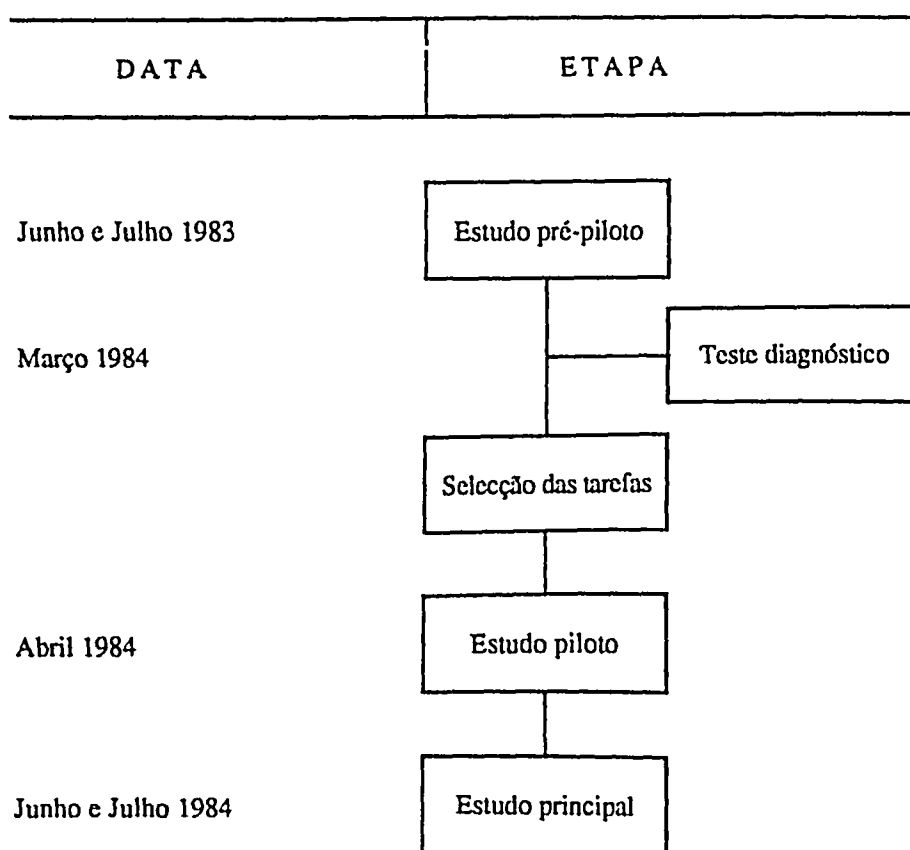
- "Porque é que é preciso activar o papel para se dar a combustão, e outras reacções químicas não precisam de ser activadas?"

3.8 - ESTUDO PRINCIPAL

Nesta secção indica-se a metodologia utilizada na administração da entrevista no estudo principal, alguns aspectos relativos ao comportamento dos alunos e dados estatísticos no que respeita ao número de interpelações e ao tempo consumido. A descrição da amostra utilizada no estudo principal foi referida na subsecção 3.3.3.

Para melhor compreensão da articulação entre as diferentes etapas da investigação que precederam o estudo principal apresenta-se o diagrama junto.

Diagrama - Articulação das diversas etapas envolvidas



3.8.1 - Administração do instrumento de investigação

Tal como no estudo piloto, as entrevistas foram realizadas na Universidade de Aveiro, em dia e hora previamente acordados, num gabinete do Departamento de Química, ocupado apenas pelo aluno e pela autora, sem possibilidade de acesso a qualquer outra pessoa. Cada entrevista foi conduzida individualmente e gravada em fita magnética com autorização prévia do aluno para tal.

O aluno e a autora estavam sentados lado a lado, o aluno do lado esquerdo, em frente de uma mesa sobre a qual se encontrava (visível mas não ostensivamente colado ao aluno) o gravador e o microfone, algumas folhas de papel branco e canetas para o aluno usar caso o pretendesse fazer. Sobre essa mesa foi realizada cada uma das experiências, sobre as quais recaíram as questões colocadas (secção 3.6), sendo o material e reagentes aí colocados apenas aquando de cada uma delas e retirado antes de passar à experiência seguinte.

As tarefas foram demonstradas pela autora, uma por uma, na presença de cada um dos alunos. Após cada demonstração procedeu-se à fracção da entrevista correspondente; só depois das questões sobre cada experiência terem sido consideradas pela autora como terminadas, i.e., respondidas, se passou à apresentação da experiência seguinte.

Todas as entrevistas decorreram sem incidentes. Através dos comportamentos evidenciados pelos alunos concluiu-se que a sua participação foi activa, procurando, alguns deles, espontaneamente, reformular respostas que haviam dado anteriormente. Por exemplo, no caso do aluno 11-14(*) , durante a discussão da "Combustão do papel" quando lhe foi colocada a questão "mais alguma coisa sobre a combustão do papel?" (E52), ele respondeu: "creio que não ... portanto eu há bocado disse que, que havia dióxido de carbono por ter havido libertação de energia, eu penso que é ao contrário, houve libertação de energia por ter havido reacção do oxigénio e do papel que deu

(*) O significado dos números e letras é explicitado na pág. 126.

dióxido de carbono" (A52). Este aluno além de revelar grande empenho na resposta que pretendia dar e, portanto, elevado sentido de responsabilidade no cumprimento da tarefa que lhe havia sido pedida, revelou também que se recordava de uma resposta dada anteriormente (A40), a qual, no seu entender, não traduzia da melhor forma a ideia que, naquele momento, tinha sobre o assunto.

Outros ainda, mesmo já na parte final, continuaram a mostrar disponibilidade para participar, não dando respostas lacônicas. É o caso, por exemplo, do aluno 11-09 o qual após a discussão das quatro tarefas, quando lhe foi perguntado "... serás capaz agora de adiantar alguma coisa de diferente do que me tenhas dito sobre a cozedura do ovo?" (E1) ele respondeu "... acho que sim" (A1) e, em seguida, desenvolveu resposta extensa (A2). Note-se que apesar da primeira resposta do aluno (A1), as ideias evidenciadas não foram diferentes daquelas que tinham sido inferidas aquando da discussão sobre a "Cozedura do ovo".

O modelo de entrevista adoptado compreendeu três fases: "Introdução", "Desenvolvimento" e "Fecho", as quais são caracterizadas a seguir:

a) Por "Introdução" entendem-se os cuidados da entrevistadora em se assegurar, tanto quanto possível, antes de iniciar a entrevista, sobre as condições do aluno para participar, com vista a organizar o trabalho. Foram cinco os aspectos que mereceram especial destaque:

(1) Perguntou-se ao aluno qual o tempo disponível de modo a poder gerir-se esse tempo, distribuindo-o pelas tarefas em discussão.

(2) Perguntou-se ao aluno se ele conhecia os temas sobre os quais se iria conversar. Em todos os casos a resposta foi negativa. Pediu-se então que nada comentasse, depois da entrevista, com os colegas que ainda aguardavam a participação no trabalho.

(3) Foi sempre reforçado com cada um dos alunos, apesar de isso ter sido feito aquando dos encontros na Escola, que o estudo não pretendia classificar as respostas como certas ou erradas, pelo que deveria exprimir livremente a sua ideia sobre cada uma das questões que lhe iriam ser colocadas e que isso seria confidencial.

(4) Foi dito aos alunos que a entrevistadora era professora de Química e que o trabalho se destinava a conhecer as ideias deles sobre determinados aspectos e que todas elas eram da maior importância (Renström 1987).

(5) Informou-se o aluno que a entrevista se desenrolaria sobre quatro tarefas de natureza experimental, mas que ele não seria obrigado a debruçar-se sobre todas elas. O facto de poder vir a desistir antes do fim em nada prejudicaria o trabalho em curso.

b) A segunda fase, "Desenvolvimento", teve como objectivo a obtenção dos comportamentos para o estudo, solicitando respostas do aluno às questões colocadas (secção 3.6).

O modelo de desenvolvimento adoptado contemplou questões do género descritivo, do género interpretativo e, se necessário, questões de confirmação.

Na tabela 3.14 ilustra-se a sequência dada às questões colocadas aos alunos com o caso do aluno 11-06, durante a discussão da "Reacção entre o cloreto de amónio e a água".

Com vista a garantir a validade interna do trabalho (ver secção 4.5) tiveram-se em atenção, durante a entrevista, aspectos que procuraram ser os mais adequados de modo a permitir ao aluno exprimir livremente as suas ideias. Alguns desses aspectos foram posteriormente referidos por Bell et al. (1985). Apresentam-se a seguir os considerados com maior relevância.

(1) Apesar do aviso feito no início quanto ao interesse sobre a ideia própria do aluno por oposição à classificação da mesma como certa ou errada, procurou-se adoptar para as questões, um formato que o sugerisse. Por exemplo, "Qual é a tua ideia sobre o

Tabela 3.14 - Classificação de questões utilizadas - um exemplo (aluno 11-06 na "Reacção entre o cloreto de amónio e a água")

QUESTÕES		
DESCRITIVO	INTERPRETATIVO	CONFIRMATIVO
E1: diz-me o que observaste	E11: porque é que houve diminuição da temperatura? E14: quando se formou esse composto o que é que aconteceu à energia? E15: na formação de ligações há absorção de energia? E16: e quem é que forneceu energia ao sistema? E20: e quando se juntou o cloreto de amónio à água tu achas que houve absorção de energia ou libertação de energia? E21: e o novo composto formado achas que tem mais energia ou menos energia do que os reagentes?	E17: diz a tua ideia E28: mais alguma coisa? E28: é essa a tua ideia?

assunto?", "Como achas que isso aconteceu?", "És capaz de explicar o que pensas sobre isso?".

(2) O tom da voz, a expressão e a entoação posta procuraram ser de modo a estimular o aluno na explicitação das próprias ideias, evitando tanto quanto possível sugerir pistas. Apesar das preocupações havidas, identificaram-se algumas passagens que podem ser consideradas como induzindo pistas para ideias.

(3) Foi adoptado sempre que possível um tempo de espera considerado adequado às necessidades de cada aluno. Assim, foi dito ao aluno que teria o tempo que quisesse para pensar sobre as questões que lhe eram colocadas. Por exemplo, no caso do aluno 11-05, durante a discussão da "Cozedura do ovo", após uma pausa de 19 s (A35), a entrevistadora procurou certificar-se se o aluno tinha entendido a questão

colocada (E36), o que o aluno confirmou (A36), e a seguir disse "tens o tempo todo que quiseses para pensar, podes fazê-lo calmamente" (E37).

Após uma pausa longa ($t > 15$ s) e/ou se o aluno respondeu "não sei" procurou-se a certificação quanto ao entendimento da pergunta por parte do aluno, intervindo com nova pergunta. Por exemplo, "Fiz-me entender na minha questão?", "Qual é a tua ideia?" "Tens com certeza uma ideia sobre o assunto e é essa ideia que eu gostava de saber". Assim, no caso do aluno 11-12, durante a discussão da "Reacção entre o cloreto de amónio e a água", o aluno foi inquirido sobre a razão pela qual teria acontecido variação contrária na temperatura, na situação presente e na situação anterior ("Reacção entre o sódio e a água") (E34, E35), ao que fez uma pausa de 87 s, após a qual a entrevistadora perguntou "faço-me entender na minha questão?" (E36), e ele prontamente, respondeu: "faz, eu é que não sei explicar, não sei mesmo" (A36).

(4) Procurou-se confirmar as ideias dos alunos, sobretudo no que respeitava aos assuntos principais, como, por exemplo, colocando questões do tipo:

"Por favor resume a tua ideia sobre ..."

"És capaz de me dizer mais alguma coisa sobre ...?"

"É tudo quanto podes dizer sobre o assunto?"

Como exemplo destas situações pode referir-se o caso do aluno 11-11, na discussão da "Cozedura do ovo" nas questões E48, E51, E57 e E67, e, na discussão da "Reacção entre o cloreto da amónio e a água", o caso dos alunos 11-05 em E62 e 11-17 em E60, a quem é pedido "repete qual é a tua ideia".

(5) Pretendeu-se confirmar o significado dos termos usados, sempre que o seu significado pudesse ser ambíguo, através de questões do tipo:

"És capaz de me dizer o que é que ... significa para ti?"

Por exemplo, o aluno 09-19 na tarefa "Reacção entre o cloreto de amónio e a água" à questão sobre qual a finalidade do vaso de esferovite (E4), o aluno respondeu: "para manter a temperatura" (A4). Como na situação observada a temperatura havia diminuído, a resposta era ambígua e, portanto, foi colocada a questão: "o que é que isso

quer dizer, manter a temperatura?" (E5), ao que o aluno respondeu: "não deixar arrefecer nem aquecer mais o recipiente que lá está" (A5).

(6) As respostas contraditórias por parte do aluno foram exploradas sempre que a autora de tal se apercebeu, no momento.

Por exemplo, durante a discussão da "Reacção entre o cloreto de amónio e a água" com o aluno 09-08, foi evidenciada a ideia de que a temperatura da solução diminuiu por libertação de energia (A20, A28, A30, A31, A34) e como o mesmo aluno havia apresentado resposta contraditória na tarefa anterior, foi-lhe colocada a questão: "mas tu disseste há bocado na reacção entre o sódio e a água que a temperatura aumentou e que tinha havido uma libertação de energia, agora achas que também houve libertação de energia?" (E35). Como o aluno confirmou a ideia anterior (A35), a entrevistadora voltou a insistir, "há sempre libertação de energia quer a temperatura aumente, quer a temperatura diminua?" (E36), e ainda, no mesmo sentido, em E41, E57, E67 e E79. O aluno insistiu na sua ideia da libertação de energia nos dois casos, em A38, A39, A41, A42, A55, A58, A59, A60, A66, A71, A74, A79.

O que se passou com este aluno ilustra bem, por um lado a tentativa da entrevistadora em perseguir ideias do aluno consideradas como estando em contradição, por outro a situação de contradição para a autora, não representa contradição para o aluno, i.e., o aluno acabou por explicar fenómenos opostos (aumento e diminuição da temperatura) por recorrência à mesma causa (libertação de energia).

(7) Sempre que possível foi evitada a utilização de termos químicos pela autora antes da sua introdução pelo aluno visto que se pretendia saber o que o aluno pensava (Renström 1987).

Após o fim da discussão de cada tarefa, e antes de passar à tarefa seguinte, foi perguntado sempre ao aluno se tinha disponibilidade para continuar e se não se importava de o fazer. Em todos os casos foi feita uma pequena pausa para descanso.

c) Na terceira fase, o "Fecho", a entrevistadora agradeceu ao aluno a colaboração prestada e colocou-se à sua disposição para discutir aspectos que mais tivessem despertado a sua curiosidade. Todos eles revelaram interesse em conhecer explicações a algumas das questões levantadas, tendo-se-lhes respondido.

3.8.2 - Condução da entrevista por aluno - - alguns dados

Na tabela 3.15 indicam-se os valores médios por aluno, número de interpelações e tempo, obtidos para cada um dos anos de escolaridade.

Tabela 3.15 - Número médio de interpelações por aluno para cada tarefa, e tempo médio consumido por entrevista, para cada um dos anos de escolaridade, no estudo principal

Ano de Escolaridade	Nº médio de interpelações/Tarefa e Total						Tempo médio da entrevista (em min) (a)
	1	2	3	4	Final	Total	
9º	102	78	70	63	32	345	90
11º	92	67	63	60	26	308	93
9º+11º	97	72	66	62	29	326	92

(a) O tempo registado diz respeito apenas ao tempo nos diálogos entrevistadora-aluno; não inclui, portanto, o tempo consumido na demonstração das tarefas.

Dos dados da tabela 3.15 pode dizer-se que, em média, a duração das entrevistas foi aproximadamente a mesma para os alunos dos dois níveis escolares. No entanto, os alunos do 9º ano foram solicitados a responder por mais vezes (12% a mais, em média).

A "Cozedura do ovo" foi a tarefa que, em média, demorou mais tempo aos alunos. São duas as principais razões que podem apontar-se para isso:

(1) era a primeira tarefa e o aluno não estava familiarizado com a técnica da entrevista, pelo que necessitou de maior número de questões para adquirir confiança e incentivo para explicitar as suas ideias;

(2) a tarefa em si englobava ainda uma segunda experiência, "clara de ovo mais ácido sulfúrico" (subsecção 3.5.2.1).

3.9 - OBTENÇÃO DOS PROTOCOLOS ESCRITOS

Todas as entrevistas realizadas foram passadas ao formato escrito, para permitir uma análise mais cuidadosa.

3.9.1 - Limitações da transcrição

É reconhecida a diferença existente entre aquilo que é escrito para ser lido, caso da expressão escrita, e aquilo que é escrito pretendendo traduzir o que deveria ser ouvido. Quando se lê a transcrição de uma conversa oral ela pode parecer não familiar e causar dúvidas sobre onde fazer incidir a atenção. Para reduzir tal inconveniente tem de haver, na transcrição, a preocupação de ela ser tão fiel quanto possível ao original, a conversa oral. Além disso, o registo magnético de uma conversa será menos informativo do que a gravação em vídeo. Transcrever e anotar tudo quanto foi transmitido pelo orador é tarefa completamente impossível (Martin et al. 1976, p.10, 20 e 21). Mesmo no caso mais simples em que existe apenas um indivíduo a falar, e a fazê-lo claramente, permanece sempre o problema de como traduzir o ênfase posto nas palavras, os gestos, a acentuação e as pausas. Estes aspectos, cada um por si, e todos em conjunto, poderiam dar um contributo adicional importante para o estabelecimento do significado das palavras escritas.

Não sendo nenhuma transcrição capaz de representar todas as componentes da linguagem oral, qualquer uma delas será uma interpretação do transcritor sobre a

gravação sonora (Watts, Harrison and Gilbert 1982). Assim, a transcrição da gravação pelo próprio entrevistador, como aconteceu no presente estudo, pretendeu assegurar que a correspondência entre os dois formatos da linguagem foi a máxima possível.

3.9.2 - Critérios e convenções utilizadas

O modelo utilizado para fazer a transcrição baseou-se nos critérios indicados a seguir.

(1) Escrita das palavras ditas pela mesma ordem e de modo tão aproximado quanto foi possível fazê-lo, com vista a reflectir o discurso natural. Por isso, a utilização dos sinais de pontuação foi reduzida apenas aos casos em que pareceu necessário desfazer ambiguidades (ver tabela 3.16).

(2) Identificação do maior número possível de palavras e sons pelo que nos casos de não legibilidade imediata, o extracto de gravação foi ouvido o número repetido de vezes até isso ser conseguido; nas situações de maior dificuldade pediu-se a colaboração de outras pessoas para identificar o som registado. Apesar destes esforços alguns extractos permaneceram ilegíveis e foram anotados como tal (ver tabela 3.16).

As convenções utilizadas na transcrição são as indicadas na tabela 3.16 e tiveram por base as propostas de Watts et al. (1982) e Wells (1981).

3.9.3 - Realização da transcrição e codificação

A transcrição de cada gravação foi feita de forma manuscrita, em folhas de papel branco, formato A4, escritas só de um lado, e organizadas em três colunas, a saber: primeira coluna, à esquerda, em branco, com cerca de um terço da largura da página, para anotações e comentários úteis à análise dos extractos; segunda coluna, ao centro, indicando o interlocutor (entrevistadora ou aluno) e o número de ordem da intervenção, nessa tarefa; terceira coluna, à direita, com cerca de dois terços da largura da página, contendo a transcrição propriamente dita do discurso do aluno e da entrevistadora.

Tabela 3.16 - Convenções utilizadas na transcrição das gravações

Descrição do comportamento verbal gravado	Notação utilizada
aluno a falar	A
entrevistadora a falar	E
pausa curta ($t \leq 3$ s)	.
pausa média ($3 \text{ s} < t \leq 6$ s)	. . .
pausa longa ($6 \text{ s} < t \leq 15$ s)
pausa muito longa ($t > 15$ s) ($t =$ valor indicado)
voz mais baixa (o aluno fala "consigo próprio")	\ palavras do aluno /
voz mais alta (por exemplo, apresentação de uma ideia que de repente se tornou clara)	/ palavras do aluno \
questão, pergunta	?
falar em simultâneo	- - -
palavra não identificada	(*)
gagueja	ahm
sinal de que a entrevistadora acompanha o discurso do aluno	uhm
espanto ou entendimento óbvio	!
evitar interpretação ambígua (por exemplo: "não, quero estar aqui" ou "não quero estar aqui")	,
suspiros, risos e outros sinais identificados	(identificação pelo termo)
entrevistadora executa uma tarefa	(faço, adiciono, mostro)
aluno executa uma tarefa identificada	(escreve, desenha, mexe)

Cada protocolo foi codificado tendo em conta o ano de escolaridade do aluno (09 ou 11), a ordem da entrevista dentro de cada ano (01 a 15), a ordem da entrevista no total dos alunos (E01 a E41).

Por exemplo, 09-03-E04 representa:

09 - aluno do 9º ano

03 - 3ª entrevista desse ano

E04 - 4ª entrevista na contagem geral.

Identifica-se um determinado extracto da entrevista escrevendo à frente dos elementos anteriores, A ou E (conforme se trata de fala do aluno ou da entrevistadora) seguido do número de ordem da intervenção, na tarefa. Por exemplo, A11 (Combustão do papel) representa a intervenção nº 11 do aluno, na discussão sobre a "Combustão do papel".

Os protocolos escritos dos 30 alunos constituíram um conjunto de base de dados com cerca de dez mil respostas, as quais manuscritas (juntamente com as intervenções da autora) ocuparam cerca de 1800 páginas, e são apresentadas, dactilografadas a 1,5 espaços, em cerca de 1000 páginas, no Apêndice, vol. II.

- CAPÍTULO 4 -

MÉTODO DE ANÁLISE DOS PROTOCOLOS

4.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo pretende-se apresentar o método de análise dos protocolos dos alunos fundamentando a sua escolha e descrevendo, de modo detalhado, o processo da sua utilização. Sempre que considerado relevante para a compreensão do método, incluem-se exemplos ilustrativos.

4.2 - ANÁLISE DE CONTEÚDO

4.2.1 - Importância de uma análise de conteúdo

Uma análise de conteúdo é, por definição, uma tentativa de dar a conhecer algumas percepções dos dados, pelo menos para quem estiver envolvido ou sensibilizado com a investigação (Bliss, Monk and Ogborn 1983, p.193).

Num estudo em que como este se utiliza como técnica de investigação a entrevista clínica, as respostas dos alunos às questões colocadas são o conjunto de comportamentos que constitui o objecto da análise.

Assim, por análise de dados entendem-se aqui os procedimentos que podem usar-se para dar significado aos milhares de frases registadas durante a recolha dos dados. Mais especificamente, "análise de dados" refere-se ao processo que tem como consequência identificar temas e construir hipóteses sugeridas pelos dados e procurar evidências para tais temas e hipóteses (Glaser and Strauss 1967).

O processo de análise do conteúdo assenta em dois aspectos distintos mas articulados, definidos do seguinte modo: (1) reconhecem-se comportamentos, as respostas do aluno; (2) inferem-se as ideias do aluno que se julga estarem na base da exteriorização desses comportamentos.

Pode, portanto, dizer-se que por aplicação de um método de análise do conteúdo das respostas, o investigador constroi conceitos sobre aquilo que julga serem as ideias dos alunos - categorias de resposta. Tais conceitos são os resultados da investigação.

A relação entre os diversos componentes envolvidos na análise do conteúdo, ideias do aluno, comportamentos e resultados, pode ser traduzida, diagramaticamente, conforme se representa na figura 4.1.

Figura 4.1 - Articulação entre ideias do aluno, comportamentos e resultados da análise



4.2.2 - Enquadramento teórico da análise

Com vista a escolher o método de análise de conteúdo a utilizar, há que ter em conta o quadro conceptual, quer de ordem teórica, quer de ordem metodológica, onde se pretende inserir a análise. São três os aspectos que importa considerar:

- (1) a perspectiva teórica adoptada na investigação;
- (2) a finalidade da análise;
- (3) os padrões de avaliação dessa análise (Ogborn and Weil-Barais 1984).

Quanto à perspectiva teórica da análise, os dados podem ser analisados em função de padrões e critérios previamente definidos (por exemplo, teorias piagetiana ou de processamento de informação) – perspectiva nomotética, ou a análise pode ser conduzida segundo padrões e critérios dos próprios alunos, isto é, o analista tenta ver as coisas como o outro, o sujeito da investigação, as vê – perspectiva ideográfica (Driver and Easley 1978), tal como nesta investigação.

A importância do segundo aspecto mencionado, a finalidade da análise, resulta de os mesmos dados poderem servir para executar análises totalmente distintas. Por exemplo, uma discussão sobre uma situação experimental pode ser analisada em relação aos conceitos envolvidos, em relação às interacções entre os sujeitos participantes (aspectos socio-pedagógicos), ou em relação aos planos de execução propostos, entre outras possibilidades. É pois necessário definir qual a finalidade da análise em articulação com as questões de investigação previamente estabelecidas.

O terceiro aspecto, os padrões de avaliação, é certamente o mais problemático. Com efeito, qualquer análise deve ser clara, completa, relevante e fiel. A clareza é uma noção do tipo circular, já que uma definição depende sempre de um modelo de interpretação aceite (Harré 1970, citado por Ogborn and Weil-Barais 1984). Ser completa é uma exigência de qualquer análise. É pois necessário garantir que os

aspectos dos dados que eventualmente não foram tomados em conta na análise não são pertinentes, por exemplo, através de reinspecções minuciosas. A relevância (validade) é difícil de testar; ela depende da aceitabilidade dos resultados quer por outros investigadores que tratam problemas semelhantes, quer pelos seus potenciais utilizadores. A fidelidade ("reliability") duma análise depende da sua capacidade de poder ser repetida levando aos mesmos resultados. Um segundo analista só deverá poder comparar os seus resultados com os de um primeiro apenas se tiver usado o mesmo método de análise. Deste modo a fidelidade está relacionada com a extensão em que a análise explicita operacionalmente os seus princípios de actuação (Ogborn and Weil-Barais 1984), i.e., a possibilidade que ela apresenta de ser comunicada, e depende da acessibilidade aos próprios dados.

Na secção 4.5 discutir-se-á mais detalhadamente as questões relativas à validade e fidelidade dos resultados.

4.3 - ESCOLHA DO MÉTODO DE ANÁLISE DO CONTEÚDO

4.3.1 - Fundamentação da escolha do método

A análise dos dados de uma investigação do tipo qualitativo é altamente complicada e tem sido tema polémico entre diversos autores (Smith 1987). Com efeito, para além da diferente perspectiva teórica adoptada pelos investigadores, as técnicas de recolha dos dados são diversificadas, levantando cada uma delas problemas específicos, e exigindo métodos de análise de conteúdo próprios mas sobre os quais não existe ainda consenso, quer no que respeita ao processo de identificar o conhecimento de um indivíduo a partir de um extracto oral ou escrito, quer de o representar.

Esta situação é bem diferente daquela que se verifica nas ciências experimentais, as quais, segundo Kuhn (1970) se encontram num período de "ciência normal",

portanto com carácter paradigmático estabelecido. Nesta perspectiva kuhniana a investigação educacional situa-se num estágio pré-paradigmático, i.e., de competição entre teorias.

Não existindo, portanto, *o método* de análise do conteúdo, pode falar-se em "métodos" de análises. Entre os mais utilizados destacam-se:

(1) o método das redes estruturais de Lindsay e Norman (1977) e Rumelhart e Norman (1975);

(2) o método da análise diagráfica de textos de Maskill e Pereira (1980);

(3) o método da análise por redes baseada na linguística sistémica de Bliss e Ogborn (1979) e usado, por exemplo, para estudar modos de resolução de problemas;

(4) o método adoptado por Pines et al. (1978) e Stewart e van Kirk (1981) a partir do método de Rumelhart e Norman (1975);

(5) o método dos "inventários conceptuais", categorias de resposta, i.e., de aspectos do conhecimento revelados pelo aluno durante a resolução de uma dada situação-problema, desenvolvido por Erickson (1979; 1981).

O método proposto por Erickson (1979) foi considerado o mais adequado para a presente investigação pelas seguintes razões:

(1) está em acordo com a natureza ideográfica do estudo;

(2) é aquele que melhor respeita o nível pragmático da linguagem natural usualmente reconhecido como desempenhando um papel chave na comunicação verbal (van Dijk 1977, citado por Cachapuz 1984);

(3) não utiliza a redução do discurso natural ao formato proposicional, como acontece geralmente nos métodos envolvendo redes, processo que levanta várias questões de validade sobre a interpretação do significado das verbalizações do aluno (Posner and Gertzog 1982; Hashweh 1988);

(4) é um método essencialmente descritivo e tem, por isso, relativamente a outros métodos, a vantagem de serem mínimos o número e a extensão dos passos inferenciais;

(5) é aquele que apresenta maior facilidade de aplicação pelos professores dado não exigir tratamento sofisticado;

(6) tem sido utilizado em diferentes áreas conceptuais produzindo resultados consistentes, por exemplo, em temas de Física e Química (Erickson 1979, 1981; Boulton 1982; Cachapuz 1984; Hewson and Hamlyn 1984; Hewson 1986).

4.3.2 - Descrição do método de análise do conteúdo

A utilização do método de análise escolhido implica que sejam perfeitamente definidos os temas do conteúdo sobre os quais se pretende conhecer as ideias do aluno. Com vista a tal definição procedeu-se a uma análise lógica dos programas de Química do 8^o ao 11^o anos de escolaridade, quanto aos aspectos com relevância para o tema "Energia nas reacções químicas". A partir de uma lista de temas construíram-se duas categorias de conteúdo: a componente estrutural e a componente energética (ver secção 3.6).

Investigações sobre ideias dos alunos utilizando métodos de análise que organizam os resultados em torno de tópicos específicos de conteúdo têm tido grande repercussão nos últimos anos. Por exemplo, na última década e no âmbito da Química e da Física destacam-se trabalhos sobre constituição da matéria (Brook et al. 1984), reacções químicas (Driver 1985; Méheut et al. 1985; Andersson 1986b), calor e temperatura (Erickson 1979; Erickson 1980; Tiberghien 1984a; Engel Clough and Driver 1985; Erickson 1985), energia (Stead 1980; Duit 1981; Watts 1983; Brook and Driver 1984), luz (Andersson and Karrqvist 1983; Guesne 1985), circuitos eléctricos

(Shipstone 1985), dinâmica (Clement 1982; Gilbert, Watts and Osborne 1982) e estado gasoso (Séré 1985; 1986).

Tem-se verificado que a organização dos resultados relativamente a tópicos curriculares, reforça a sua aceitabilidade por parte dos professores, seus potenciais utilizadores. Daí o impacto de métodos de análise que, como neste estudo, tal propicia.

O método de análise do conteúdo utilizado nesta investigação, baseado no método proposto por Erickson (1979), consta de três fases que a seguir se descrevem: (1) aceitabilidade da argumentação usada pelo aluno como uma explicação; (2) classificação dos argumentos por categorias de conteúdo; (3) inferência das ideias dos alunos.

Na primeira fase do método de análise, cada um dos protocolos escritos é lido atentamente com vista a identificar os extractos que de algum modo podem ser considerados como sendo uma tentativa de explicação, por parte do aluno, da situação-problema apresentada, nomeadamente, a explicitação de palavras-chave (por exemplo, nomes de conceitos químicos) e a utilização da conjunção "porque". Respostas do tipo "não tenho bem a certeza" ou a ela redutíveis não foram aceites como tentativa de explicação.

Neste estudo só foram aceites como explicação argumentos que, posteriormente e na mesma tarefa, não foram refutados pelo aluno. Também os alunos que evidenciaram ideias contraditórias sem se terem decidido, justificadamente, por uma delas, foram classificados em "Não identificadas". Está neste caso, por exemplo, o aluno 11-13 quando se pronuncia sobre as razões para as diferenças entre o ovo cru e o ovo cozido. Começa por considerar que nos dois ovos, as moléculas constituintes são iguais (A24); no entanto os átomos são diferentes na disposição dos electrões (A30) e, sendo assim, as moléculas serão diferentes (A31). Mais adiante admite que as substâncias são iguais no ovo cru e no ovo cozido (A42), embora as moléculas sejam diferentes (A44). Reconsidera então que sendo as moléculas diferentes as substâncias também terão de ser

diferentes (A45) e as moléculas serão diferentes por ter havido alteração nos átomos, na posição dos electrões (A48). Não existe pois evidência clara sobre a ideia do aluno quanto à constituição, idêntica ou diferente, dos dois ovos, nem como é que a disposição dos electrões no átomo, altera as respectivas moléculas.

Na segunda fase, os extractos seleccionados são listados usando uma linguagem tão próxima quanto possível da utilizada pelo aluno e são então agrupados de acordo com as categorias de conteúdo previamente definidas, sem no entanto implicar, em tal classificação, que se entre no significado profundo do discurso. Estes extractos constituem as unidades de análise sobre as quais incide a terceira fase.

Na terceira fase, a fase inferencial por excelência, constroem-se as categorias de resposta para cada categoria de conteúdo, a partir dos atributos que distinguem a interpretação apresentada da resposta adequada. Por categoria de resposta entende-se a representação das ideias de mais de um aluno, elaboradas durante a entrevista, relativamente a um dado conteúdo científico e julgadas equivalentes por os comportamentos evidenciados serem considerados semelhantes. As categorias de resposta não são pois individualizadas e representam uma interpretação das ideias dos alunos, a um nível mais geral do que o da resposta individual (Gilbert and Watts 1983). Na secção seguinte far-se-á referência detalhada ao processo de construção das categorias de resposta.

4.3.3 - Limitações do método de análise

Apesar da grande aceitabilidade do método de Erickson por diversos autores, são-lhe reconhecidas limitações, umas relativas ao seu carácter indutivo, outras inerentes à técnica utilizada na recolha dos dados.

No primeiro tipo de limitações destaca-se: (1) a construção das categorias de resposta é discutível devido às ideias do analista desempenharem um papel fundamental na interpretação dos dados; (2) o êxito da análise depende da capacidade do analista em reter tanta informação quanto possível sobre as respostas de cada um dos alunos, com vista à sua comparação constante; (3) não é claro o nível de análise semântica apropriado à análise.

No segundo tipo de limitações salienta-se: (4) a conversação é de natureza subjectiva no sentido de depender da percepção de cada um dos intervenientes sobre aquilo de que conversam ("subjectiva" não é aqui entendido no sentido do analista projectar as suas próprias ideias sobre os intervenientes na conversação (Spector 1984)); (5) a entrevista pode funcionar ela própria como uma situação de aprendizagem para o aluno ainda que o investigador tenha a preocupação de não fornecer pistas. Com efeito, a evolução da própria entrevista implica que a resposta espontânea se vá reestruturando.

4.4 - CONSTRUÇÃO DAS CATEGORIAS DE RESPOSTA

4.4.1 - Modelo de trabalho utilizado

O processo de construção das Categorias de Resposta (CR) (terceira fase do método de análise do conteúdo) é um processo indutivo que tem por base unicamente os dados extraídos dos protocolos. Pretende-se, através da análise, conhecer a natureza das ideias dos alunos relativamente aos temas definidos para o estudo (ver secção 3.6). O

objectivo da análise é pois desenvolver descrições das ideias dos alunos - categorias de resposta (CR) - que sejam suficientemente esclarecedoras de diferenças individuais, mas não tão especificamente diferenciadas que tenhamos tantos modelos interpretativos quantos os alunos envolvidos no estudo. Por esta razão torna-se importante estabelecer qual o nível julgado mais adequado para análise do conteúdo (ver secção 4.6).

Os pressupostos tomados como base da análise do conteúdo dos protocolos foram os seguintes:

(1) as expressões usadas pelo aluno representam de um modo substancial as suas ideias (apesar da questão levantada por alguns investigadores sobre a consciência de cada indivíduo sobre as próprias ideias (Nisbett and Wilson 1977));

(2) o aluno é sincero no que diz, i.e., procura traduzir aquilo que pensa do modo que melhor é capaz de fazer (recorda-se que a participação foi voluntária);

(3) tudo quanto o aluno diz é, à partida, igualmente relevante para a análise, não sendo portanto como princípio ignoradas quaisquer passagens;

(4) para a mesma categoria de conteúdo de cada tarefa as categorias de resposta construídas representam modos de compreensão qualitativamente diferentes.

Sendo a análise baseada exclusivamente nos dados, importa destacar que a não resposta não significa que o aluno não sabe, mas apenas que não disse qual era a sua ideia (Pines 1980). Esta situação é completamente distinta daqueles alunos que dão uma resposta do tipo "não sei".

A nível operacional é necessário especificar (1) a natureza dos procedimentos usados para interpretar as respostas e (2) os critérios utilizados para formar as categorias de resposta.

Os procedimentos usados na interpretação das respostas foram de natureza linguística, relacionados com o significado das palavras, expressões e frases,

permitindo tomar uma decisão entre várias alternativas semânticas possíveis, recorrendo por vezes a partes diferentes do protocolo. Admite-se nesta análise que as palavras, expressões e frases são usadas com o significado próprio do contexto em que aparecem. Tal significa que a análise linguística não foi feita do ponto de vista terminológico. Com efeito, a conversação natural é polissistémica, ou seja, a sua coerência, e portanto o seu significado, depende de vários tipos de mecanismos como a repetição, a sincronização e a estrutura de base relacionando sequências de partes do discurso (Stubbs 1984, p. 19). Aspectos de tipo fonético, por exemplo, gaguejos, risos e extensão das pausas não tiveram utilização na análise. A sua inclusão nos protocolos escritos teve como objectivo criar ao leitor uma situação tão próxima quanto possível da situação de entrevista.

Os procedimentos utilizados foram, essencialmente, os seguintes:

(i) Procedeu-se a reinspecções sucessivas dos protocolos e em ocasiões diferentes. Por exemplo, repetiu-se a análise dos dados para uma tarefa depois de se ter analisado outra, alguns meses depois.

(ii) Procurou-se confirmação da ideia do aluno em diferentes segmentos do protocolo, quando foi possível fazê-lo. Pesquisou-se atentamente todo o protocolo com vista a identificar extractos que pudessem ser tomados consistentemente como evidência de ideias contraditórias à inferida.

Tomou-se em consideração,

(iii) a questão colocada, desencadeadora da resposta (ou seja, se a questão colocada ao aluno pretendia obter resposta sobre um determinado aspecto da transformação em discussão, a resposta do aluno representava a ideia que, naquele momento, ele tinha sobre esse mesmo assunto);

(iv) o contexto em que decorreu (foi apresentada) a tarefa, nomeadamente as condições experimentais usadas;

(v) a articulação com os atributos da resposta adequada;

(vi) o conhecimento da autora sobre os currículos dos alunos e sobre processos usados na instrução (práticas de ensino) a que, provavelmente, terão sido expostos e ainda resultados de investigação.

Seguidamente exemplifica-se o último procedimento referido para o caso da "Reacção entre o sódio e a água", relativamente à CR "Difusão" identificada para a componente estrutural, com extractos do protocolo do aluno 11-17. A ideia que provavelmente terá guiado os alunos nesta CR é de que a transformação observada é do tipo de dissolução do sódio na água, segundo o modelo explicativo oriundo do 2º ciclo do Ensino Básico, atribuindo à matéria natureza corpuscular e diferente grau de agregação consoante o seu estado físico:

"... aquele pedacinho de sódio é constituído por muitas moléculas de sódio ... e estão muito ligadas umas às outras ... acho que as moléculas de sódio ao entrarem em contacto com a água são obrigadas a mudarem a sua estrutura, a ter mais espaços entre si ... enquanto que a água talvez não se altere ... o sódio como ficou com espaços entre si muda para o estado líquido, e dissolvem-se nas moléculas da água ... quando passam ao estado líquido (as moléculas de sódio) em vez de estarem mais chegadas umas às outras ficam com mais espaços entre si de maneira que se podem ... esconder entre as da água, misturarem-se ..." [Aluno 11-17: A24, A26, A27, A28, A29]

Para este aluno, além de uma explicação da reacção por dissolução do sólido no líquido existe ainda evidência de que a dissolução é a mistura de dois líquidos, isto é, o sólido passa a líquido primeiro (não sabe explicar porquê) e depois os dois líquidos podem misturar-se. Se o aluno imagina que as moléculas de sódio se afastam, então quando estão afastadas o sódio está, obviamente, no estado líquido.

Quanto aos critérios utilizados para formar as categorias de resposta há que enquadrá-los de forma articulada com os dois princípios da análise: (1) a contínua comparação e (2) a saturação (Spector 1984).

Por contínua comparação entende-se a reflexão que é feita sobre os dados com vista à caracterização das ideias inferidas e inclusão num tipo de ideias, CR, já identificado ou então construção de uma categoria de resposta diferente.

A aplicação deste princípio – contínua comparação – quer entre as respostas dos alunos classificadas na mesma, quer em diferentes categorias de resposta tem como finalidade aprofundar a análise do conteúdo das respostas, em particular quanto ao grau de elaboração dessa análise e quanto à consistência dos atributos definicionais de cada CR.

Quando após reinspecções sucessivas dos protocolos escritos e comparação constante entre eles deixa de se obter informações pertinentes, as categorias de resposta consideram-se saturadas – princípio da saturação – e o processo de análise é dado por terminado.

Para cada uma das tarefas analisaram-se os protocolos de cada aluno, procurando-se identificar e caracterizar as ideias correspondentes relativas aos aspectos de conteúdo estabelecidos.

Note-se que o processo de análise do conteúdo dos dados colhidos para este estudo foi muito moroso e difícil, e, nalguns casos, verificaram-se situações de fronteira entre duas categorias de resposta, os quais serão assinalados oportunamente.

A ordem das tarefas para efeito de análise do conteúdo foi estabelecida por sorteio, tendo resultado a seguinte ordenação: "Combustão do papel", "Reacção entre o cloreto de amónio e a água", "Reacção entre o sódio e a água" e "Cozedura do ovo".

4.4.1.1 - Caso da 1ª tarefa

Começou-se então pela "Combustão do papel" e analisaram-se as respostas dos 30 alunos seleccionados (ver secção 3.3.1) em três etapas sequenciais a fim de permitir uma melhor gestão do método de análise.

(1) Seleccionaram-se ao acaso 10 alunos (5 do 9º ano e 5 do 11º ano), leram-se atentamente os protocolos e anotaram-se as expressões consideradas como argumentos explicativos, esboçaram-se as ideias de cada aluno que pareceram mais salientes através dos argumentos, fez-se um resumo de cada protocolo usando tanto quanto possível as

palavras do aluno e definiram-se, provisoriamente, categorias de resposta relativas a cada categoria de conteúdo.

(2) Seleccionaram-se ao acaso mais 10 alunos, distribuídos igualmente pelo 9º e 11º anos, e procedeu-se de modo idêntico ao da primeira etapa. A classificação das ideias dos alunos por categorias de resposta neste caso teve em conta o princípio da contínua comparação, incluindo portanto a classificação que já tinha sido esboçada anteriormente.

Este procedimento levou a nova reorganização das ideias identificadas para os 20 alunos, para cada tipo de categoria de conteúdo.

(3) Finalmente analisaram-se os protocolos dos restantes 10 alunos, do mesmo modo, mas tendo em conta na contínua comparação as ideias já identificadas para os 20 alunos anteriores. Nenhum protocolo foi desprezado.

Ilustra-se a seguir, como exemplo, a última reorganização das categorias de resposta construídas para a componente energética da "Combustão do papel".

Inicialmente tinham sido definidas 10 categorias de resposta. Por reflexão cuidada sobre a sua definição e comparação entre elas, procedeu-se à sua reformulação em quatro, por quatro razões principais:

- (1) algumas das categorias de resposta discriminadas eram argumentos de outras;
- (2) existiam ideias idênticas com nomes diferentes;
- (3) havia ideias que não tinham a ver com o que se procurava identificar;
- (4) algumas ideias eram pertinentes mas estavam subjacentes a várias CR e, por isso, eram mais abrangentes.

Situações deste tipo também foram encontradas em tarefas seguintes.

4.4.1.2 - Caso da 2ª tarefa e seguintes

A segunda tarefa analisada foi a "Reacção entre o cloreto de amónio e a água", procedendo-se do seguinte modo:

(1) Seleccionaram-se 10 alunos (5 do 9º ano e 5 do 11º ano) obedecendo aos critérios: (i) terem apresentado comportamentos classificados sem dúvidas para a tarefa "Combustão do papel"; (ii) terem apresentado ideias diferentes nessa tarefa;

(2) Os procedimentos seguintes foram idênticos aos referidos nas etapas (2) e (3) para a tarefa já analisada.

Na terceira e quarta tarefas repetiu-se o procedimento usado na segunda só que os alunos seleccionados para a etapa (1) foram aqueles que satisfizeram as condições indicadas para o conjunto das tarefas já analisadas.

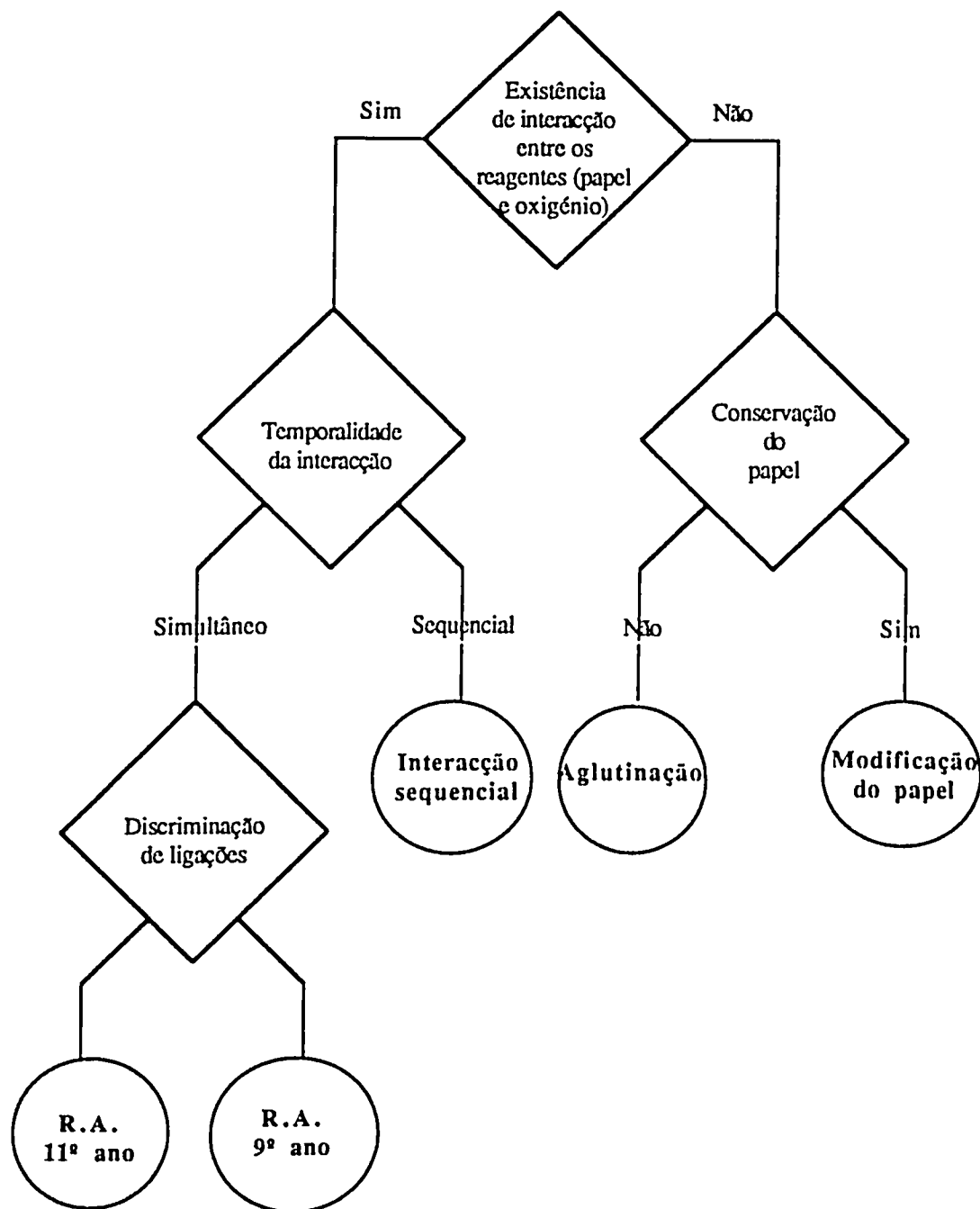
Este procedimento baseou-se no pressuposto de que os alunos que evidenciaram ideias mais bem definidas numa(s) tarefa(s) seriam aqueles que também o fariam na(s) tarefa(s) seguinte(s).

4.4.1.3 - Mapas de atributos

O processo de construção das categorias de resposta descrito, foi acompanhado da elaboração de diagramas explicitando atributos criteriais de cada CR, i.e., mapas de atributos. Tais mapas tiveram, sobretudo, como utilidade facilitar a organização das ideias da autora sobre as ideias dos alunos, nomeadamente procurar mais facilmente pontos de semelhança e de discrepância entre as ideias destes (categorias de resposta), relativamente aos atributos criteriais. O uso desta técnica metacognitiva revelou-se pois de grande utilidade no processo de análise do conteúdo. Depois de definidas as categorias de resposta, os mapas de atributos perderam parte do seu interesse heurístico. Por esse motivo apresenta-se apenas a título exemplificativo, figura 4.2, o mapa elaborado para a tarefa "Combustão do papel", no que diz respeito à componente estrutural. A sua configuração não pretende reflectir nenhuma sequência conceptual obrigatória. Trata-se apenas de uma organização lógica.

Indica-se a seguir o significado dos atributos criteriais das categorias de resposta, conforme são referidos no mapa, figura 4.2.

Figura 4.2 - Mapa de atributos para a componente estrutural relativa à "Combustão do papel": articulação entre categorias de resposta obtidas e respostas adequadas (R.A.); os atributos criteriosiais são assinalados nos losangos



(i) "Existência de interação entre os reagentes" significa modificação de ligações químicas nos reagentes e consequente não-conservação das substâncias nos reagentes,

neste caso, o papel e o oxigénio. Não existência de interacção significa, portanto, conservação de pelo menos um dos reagentes (neste caso foi o oxigénio).

(ii) "Temporalidade da interacção" significa a conjugação no tempo da transformação dos reagentes e a formação dos produtos da reacção. Tais processos podem ser vistos como simultâneos (conforme previsto nas respostas adequadas, ver secção 4.6) ou como sequenciais, i.e., primeiro há destruição dos reagentes e posteriormente há formação de novas substâncias.

(iii) "Discriminação de ligações" diz respeito à indicação de ligações químicas nos reagentes as quais são destruídas durante a transformação. A situação de "não discriminação de ligações" refere-se à interpretação do processo de formação dos produtos apenas em termos de redistribuição de átomos existentes no papel e no oxigénio.

(iv) "Conservação do papel" significa a interpretação da combustão em termos de não alteração estrutural das unidades constituintes do papel. A situação contrária, não-conservação, traduz a ideia de modificação de unidades estruturais do papel.

4.4.2 - Um exemplo

Pretende-se agora ilustrar o modo como a partir das respostas dos alunos, se inferiram as suas ideias e se construiu uma categoria de resposta.

O caso escolhido para ilustrar os procedimentos é o do aluno 11-17, na tarefa "Combustão do papel" e na componente estrutural (o protocolo completo é apresentado no apêndice, vol. II, págs. 521-524).

Para este caso particular, a aplicação das etapas do método de análise conduziu aos resultados a seguir indicados.

a) Os extractos (perguntas e respostas) considerados como podendo reflectir ideias relativas à componente estrutural são os codificados por: E4 e A4, E6 a A25, E31 a A37 (ver no Anexo I o protocolo completo com anotações da autora na margem esquerda).

b) As ideias inferidas a partir da leitura desses extractos são: (i) não sabe o que acontece entre o papel e o oxigénio (A16) mas pensa que o oxigénio é indispensável à combustão (A17); (ii) o oxigénio transforma-se em dióxido de carbono (A18) por associação com carbono (A20) que deve estar no papel (A21, A24); (iii) com o calor fornecido pelo fósforo ao papel os átomos de carbono excitam-se (A31, A33) e associam-se depois com as moléculas de oxigénio formando o dióxido de carbono (A34, A36).

c) A ideia é de não existência de interacção entre os reagentes, o papel e o oxigénio. Com efeito, o processo da combustão é iniciado por acção do fósforo sobre o papel, e o oxigénio só intervém posteriormente, talvez para justificar a formação do dióxido de carbono. Não existem evidências sobre qualquer modificação do oxigénio; ele apenas se liga com o carbono. O envolvimento dos reagentes no processo é pois diferente: o papel modifica-se, por excitação dos átomos de carbono, enquanto o oxigénio, após essa excitação no papel, apenas se associa a esses átomos.

Os atributos que distinguem estas ideias da resposta adequada para a explicação do processo de formação do dióxido de carbono são a não-interacção entre os reagentes por conservação do oxigénio e a sequencialidade do processo (primeiro há modificação de reagentes e só depois há formação de novas substâncias).

d) A categoria de resposta construída a partir de ideias inferidas do tipo das indicadas para o aluno 11-17, é designada por "Aglutinação", e é definida do seguinte modo: "as unidades estruturais de um dos reagentes, as moléculas de oxigénio,

"juntam-se" com os átomos de carbono previamente separados do papel para formar o dióxido de carbono".

4.5 - FIDELIDADE E VALIDADE DOS RESULTADOS

A fidelidade e a validade dos resultados são aspectos que importa garantir em qualquer análise de dados, e embora tal questão tivesse começado por aparecer em estudos de natureza quantitativa, ela é uma preocupação crescente na pesquisa qualitativa (Goetz and LeCompte 1984; Kirk and Miller 1986; Smith 1987). A discussão relativa a estes conceitos é polémica porque existe divergência entre os autores quanto às próprias definições dos conceitos. É pouco claro a maioria das vezes saber-se exactamente o que está em causa, num determinado estudo, quando se fala em fidelidade e validade (Hammersley 1987).

Como exemplo de situações deste tipo podem citar-se:

(1) Fidelidade é o acordo entre duas tentativas de medir a mesma característica por métodos o mais semelhantes possível. Validade é representada pelo acordo entre duas tentativas de medir a mesma característica por métodos o mais diferentes possível (Campbell and Fiske 1967, p. 277, citado por Hammersley 1987).

(2) A validade de um instrumento de medição é definida como a propriedade duma medida que permite ao investigador dizer que o instrumento mede aquilo que ele diz estar a medir. A fidelidade de um instrumento de medição é definida como a capacidade do instrumento em medir consistentemente o fenómeno que é previsto medir (Black and Champion 1976, p. 222 e 234, citado por Hammersley 1987).

(3) A fidelidade refere-se à reprodutibilidade das medições. Se se estiverem a comparar medições feitas pelo mesmo observador, trata-se da fidelidade intra-observador. Se se compararem medições feitas por diferentes observadores, trata-se da fidelidade inter-observadores. Note-se, no entanto, que um observador pode ser consistente (fidedigno, certo) mas não haver precisão (estabilidade) nos resultados.

A fidelidade intra-observador é pois e apenas uma medida da estabilidade enquanto o rigor afecta a validade. No entanto, o rigor afecta quase certamente a fidelidade inter-observadores. Um critério de rigor pode ser estabelecido usando um observador "perito" ou o consenso de diversos observadores (Lehner 1979, p. 130, citado por Hammersley 1987).

A discrepância entre as definições de validade e de fidelidade situam-se a diferentes níveis.

(a) A fidelidade e a validade relacionam-se com todos os aspectos do estudo ou apenas com o processo de medição? Apesar de muitas definições assumirem a última posição, alguns autores identificam-se com a primeira. Por exemplo, Goode e Hatt (1952, p. 153, citado por Hammersley 1987) identificam a fidelidade com a replicação dos resultados e conclusões, o que, obviamente, envolve mais do que a medição propriamente dita.

No que respeita à validade ela é muitas vezes usada para referir a avaliação da legitimidade dos argumentos à luz dos princípios da investigação.

(b) A fidelidade é vista pela maioria dos autores como uma propriedade dos instrumentos e/ou dos observadores. Quanto à validade ela é cometida aos instrumentos, por vezes aos observadores e algumas vezes aos próprios resultados.

(i) No presente estudo, a fidelidade refere-se à possibilidade de replicação dos resultados e está portanto associada à credibilidade de que os resultados se podem revestir. Segundo Goetz e LeCompte (1984) é possível distinguir duas dimensões para a fidelidade: interna e externa.

A fidelidade interna refere-se à possibilidade de outro investigador usando o mesmo método de análise e a partir dos mesmos dados, poder obter os mesmos resultados (Goetz and LeCompte 1984, p.211). Traduz portanto a concordância de outros investigadores (e, eventualmente, do próprio sujeito da investigação (Spector 1984)) com os resultados obtidos.

A fidelidade externa reveste-se de aspectos bem mais problemáticos e que levantam grande divergência de opiniões. Esta dimensão da fidelidade refere-se à concordância entre resultados obtidos por investigadores distintos utilizando o mesmo método de recolha de dados e de análise (Goetz and LeCompte 1984, p. 210 e 214). As principais questões levantadas prendem-se com a formação, a perspectiva teórica e as condições utilizadas pelos investigadores em confronto.

Numa análise de conteúdo como a que se pretendeu levar a cabo neste estudo, a fidelidade interna é uma questão particularmente delicada já que não existem critérios estabelecidos sobre o modo de seleccionar segmentos de entrevista que possam ser tomados como evidência da ideia do aluno.

No presente estudo os procedimentos utilizados para garantir tanto quanto pareceu possível, tal fidelidade dos resultados foram os que a seguir se indicam.

(1) Todas as ideias identificadas para todas as tarefas foram corroboradas, ou pelo menos não foram consideradas como improváveis, por um investigador desta área de investigação experiente em análise de protocolos. Em todos os casos em que houve discrepância de opiniões sobre as ideias dos alunos, a situação foi reanalisada e foram discutidas as interpretações dadas pelos dois analistas até ser encontrada uma opinião que mereceu o consenso de ambos.

(2) Pediu-se a colaboração de um painel de juízes, duas professoras de Química do ensino secundário, com 9 e 15 anos de experiência profissional (nomeadamente com alunos do 9º e do 11º anos) e reconhecida competência profissional, para avaliar a

adequabilidade das ideias dos alunos, inferidas pela autora, a partir de seus comportamentos (extractos de protocolos) (ver Anexo II). Dada a extensão do estudo este procedimento foi conduzido apenas para uma tarefa, sorteada ao acaso ("Reacção entre o cloreto de amónio e a água"). Segundo informação das próprias juízes a tarefa demorou, a cada uma, entre 12 e 15 horas.

Para a tarefa seleccionada as duas juízes analisaram os protocolos de todos os alunos envolvidos no estudo. De cada um dos protocolos foram fornecidos extractos considerados pela autora como evidência das ideias inferidas (CR) em que tinham sido classificados os alunos, bem como protocolos completos.

A tarefa foi pedida sem limite de tempo, e foram prontificadas todas as informações consideradas relevantes.

Nenhuma das juízes discordou de qualquer classificação de ideias feita, nem que os extractos fornecidos pudessem não servir de evidência a tais ideias. Nalguns dos casos particularmente problemáticos quanto à classificação e assinalados como tal pela autora, ideias "não identificadas", e sobre os quais era pedida especial atenção, a dúvida sobre a suficiência da evidência persistiu para as juízes.

(ii) A validade dos resultados tem a ver com duas questões. Em primeiro lugar, em que medida é que os investigadores observam ou medem aquilo que eles pensam que estão a observar ou a medir? Este é um problema de validade interna (Goetz and LeCompte 1984, p. 210 e 221). Em segundo lugar, em que medida os resultados obtidos são partilhados por outros sujeitos não envolvidos no estudo? Garantir isto é falar de validade externa (Goetz and LeCompte 1984, p. 210 e 221).

O problema principal de uma medição, considerando aqui o termo "medição" no seu sentido lato, é o de que geralmente não existe acesso directo à propriedade que se pretende medir e, portanto, torna-se absolutamente impossível conhecer a validade dos resultados. Aliás se houvesse acesso directo deixaria de ser necessário o instrumento de medição (Hammersley 1987).

No presente estudo, cuja finalidade era caracterizar as ideias dos alunos às quais não existe acesso directo, o método de análise de conteúdo seguido tem sido considerado como capaz de dar respostas ainda não postas em causa por outros métodos. No entanto, há procedimentos que devem ser tomados em conta com vista a assegurar a validade interna (validade metodológica) de um estudo utilizando a técnica da entrevista clínica e analisando os dados pelo método que foi descrito (Pines et al. 1978). Entre os procedimentos que mereceram especial atenção, destacam-se:

(1) Assegurar-se sobre a experiência do entrevistador para conduzir entrevistas clínicas (é necessário portanto fazer ensaios preliminares e reflectir sobre essas experiências; ver secções 3.4 e 3.5).

(2) Organizar as tarefas a utilizar no estudo consistentemente com os objectivos e as questões de investigação previamente definidas (ver secção 3.5 e capítulo 1);

(3) Garantir que as respostas do aluno são imparciais (uma possibilidade é apresentar aos alunos as razões do interesse do estudo, pedir colaboração voluntária e aceitar a participação do aluno quando ele se mostrar disponível para tal (ver secção 3.3).

(4) Garantir que os dados utilizados no estudo correspondem a tudo quanto o aluno disse, na forma em que o fez, e ainda que ele referiu tudo quanto no momento considerou relevante (para isso utilizar a técnica de gravação e, por exemplo, pedir resumos e colocar questões do tipo "É tudo quanto podes dizer?", "Há mais alguma coisa que queiras dizer?" (ver secção 3.7).

A validade externa (validade educacional) tem a ver, no presente estudo, com a relevância que os resultados podem, eventualmente, assumir quer para educadores quer para outros investigadores (saliente-se que não são ainda conhecidos trabalhos de investigação sobre ideias dos alunos quanto aos aspectos energéticos das reacções

químicas). Os procedimentos utilizados para maximizar a validade educacional dos resultados, inserem-se na óptica educacional corrente e foram os seguintes:

(1) Seleccionar tarefas (instrumentos de investigação) adaptados aos aspectos curriculares sobre os quais se pretendia conhecer as ideias dos alunos. A selecção das tarefas usadas foi validada quer do ponto de vista lógico, quer empiricamente (ver secção 3.4).

(2) Validar, pela professora aos alunos, a utilidade das categorias de conteúdo estabelecidas para a análise do conteúdo das respostas.

(3) Validar, pela professora aos alunos, as respostas adequadas previstas para todas as tarefas, definidas com vista a estabelecer os atributos definicionais relativamente aos quais se procuravam conhecer as ideias dos alunos.

4.6 - RESPOSTAS ADEQUADAS

4.6.1 - Significado da resposta adequada e interesse metodológico

Dados os objectivos do estudo definidos e as questões postas no capítulo 1, a análise das respostas dos alunos deve ter em conta o nível esperado de elaboração do conteúdo, no pressuposto de que houve aprendizagem. Sendo assim, torna-se relevante definir qual a resposta adequada (R.A.) para cada tarefa e para cada um dos anos de escolaridade. O nível de elaboração do conteúdo de tais respostas adequadas define, por si, o nível da análise a efectuar. Com efeito, analisando as R.Á. dos alunos para cada uma das tarefas, e relativamente a cada uma das categorias de conteúdo definidas, pode indicar-se quais os principais atributos definicionais nelas incluídos.

Por atributos definicionais entendem-se os conceitos que num contexto químico, e ao nível de estudos aqui considerado, suportam cada uma das respostas adequadas previstas.

O interesse da discriminação dos atributos definicionais das R.A. situa-se em dois níveis:

(1) permite explicitar tanto quanto possível os aspectos do conteúdo a analisar nas respostas dos alunos. Os atributos encontrados, alternativos aos previstos, ou a ausência quer dos previstos quer de alternativos, caracterizam as diferentes categorias de resposta, distintas da R.A.;

(2) permite estabelecer quais os atributos que são discriminantes nas respostas adequadas para o 11º ano, com vista a articular a discussão dos resultados entre os dois anos de escolaridade.

Dada a diferente natureza das tarefas, os atributos definicionais das R.A. são diferentes para cada uma delas. No entanto, para um nível de generalidade mais alto, podem existir alguns comuns a todas elas. Por exemplo, a temporalidade da interacção entre reagentes e formação de produtos (simultânea), na categoria de conteúdo "Componente estrutural", é um caso desses.

As respostas adequadas elaboradas para cada tarefa, e por categoria de conteúdo definida (secção 3.6), foram validadas pela professora dos alunos. As versões que se apresentam a seguir têm em conta as sugestões feitas pela professora.

4.6.2 - Respostas adequadas para a Componente estrutural

Para todas as tarefas apresentadas a R.A. contempla ideias de não conservação de unidades estruturais dos reagentes e formação, simultânea, de novas unidades estruturais responsáveis pelos produtos da reacção. Pode agora especificar-se, tarefa por tarefa, as respostas adequadas para cada um dos anos de escolaridade.

(1) Cozedura do ovo

9º Ano	11º Ano
<p>Há modificação* na maneira como os átomos estão agrupados/ligados entre si, nas moléculas do ovo cru, com formação simultânea de outras moléculas, diferentes das iniciais.</p> <p>* "Modificação" significa alteração sem no entanto implicar explicitação de que alteração se trata.</p>	<p>Elevando a temperatura do sistema inicial, ovo cru, há ruptura de ligações (do tipo "intramolecular" e "intermolecular") e, simultaneamente, formação de novas (diferentes) ligações químicas e, por isso, as moléculas do ovo cozido são diferentes das moléculas iniciais. O estado físico diferente entre o ovo cru e o ovo cozido depende das ligações intermoleculares existentes.</p>

(2) Combustão do papel (a)

9º Ano	11º Ano
<p>Há separação de átomos constituintes das moléculas do papel e do oxigénio existente no ar e, simultaneamente, há rearranjo desses átomos, com formação de novas substâncias: cinzas (s) e dióxido de carbono (g)</p>	<p>Há ruptura de ligações químicas intramoleculares no papel e nas moléculas de oxigénio e, simultaneamente há formação de novas ligações, resultando cinzas (s), dióxido de carbono (g) e vapor de água (g), quando se eleva instantaneamente a temperatura do sistema papel-oxigénio.</p>

(a) Dada a complexidade do sistema e conseqüentemente das transformações ocorridas durante a combustão apenas se pretendeu conhecer as ideias dos alunos sobre o processo de formação do dióxido de carbono e, no caso do 11º ano, também do vapor de água.

(3) Reacção entre o sódio e a água

9º Ano	11º Ano
<p>Há separação de um átomo H em cada molécula de água envolvida na reacção e separação dos átomos de sódio uns dos outros. Simultaneamente há rearranjo dos átomos, formando-se H₂ gasoso e hidróxido de sódio, NaOH, em solução. O H₂ formado não é solúvel em água e liberta-se do sistema. Quando há retenção de hidrogénio entre o sódio e a água ocorre a combustão do hidrogénio, com formação de água, acompanhada de chama.</p>	<p>Há ruptura de uma ligação O-H em cada molécula de água envolvida na reacção e das ligações metálicas entre os átomos de sódio. Simultaneamente há formação de ligações covalentes, H-H, e de ligações ião-dípolo entre cada um dos iões Na⁺ e OH⁻, e as moléculas de água em excesso. O H₂ formado, gasoso, não é solúvel em água, e liberta-se do sistema. Quando há retenção de hidrogénio entre o sódio e a água, ocorre a combustão do hidrogénio, espontânea à temperatura da reacção, com formação de água, e acompanhada de chama.</p>

(4) Reacção entre o cloreto de amónio e a água

9º Ano	11º Ano
<p>As partículas de cloreto de amónio (não necessariamente com estrutura de pares iónicos) e as moléculas de água conservam-se. Existe rearranjo simultâneo das partículas de ambas as substâncias. Resulta uma solução aquosa de cloreto de amónio.</p> <p>(Nota: o termo "solução" não implica ideia de ligações intramoleculares)</p>	<p>Há ruptura de ligações iónicas entre os iões Cl⁻ e NH₄⁺ existentes na rede cristalina do cloreto de amónio sólido e ruptura de ligações intermoleculares na água, ligações de hidrogénio e, simultaneamente, formação de ligações ião-dípolo entre cada um dos iões, Cl⁻ e NH₄⁺, e as moléculas H₂O. O sistema final contém iões Cl⁻ e NH₄⁺ solvatados por moléculas de água.</p>

O nível da compreensão esperado para cada um dos atributos definicionais mencionados está descrito nas R.A.

Na tabela 4.1 indicam-se os atributos definicionais considerados para a categoria de conteúdo "componente estrutural", e a sua ocorrência na resolução adequada das diferentes tarefas.

Tabela 4.1 - Atributos deficionais para a categoria de conteúdo. Componente estrutural e sua ocorrência na resolução adequada das tarefas

CATEGORIA DE CONTEÚDO	ATRIBUTOS DEFINICIONAIS		OVO		PAPEL		SÓDIO		CL. AMÓ.	
	Até 9º ano	Após 9º ano	9º	11º	9º	11º	9º	11º	9º	11º
COMPONENTE ESTRUTURAL	estado sólido	(dif. lig.intermolec.)	x	xx	x	x	x	x	x	xx
	estado líquido		x	x	0	0	x	x	x	x
	estado gasoso		0	0	x	x	x	x	0	0
	solução aquosa	(lig. intermolec.)	0	0	0	0	x	xx	x	xx
	dissolução		0	0	0	0	x	x	x	0
	reacção química		x	x	x	x	x	x	0	x
	reagentes		x	x	x	x	x	x	0	x
	prod. da reacção	(especificação)	x	x	x	x	x	x	0	x
	sistema aberto		0	0	x	x	x	x	0	0
	partículas estrut.		0	0	0	0	0	0	x	xx
	átomos		x	x	x	x	x	x	0	0
	moléculas		x	x	x	x	x	x	x	x
	rearranjo átomos	(novas lig. quím.)	x	xx	x	xx	x	xx	0	x
		iões	0	0	0	0	-	x	0	x
		iões solvatados	0	0	0	0	-	x	-	x
		ligação química	-	x	-	x	-	x	0	x
		lig. intermoleculares	-	x	0	0	-	x	0	x
		lig. intramoleculares	-	x	-	x	-	x	0	0
		ruptura de ligação	-	x	-	x	-	x	0	x
		formação de ligações	-	x	-	x	-	x	0	x
	ligação covalente	0	0	-	x	-	x	0	0	
	ligação iónica	0	0	0	0	0	0	0	x	
	lig. ião-dípolo	0	0	0	0	-	x	0	x	
	lig. metálica	0	0	0	0	-	x	0	0	
	lig. hidrogénio	0	0	0	0	0	0	0	x	
	rede cristalina	0	0	0	0	0	0	0	x	

Tomando em consideração o conjunto das tarefas, podem ocorrer três situações distintas envolvendo os atributos deficionais:

(1) Atributo não previsto na resolução da tarefa em referência. Notação seguida na tabela [0].

(2) Atributo novo no 11º ano, resultante da instrução após o 9º ano. Notação seguida na tabela [9º 11º].

- x

(3) Atributo comum ao 9º e 11º ano, com

(i) o mesmo grau de elaboração. Notação seguida na tabela [9^o 11^o].
x x

(ii) diferente grau de elaboração. Notação seguida na tabela [9^o 11^o].
x xx

Os atributos do tipo (2) e (3ii) são os atributos discriminantes nas R.A. do 11^o ano.

4.6.3 - Respostas adequadas para a Componente energética

Para todas as tarefas consideradas, a R.A. relativa aos aspectos energéticos, contempla o envolvimento dos dois subsistemas, reagentes e produtos da reacção. O processo de variação da energia entre o sistema inicial e o sistema final é, pois, um processo bilateral.

Apresenta-se a seguir, tarefa por tarefa, as respostas adequadas para cada um dos anos de escolaridade.

(1) Cozedura do ovo

9 ^o Ano	11 ^o Ano
O processo de formação do sistema final ocorre com absorção de energia. A energia das moléculas iniciais (moléculas do ovo cru) e a energia fornecida durante o aquecimento, é transformada em energia das moléculas do sistema final (ovo cozido).	As modificações estruturais, ruptura e fecho de ligações, simultâneas, são acompanhadas por trocas de energia: na ruptura há absorção de energia e no fecho de ligações há libertação de energia. Por aquecimento aumenta a energia cinética (média) das moléculas iniciais parte da qual se transforma em energia potencial de ligação das moléculas finais, existentes nos produtos da reacção. Na transformação houve absorção de energia pois a energia absorvida na ruptura é superior à energia libertada na formação das ligações.

(2) Combustão do papel

9º Ano	11º Ano
A energia das moléculas iniciais (as do papel e do oxigénio) é transformada em energia das moléculas finais (as dos produtos da combustão) e ainda em energia térmica que se dissipa para o exterior visto o sistema ser aberto. O processo de formação do sistema final ocorre, por isso, com libertação de energia.	As modificações estruturais, (ruptura e fecho de ligações, simultâneos), são acompanhadas por modificações energéticas: na ruptura há absorção de energia e no fecho há libertação de energia, sendo a energia libertada superior à energia absorvida, pelo que as moléculas resultantes ficam com maior energia cinética responsável por maior temperatura. Essa energia cinética é transferida para as partículas existentes no ar visto o sistema ser aberto; daí sentir-se calor durante a combustão.

(3) Reacção entre o sódio e a água

9º Ano	11º Ano
O processo de formação do sistema final ocorre com libertação de energia, responsável pelo aumento da energia cinética das partículas constituintes do sistema "solução aquosa" (1). Aumentando esta energia cinética aumenta a temperatura.	As modificações estruturais (ruptura e fecho das ligações (2), simultâneas), são acompanhadas por modificações energéticas: na ruptura há absorção de energia e no fecho há libertação de energia. Como a energia absorvida é inferior à energia libertada na transformação há libertação de energia, responsável pelo aumento da energia cinética (média) das partículas, no sistema final, e consequente aumento da temperatura.
(1) Conforme R.A. para a componente estrutural (ver subsecção 4.6.2)	(2) As ligações referidas são todas as previstas na R.A. para a componente estrutural (ver subsecção 4.6.2)

Na tabela 4.2 indicam-se os atributos definicionais considerados para a categoria de conteúdo "componente energética", e a sua ocorrência na resolução adequada das diferentes tarefas. A notação seguida é a mesma que a utilizada na tabela 4.1.

(4) Reacção entre o cloreto de amónio e a água

9º Ano	11º Ano
<p>A energia cinética das partículas no sistema final é menor do que no sistema inicial e, por isso, a temperatura é menor.</p> <p>A energia cinética diminuiu porque é utilizada* no processo de formação do sistema final; este processo é endotérmico.</p> <p>(*Esta ideia não implica transformação de energia cinética em energia potencial)</p>	<p>A temperatura está relacionada com a energia cinética das partículas; quando essa energia diminui, a temperatura diminui.</p> <p>As modificações estruturais são acompanhadas de modificações energéticas: na ruptura de ligações há absorção e no fecho de ligações há libertação, sendo a energia absorvida superior à energia libertada.</p> <p>A energia cinética das partículas diminui porque se transforma em energia potencial de ligação. Há conservação da energia total dentro do sistema.</p>

4.6.4 - Atributos discriminantes nas R.A. do 11º ano

Por inspecção das tabelas 4.1 e 4.2 e análise das R.A. pode caracterizar-se qual a distinção(*) entre as R.A. previstas para os dois níveis escolares.

Na Componente estrutural existe diferente concepção sobre: (i) a natureza das unidades estruturais no sistema dos reagentes (3ª e 4ª tarefas) e no sistema dos produtos da reacção (2ª, 3ª e 4ª tarefas); (ii) o processo de formação do sistema final, contemplando ruptura e formação de ligações químicas intramoleculares e intermoleculares, em confronto com a perspectiva mais simplificada de rearranjo de átomos ou de moléculas (todas as tarefas).

(*) A versão mais elaborada aqui apresentada refere-se ao 11º ano de escolaridade.

Tabela 4.2 - Atributos definicionais para a categoria de conteúdo Componente Energética e sua ocorrência na resolução adequada das tarefas

CATEGORIA DE CONTEÚDO	ATRIBUTOS DEFINICIONAIS		OVO		PAPEL		SÓDIO		CL. AMÓ.		
	Até 9º ano	Após 9º ano	9º	11º	9º	11º	9º	11º	9º	11º	
COMPONENTE ENERGÉTICA	reação endotérm.		x	x	0	0	0	0	x	x	
	reação exotérm.		0	0	x	x	x	x	0	0	
	temperatura		x	x	x	x	x	x	x	x	
	cons. energia		0	0	0	0	0	0	x	x	
	transf. energia		x	x	x	xx	x	x	0	0	
	transform. energia (en.cinética - en.pot)		x	xx	0	0	0	0	x	xx	
	en. cinética part.		-	x	-	x	x	x	x	x	
		en.pot. de ligação		-	x	-	x	-	x	-	x
	sistema isolado/ /isolador		0	0	0	0	0	0	x	x	
		ruptura endoenergét.		-	x	-	x	-	x	-	x
	formação exoenergét.		-	x	-	x	-	x	-	x	
	balanço energético		-	x	-	x	-	x	-	x	

Na Componente energética a distinção é estabelecida por duas vias principais: (i) transformação, a nível microscópico, de energia cinética em energia potencial ou vice-versa (todas as tarefas); (ii) entendimento do saldo energético em função do envolvimento energético nos processos estruturais de ruptura e fecho de ligações químicas (todas as tarefas).

4.7 - ORGANIZAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados da análise apresentados nos quatro capítulos que se seguem foram obtidos de acordo com o método de análise de conteúdo descrito neste capítulo. A apresentação dos resultados, categorias de resposta (CR), faz-se, para cada tarefa, por categoria de conteúdo (em primeiro lugar a Componente estrutural e em segundo lugar a Componente energética). Para cada uma das categorias de resposta construídas apresentam-se os atributos que a caracterizam, a extensão da sua ocorrência na amostra de alunos utilizada no estudo e exemplos de evidências comportamentais usadas pela autora para inferir as correspondentes ideias dos alunos.

Cada uma das categorias de respostas é designada por um nome ou uma expressão considerada como reflectindo algum(s) atributo(s) definicional(is) relevante(s). Para cada uma das categorias de conteúdo procurou-se explicitar a articulação existente entre as diferentes categorias de resposta.

A ordenação apresentada para as categorias de resposta não pretende traduzir maior ou menor afastamento em relação à resposta adequada prevista, nem maior ou menor importância.

Para todas as tarefas são apresentadas categorias de resposta designadas por "Outras" e/ou "Não identificadas". No primeiro tipo incluem-se ideias consideradas idiossincrásicas por não pertencerem a nenhum grupo de ideias caracterizadas. De cada uma destas ideias apresenta-se também a respectiva caracterização. No segundo tipo incluem-se as ideias dos alunos que apresentaram ou ausência de evidências (por exemplo, resposta do tipo "não sei"), ou insuficiência de evidências, ou ainda apresentaram evidências que fizeram pressupor a existência de ideias contraditórias sem que, no entanto, se tivessem decidido, justificadamente, por uma delas.

- CAPÍTULO 5 -

RESULTADOS DA ANÁLISE: COZEDURA DO OVO

5.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos por análise do conteúdo dos protocolos escritos dos alunos para a "Cozedura do ovo" (ver subsecção 3.5.2.1, para descrição detalhada da tarefa), quer quanto aos aspectos estruturais, quer quanto aos aspectos energéticos envolvidos na transformação. Os protocolos completos são apresentados no Apêndice, vol. II, secção 1, págs. 7-297.

5.2 - CATEGORIAS DE RESPOSTA PARA A COMPONENTE ESTRUTURAL

5.2.1 - Natureza das categorias de resposta

Nenhum aluno evidenciou ideias de acordo com a resposta adequada (ver subsecção 4.6.2). As categorias de resposta correspondentes às ideias dos alunos foram cinco, designadas por "Interacção sequencial", "Redistribuição", "Solidificação energética", "Empacotamento por dilatação" e "Empacotamento sem dilatação". A saliência de cada CR está indicada na tabela 5.1.

Apenas nas categorias "Interacção sequencial" e "Redistribuição" a cozedura do ovo é considerada como um processo químico, ou seja, admite-se existir modificação nas "unidades estruturais" (entendidas como "moléculas") do ovo cru. Esta ideia implica, portanto, não conservação das substâncias iniciais. A distinção entre estas duas categorias de resposta é feita pelo modo como a modificação das unidades estruturais é

apresentada: referência explícita a ruptura e fecho de ligações do tipo intramolecular no caso de "Interacção sequencial", ou referência apenas a modificação no modo como os átomos estavam agrupados nas moléculas do ovo cru, no caso de "Redistribuição". Assim, enquanto a primeira CR foca o processo, a segunda foca os sistemas inicial e final ou simplesmente os refere como diferentes. Note-se ainda que embora um processo sequencial implique uma redistribuição, a "Redistribuição" pode não ser sequencial (existe ausência de evidência sobre a temporalidade da modificação).

Nas restantes três categorias de resposta, a cozedura do ovo é considerada como um processo físico, o qual implica, portanto, não alteração das ligações intramoleculares e consequente conservação das substâncias. Fundamentalmente, em todas estas categorias a cozedura do ovo é entendida como a passagem do ovo do estado líquido (ovo cru) ao estado sólido (ovo cozido). O modo como tal "mudança de estado" é interpretada é que é diferente, embora sempre do género mecanicista: por aumento da intensidade das forças de ligação entre as moléculas, no caso da "Solidificação energética", ou por aproximação das moléculas o que levará ao seu maior empacotamento, no caso das outras categorias de resposta. O empacotamento das partículas (ou moléculas) é considerado processar-se de duas maneiras distintas: por dilatação das próprias partículas, o que, obviamente provocará uma diminuição da distância entre elas, ou sem dilatação das partículas.

Definem-se a seguir cada uma das cinco categorias de resposta e apresentam-se exemplos de evidências comportamentais.

5.2.1.1 - Interacção sequencial

A transformação do ovo ocorre em dois estádios sequenciais: primeiro, há ruptura de ligações (do tipo "intramolecular") nas moléculas do ovo cru, e, em seguida, há formação de novas (diferentes) ligações (do tipo "intramolecular") originando as moléculas que constituem o ovo cozido.

Exemplo:

"... se considerarmos que as substâncias (no ovo cozido) não são as mesmas ... foi necessário fornecer energia para que se quebrassem aquelas ligações ... e depois formaram-se novas ligações ... já não será clara ... será outro composto ..." [Aluno 11-05: A84, A85, A86, A87]

5.2.1.2 - Redistribuição

Os átomos que formavam as moléculas do ovo cru após a cozedura apresentam uma disposição diferente e, por isso, as moléculas no ovo cozido são diferentes.

Exemplo:

"... uma molécula é um conjunto de átomos ligados ... esses átomos podem ter uma disposição no ovo cru e por influência do calor no ovo cozido ficam doutra maneira ..." [Aluno 11-17: A41,A43]

Em ambas as categorias de resposta acima consideradas, existe utilização acrítica de um modelo de reacção química, embora em níveis interpretativos diferentes. O aluno desconhece o tipo de moléculas existentes no ovo cru (mas admite que existem moléculas) e transpõe para a situação da cozedura do ovo, o caso geral da reacção química. Apesar de nas respostas adequadas não ser previsto que o aluno conhecesse os sistemas inicial e final, quanto à natureza das unidades estruturais e respectivas ligações, o "modelo de reacção química" preconizado nas R.A. é diferente de qualquer um dos incluídos nestas duas categorias de resposta.

5.2.1.3 - Solidificação energética

As "ligações" entre as partículas (ou moléculas) tornam-se mais fortes devido à cozedura e, por isso, o ovo cozido fica sólido.

Exemplo:

"... portanto o ovo recebe energia ... que é dada ao cozer ... e depois passa ao estado sólido recebendo mais energia, por isso as suas moléculas ficam mais fortes, a ligação entre elas ..." [Aluno 11-10: A48]

Nesta CR o aluno associa o estado físico à intensidade das forças de ligação entre as partículas. Assim, no ovo cozido, sólido, haverá entre as partículas ligações "mais fortes" do que aquelas que existem no ovo cru, líquido, sendo as partículas exactamente iguais nos dois casos; tal "força de ligação" aumenta por se ter fornecido energia. Esta ideia estará provavelmente relacionada, por um lado, com a confusão entre força e energia ("aquilo que está mais fortemente ligado tem mais energia") e, por outro lado, com modelos de constituição da matéria muito propalados a nível do 5º ano de escolaridade (por exemplo, num manual escolar de Ciências da Natureza (Peralta e Calhau 1984, p. 125-126) pode ler-se: "Nos corpos sólidos, as forças de ligação são intensas de tal modo que os corpúsculos estão muito próximos, regularmente dispostos e movendo-se pouco. Nos corpos líquidos, as forças de ligação são menos intensas...").

Este modelo sobre a constituição da matéria será, possivelmente, reforçado por transferência para o nível microscópico do modelo das forças atractivas existentes, por exemplo, entre corpos electrizados com carga de sinal oposto ou ainda das leis da atracção gravitacional.

5.2.1.4 - Empacotamento por dilatação

Por aquecimento do ovo cru as partículas constituintes dilatam-se; por isso ficam mais juntas umas das outras e o ovo torna-se sólido. O volume do ovo cozido é igual ao volume do ovo cru (com a casca).

Exemplo:

"... por acção do calor as partículas (do ovo cru) vão-se dilatando e ... à medida que se vão dilatando vão-se juntando, e juntando-se vão fazer com que o ovo fique mais sólido do que está ... a energia que é fornecida ao corpo vai fazer com que as partículas se dilatam sem dilatar o corpo para que o ovo fique cozido sem aumentar de volume ..."[Aluno 09-09: A29, A87]

A ideia de "dilatação das partículas" reflecte a transposição de atributos macroscópicos para o nível microscópico, interpretando a transformação observada

como o somatório de transformações do mesmo tipo, mas não observadas, a nível microscópico. Ideias semelhantes relativas a outras propriedades dos corpos, por exemplo, estado físico, cor, combustibilidade, foram identificadas para diversos alunos, ao longo das tarefas incluídas neste estudo. A transferência simples de um domínio para o outro (macro e microscópico) é pois uma ideia bastante saliente para os alunos, identificada em diferentes ocasiões do presente estudo, e também por outros autores antes e após o ensino (por exemplo, Driver et al.1985).

Não basta pois que o aluno adote o modelo descontínuo da matéria; é necessário que admita que, numa transformação física, as unidades constituintes, as partículas, são inalteráveis quaisquer que sejam as alterações macroscópicas.

5.2.1.5 - Empacotamento sem dilatação

Por aquecimento do ovo cru as partículas constituintes movimentam-se, aproximando-se entre si e ficando, por isso, mais ligadas umas às outras; assim o ovo cozido fica sólido.

Para alguns dos alunos classificados nesta CR o volume do ovo cozido é menor do que o volume do mesmo ovo quando cru, como consequência da aproximação das partículas.

Exemplo:

"... as partículas (do ovo cru) com o aumento de temperatura têm tendência a juntar-se mais ... ficarem mais juntas ... acho que (as partículas) continuam a ser iguais ... e são o mesmo número ... há um espaço vazio dentro do ovo cozido ... penso que não existia antes (no ovo cru) ..." [Aluno 09-19: A41, A42, A49, A50, A54, A55]

Para outros alunos desta mesma CR não existe ideia de diminuição do volume do ovo, na passagem de cru para cozido, apesar da referência explícita à aproximação das partículas.

Exemplo:

" ... enquanto o ovo está cru as partículas andam mais soltas, fazem com que fique assim espécie de líquido, com a temperatura faz com que elas se juntem e formem uma substância rija ..." [Aluno 09-07: A16]

Provavelmente para estes alunos, a presença da casca do ovo e a experiência comum de descascar um ovo cozido, condicionarão a não referência à diminuição do volume em conjugação com a aproximação das partículas.

A nível educacional, o interesse da interpretação da cozedura do ovo em termos de "solidificação do ovo cru (líquido)" será alertar os professores de que uma visão reducionista de mudança de líquido para sólido, por aproximação das partículas, prejudicará a compreensão da natureza das forças intermoleculares responsáveis por cada um dos estados físicos, bem como a interrelação entre tais forças e a estrutura (amorfa ou cristalina) do estado sólido. Sugere-se por isso que, durante o ensino, sejam explorados diversos exemplos de situações de mudança de estado com aumento e com diminuição de volume (ex: água, metais).

5.2.1.6 - Outra

A ideia do aluno classificado em "Outra" é do tipo da já apresentada na CR "Solidificação energética". No entanto, a razão da maior interligação entre as partículas é, para este aluno, devida à falta de oxigénio visto o ovo ter sido cozido com a casca:

"... talvez por o ovo ser fechado haja uma interligação maior ... não tem oxigénio para reagir e passa ao estado sólido, ao estado gasoso não consegue passar ... o aumento da temperatura fez com que ... na estrutura da clara (cozida) houvesse uma maior interligação entre as suas partículas ... têm uma ligação menos forte na clara quando líquida ..." [Aluno 11-18: A39, A55, A82, A85]

5.2.1.7 - Não identificada

Dois alunos foram classificados em "Não identificada" por ausência de evidências (aluno 09-15) e por apresentação de ideias contraditórias (aluno 11-13).

Exemplo:

"... não faço ideia, nunca pensei nisso ... eu acho que (as substâncias) são iguais só que ali estão cruas e aqui estão cozidas, são as mesmas porque tudo partiu do mesmo ovo ... mas como é que isso se dá e que transformação é que fosse não sei ..." [Aluno 09-15: A14, A18, A33]

Apesar da ausência de evidências sobre o processo da cozedura do ovo, a ideia do aluno é de que o ovo se mantém, quanto às substâncias constituintes, após a cozedura. Na base desta ideia estarão, provavelmente, questões de linguagem: dizer-se "ovo cru" e "ovo cozido" (designação generalizada para qualquer tipo de alimentos) sugere, por transferência para um contexto químico, que as unidades estruturais se deverão manter. A modificação ocorrida passar-se-á, por consequência, a nível intermolecular o que estaria, no caso do ovo, em acordo com a explicação "mudança de líquido para sólido".

No caso do segundo aluno referido, a ideia inicial é do tipo mudança de estado, mudando depois para modificação das moléculas por alterações processadas nos átomos resultantes de excitação nos electrões (ideia provavelmente originária em modelos atómicos de níveis de energia); sendo os átomos diferentes originariam moléculas diferentes. Segundo o ponto de vista deste aluno o ovo cozido à mesma temperatura do ovo cru teria moléculas iguais (já que os átomos teriam a mesma excitação) e, obviamente, os dois ovos deveriam ser idênticos, explicação que não serve a situação referida.

5.2.2 - Extensão das categorias de resposta

Indica-se na tabela 5.1 a distribuição dos alunos pelas diferentes CR identificadas para a componente estrutural.

Dos resultados apresentados na tabela 5.1 pode verificar-se que:

(1) Persistência em grande extensão de "modelos físicos" do tipo "mudança de estado" na interpretação da cozedura do ovo: 73,3% do total dos alunos. Apenas 26,7% dos alunos apresentaram ideias do tipo fenómeno químico. No entanto, para nenhum destes se verificou acordo com a resposta adequada. Com efeito, os alunos consideraram os processos de ruptura e formação de ligações do tipo sequencial (ou não deram evidências de serem simultâneos).

Tabela 5.1 - Distribuição dos alunos pelas CR identificadas para a componente estrutural ("Cozedura do ovo")

CR (DESIGNAÇÃO)	ANO DE ESCOLARIDADE		
	9º	11º	9º+11º:%
INTERACÇÃO SEQUENCIAL	0	11-05 11-09 11-11	0+3:10,0%
REDISTRIBUIÇÃO	09-03 09-08 09-12	11-14 11-17	3+2:16,7%
SOLIDIFICAÇÃO ENERGÉTICA	0	11-06 11-10	0+2:6,7%
EMPACOTAMENTO POR DILATAÇÃO	09-09	11-01	1+1:6,7%
EMPACOTAMENTO SEM DILATAÇÃO	09-02 09-05 09-06 09-07 09-10 09-11 09-14 09-18 09-19 09-21	11-04 11-07 11-12 11-15 11-16	10+5:50,0%
OUTRA	0	11-18	0+1:3,2%
NÃO IDENTIFICADA	09-15	11-13	1+1:6,7%

(2) O grupo de alunos com respostas do tipo químico ("Interacção sequencial " e "Redistribuição") era constituído por 20,0% dos alunos do 9º ano e 33,3% dos alunos do 11º ano. Este resultado é consistente com o papel que ideias desenvolvidas durante o 2º ciclo do Ensino Básico (discutidas na subsecção 5.2.1.3), e menos salientes no 11º ano, terão tido, provavelmente, nas explicações apresentadas.

(3) A explicação mais próxima da R.A. para o 11º ano (explicitando ruptura e fecho de ligações do tipo intramolecular) é partilhada apenas por 20,0% dos alunos desse grupo. O modelo preconizado é, no entanto, do tipo sequencial; no grupo do 9º ano não houve evidência de modelos sequenciais.

5.3 - CATEGORIAS DE RESPOSTA PARA A COMPONENTE ENERGÉTICA

5.3.1 - Natureza das categorias de resposta

Nenhum aluno evidenciou ideias de acordo com a resposta adequada (ver subsecção 4.6.3). A análise de conteúdo levou à constituição de cinco categorias de resposta, designadas por "Captação energética", "Dissipação da energia", "Absorção sequencial", "Modelo mecanicista" e "Modelo do senso comum". A saliência de cada CR está indicada na tabela 5.2.

As modificações energéticas que ocorrem na cozedura do ovo são interpretadas, por todos os alunos, por envolvimento de apenas um subsistema, o dos reagentes (ovo cru) ou o dos produtos da reacção (ovo cozido).

Nenhuma das categorias de resposta apresenta ideias de transformação da energia (energia cinética em energia potencial). Exceptuando a CR "Modelo do senso comum", todas as outras reflectem ideias de apenas transferências de energia, focadas ou sobre o processo de cozedura do ovo ("Captação energética" e "Dissipação da energia"), ou sobre os diferentes estados físicos dos sistemas inicial e final ("Absorção sequencial" e "Modelo mecanicista").

No primeiro grupo ("Captação energética" e "Dissipação da energia"), a energia que é fornecida ao ovo durante a cozedura é absorvida por este e, ou pode ficar dentro do ovo ("Captação energética"), ou pode voltar a sair durante o arrefecimento do ovo

após a cozedura ("Dissipação da energia"), para que o ovo cozido fique à mesma temperatura do ovo cru. As duas categorias de resposta distinguem-se pois pela retenção, na primeira, da energia absorvida, e pela dissipação dessa energia, na segunda.

Quanto aos modelos de transferência de energia, focados sobre os diferentes estados físicos do ovo cru e do ovo cozido, a interpretação é baseada em aspectos de maior proximidade ou de menor mobilidade das partículas no ovo cozido.

Apresentam-se em seguida as definições das categorias de resposta e exemplos de evidências comportamentais que suportam cada uma delas.

5.3.1.1 - Captação energética

A energia calorífica fornecida ao ovo cru foi absorvida por este e, por isso, o ovo cozido tem mais energia do que o ovo cru. Não existe especificação do tipo de energia existente no ovo cozido.

Exemplo:

"... creio que (as moléculas têm mais energia) no ovo cozido ... porque absorveram energia ... que lhe foi dada ... porque lhe foi dada energia ao ovo que passou a ovo cozido ..." [Aluno 11-14: A52, A53, A56]

Para estes alunos, provavelmente, a reacção em causa seria do tipo endotérmico e a energia fornecida ao sistema inicial ficou a fazer parte dele, pelo que no sistema final existirá mais energia. No entanto, não é esclarecido o modo como tal energia lá está.

5.3.1.2 - Dissipação da energia

A energia calorífica fornecida ao ovo cru foi absorvida por este. Tal energia volta a sair do ovo cozido quando ele arrefece, até ficar à mesma temperatura. Por isso, os dois ovos, cru e cozido, à mesma temperatura têm a mesma energia.

Exemplo:

"...quer dizer houve uma transferência de energia mas essa energia quando ele (o ovo cozido) é tirado ele arrefece ... eu acho que fica com a mesma energia que este (o

ovo cru) tinha ... (o ovo) recebeu (energia) ... mas pode depois também dá-la ..."
[Aluno 09-10: A68, A76, A78]

Para estes alunos é evidente a confusão entre temperatura e energia e a ideia de energia como um fluido que transita entre os corpos.

5.3.1.3 - Absorção sequencial

A energia calorífica fornecida ao ovo permite a ruptura de ligações nas moléculas do ovo cru, seguida da formação de novas ligações nas moléculas do ovo cozido. As novas ligações são mais fortes, i.e., têm mais energia e, portanto, o ovo cozido está sólido.

Exemplo:

"... (as partículas do ovo) ao movimentarem-se podem desligar ... cortar ligações e dar origem a novas ligações ... para efectuar esses cortes eles precisavam de energia e depois para ligarem outra vez ... talvez precisem também de energia ... acho que é no estado cozido (que há mais energia) ... porque ele absorveu energia para sofrer esta reacção ... acho que é o sólido que tem mais energia ..." [Aluno 11-11: A24, A25, A33, A34, A38]

Estes alunos procuram conciliar ideias bem diversas: um modelo sequencial de ruptura e formação de ligações químicas, correspondência entre ligações fortes e ligações com energia elevada, e ainda o modelo de estado físico difundido no 2º ciclo do Ensino Básico.

5.3.1.4 - Modelo mecanicista

Na passagem do ovo cru para ovo cozido há absorção de energia; esta energia vai fazer com que as partículas constituintes fiquem mais fortemente ligadas entre si e por isso o ovo cozido fica sólido.

Exemplo:

"...este (o ovo cozido) foi-lhe fornecida energia, portanto apresentará uma maior ... está mais sólido que o ovo cru, nas substâncias sólidas ... a energia que interliga nos átomos será superior que na mesma substância quando no estado líquido ..." [Aluno 11-13: A51]

Trata-se de uma ideia dominada pela confusão entre força e energia partindo do pressuposto que no ovo cozido, por ser sólido, as partículas estão mais fortemente ligadas entre si do que no ovo cru. Para tornar mais claro o raciocínio dos alunos podem estabelecer-se as seguintes premissas de índole mecanicista:

- (1) as partículas estão mais ligadas no ovo cozido;
- (2) o que está mais ligado tem maior força de ligação;
- (3) para haver mais força tem de haver maior energia;
- (4) o ovo cozido tem maior energia do que o ovo cru.

A confusão entre força e energia é uma ideia identificada neste estudo em diversas situações, conforme se referirá a seu tempo, e foi também referida por outros autores, em outros contextos (por exemplo, Brook and Driver 1984).

Alguns alunos que partilham as ideias do "Modelo mecanicista" consideram, no entanto, que por as partículas estarem mais ligadas entre si no ovo cozido a sua mobilidade será menor do que no ovo cru e por isso terão menor energia; ter-se-á, portanto, libertado energia. Para estes alunos existe identificação entre energia e energia cinética conjugada com o modelo de estados físicos entendido em termos de agregação diferente das partículas, pelo que a cozedura do ovo será uma reacção exotérmica:

"... na clara cozida há menos energia (do que na clara crua) portanto os átomos movem-se menos ... portanto vão aumentar as forças de ligação ... foi necessário fornecer energia para que se quebrassem aquelas ligações ... e depois ... formaram-se novas ligações e libertou-se a energia ... (em termos globais) haverá uma libertação de energia ..." [Aluno 11-05: A83, A84, A85, A89]

A quinta categoria de resposta identificada não envolve ideia de transferência de energia para o interior do ovo, apesar de ser reconhecido pelos alunos que o ovo cru precisa de ser aquecido. Trata-se de um modelo não explicativo, guiado pelo senso comum (valorizando os alimentos naturais).

5.3.1.5 - Modelo do senso comum

Como o ovo cru é um alimento natural tem, por isso, maior energia do que o ovo cozido.

Exemplo:

"...talvez no cru ... porque ... no ovo cru não houve nada que influenciasse, é natural ... acho que as coisas naturais também têm mais energia ..." [Aluno 09-15: A39, A40]

5.3.1.6 - Outra e Não identificada

Um aluno do 11^o ano apresentou uma ideia diferente das anteriores. Quanto mais estável for um sistema mais energia ele possui. Como não é possível transformar o ovo cozido em ovo cru, o ovo cozido terá maior energia:

"... naquele em que a estrutura molecular for mais estável logo terá maior energia, porque para modificar a estrutura vai ser preciso fornecer-lhe uma energia muito maior ... porque passar deste para este ... do cozido para o ovo natural é muito mais difícil ... é impossível ... eu acho que (as moléculas têm mais energia) no cozido ..." [Aluno 11-16: A50, A51, A52]

Para três alunos não foi possível classificar as respectivas ideias, por:

(1) resposta do tipo "não sei" após mudança de opinião de "os dois ovos têm a mesma energia" para "o ovo cozido tem mais energia" (caso do aluno 09-09);

(2) mudança de ideias, sem opção justificada por nenhuma delas (caso dos alunos 09-06 e 11-04).

5.3.2 - Extensão das categorias de resposta

Indica-se na tabela 5.2 a distribuição dos alunos pelas diferentes CR identificadas para a componente energética.

Tabela 5.2 - Distribuição dos alunos pelas CR identificadas para a componente energética ("Cozedura do ovo")

CR (DESIGNAÇÃO)	ANO DE ESCOLARIDADE		
	9º	11º	9º+11º:%
CAPTAÇÃO ENERGÉTICA	09-02 09-08 09-11	11-10 11-14 11-17	3+3:20,0%
DISSIPACÃO DA ENERGIA	09-05 09-07 09-10 09-18	11-07	4+1:16,6%
ABSORÇÃO SEQUENCIAL	0	11-09 11-11	0+2:6,7%
MODELO MECANICISTA	09-12 09-14 09-19 09-21	11-01 11-05 11-06 11-12 11-13 11-15 11-18	4+7:36,6%
MODELO DO SENSO COMUM	09-03 09-15	0	2+0:6,7%
OUTRA	0	11-16	0+1:3,3%
NÃO IDENTIFICADA	09-06 09-09	11-04	2+1:10,0%

Dos resultados apresentados na tabela 5.2 é possível verificar:

(1) Todos os alunos evidenciaram sobre os aspectos energéticos envolvidos na cozedura do ovo, uma visão unilateral do sistema, i.e., apenas um dos subsistemas (reagentes ou produtos da reacção) é contemplado, contrariamente à ideia prevista na

RA de envolvimento dos dois subsistemas. Consequentemente nenhum aluno evidenciou ideias de resultante energética.

(2) As ideias sobre os aspectos energéticos do tipo microscópico ("Absorção sequencial" e "Modelo mecanicista") foram partilhadas por 26,7% dos alunos do 9º ano e por 60,0% dos alunos do 11º ano; este resultado é consistente com o maior grau de elaboração destes modelos, relativamente aos outros identificados, do tipo macroscópico.

(3) 50% dos alunos que consideraram a cozedura do ovo uma reacção química e 40% dos alunos com ideias de processo físico apresentaram ideias de índole microscópica sobre a componente energética. Parece pois, não ter existido, por parte dos alunos, uma preferência no modo como a articulação das ideias sobre as duas componentes é feita (estrutural — física ou química, e energética — micro ou macroscópica).

- CAPÍTULO 6 -

RESULTADOS DA ANÁLISE: COMBUSTÃO DO PAPEL

6.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos por análise do conteúdo dos protocolos escritos dos alunos para a "Combustão do papel" (ver subsecção 3.5.2.2, para descrição detalhada da tarefa), no que respeita aos aspectos estruturais e aos aspectos energéticos envolvidos na transformação.

Os protocolos completos são apresentados no Apêndice, vol. II, secção 2, págs. 301-529.

6.2 - CATEGORIAS DE RESPOSTA PARA A COMPONENTE ESTRUTURAL

6.2.1 - Natureza das categorias de resposta

Nenhum aluno evidenciou ideias de acordo com a resposta adequada (ver subsecção 4.6.2). As categorias de resposta (CR) identificadas foram três, designadas por "Interacção sequencial", "Aglutinação" e "Modificação do papel". A saliência de cada CR é indicada na tabela 6.1.

Apenas na primeira CR existe ideia de interacção entre os reagentes, isto é, alteração das unidades estruturais (entendidas como moléculas) de ambos: ruptura de ligações envolvendo átomos de carbono, no papel, e entre os dois átomos constituintes da molécula do oxigénio. Nas restantes duas categorias de resposta tal ideia de

interacção não está presente, havendo portanto conservação de pelo menos um dos reagentes.

Definem-se a seguir cada uma das três categorias de resposta identificadas e apresentam-se exemplos de evidências comportamentais.

6.2.1.1 - Interacção sequencial

A transformação ocorre em dois estádios: primeiro, há ruptura de ligações do tipo intramolecular no papel (com separação de átomos de carbono) e na molécula de oxigénio, e, em seguida, há formação de novas ligações originando o dióxido de carbono o qual se liberta.

Exemplo:

" ... há ruptura de ligações no papel, no oxigénio também porque o oxigénio para se ligar depois com o carbono vai ter que romper primeiro as ligações entre si ..."
[Aluno 11-05: A80]

Trata-se de um tipo de CR já identificada a propósito da "Cozedura do ovo".

O aluno de 9º ano incluído nesta CR não aplica, no entanto, o modelo explicativo à formação do dióxido de carbono (nem chega a mencionar este como produto da combustão). A sua inclusão nesta CR foi devida ao modelo de reacção química evidenciado:

"... as moléculas (do papel e do oxigénio) vão-se separar nos seus átomos e vai-se formar uma substância nova ... os átomos que constituem as moléculas foram separados e, tornam-se a juntar mas formando moléculas diferentes ..." [Aluno 09-02: A36, A49]

6.2.1.2 - Aglutinação

As unidades estruturais de um dos reagentes, as moléculas de oxigénio, "juntam-se" com os átomos de carbono previamente separados do papel para formar o dióxido de carbono.

Exemplo:

"... a molécula de oxigénio continua na mesma constituída por dois átomos ... juntou-se com o carbono e formou uma nova molécula..." [Aluno 11-14: A62, A69]

As respostas dos alunos terão sido, possivelmente, guiadas pelo conhecimento da composição do oxigénio molecular e do dióxido de carbono e respectivas fórmulas químicas. Para estes alunos é como se a molécula de oxigénio existisse dentro da molécula do dióxido de carbono. Esta ideia revela, provavelmente, uma desarticulação entre o nível representacional e o nível explicativo da Química, já identificada por Yaroch (1985), a propósito do acerto de equações químicas, e por Johnstone (1982).

6.2.1.3 - Modificação do papel

As substâncias componentes do papel (ou algumas delas) estão presentes nos produtos da reacção. A nível microscópico, as unidades estruturais (moléculas, partículas) do papel são as mesmas no início e no fim da combustão embora com outro aspecto (por exemplo, as partículas da cinza são as partículas do papel que arderam e ficaram pretas). A nível macroscópico algumas propriedades do papel mantêm-se (por exemplo, as cinzas são as substâncias não combustíveis do papel).

Exemplo:

"... o papel fica com partículas pretas ... com o calor que lhe foi fornecido (as partículas) arderam ..." [Aluno 09-10: A38, A39]

Esta ideia pode ser considerada como traduzindo a transposição de propriedades macroscópicas para o domínio microscópico (já referidas neste estudo na subsecção 5.2.1.4). Para o aluno acima referido o papel inicial seria, provavelmente, constituído por partículas brancas. Em particular, a ideia das cinzas como material incombustível foi identificada a respeito da combustão da madeira em alunos de 11-12 anos (Driver 1985; e Méheut et al. 1985).

Um caso de fronteira entre esta CR e a CR "Aglutinação" é ilustrada pelo aluno 11-01 o qual considera que ocorreu a combustão das "substâncias combustíveis" existentes no papel e a formação de dióxido de carbono, a partir do oxigénio do ar e do

carbono do papel, sem no entanto explicar o modo como o carbono do papel aparece disponível para tal.

6.2.1.4 - Outras

Três alunos apresentaram ideias distintas das anteriores, que a seguir se caracterizam.

(i) "... a combustão ... faz com que os átomos do papel ... transformam-se nuns átomos diferentes ... o dióxido de carbono é o oxigénio transformado, formado pela combustão, pelo fogo ... os átomos do papel estão a ser queimados ..." [Aluno 09-14: A13, A53, A77]

O aluno faz uma transferência da combustão a nível macroscópico (o papel arde) para o nível microscópico (os átomos do papel ardem). Deste modo se o papel queimado é diferente do papel inicial, também os átomos resultantes ("átomos queimados") serão diferentes dos primeiros. Não existe portanto ideia de conservação de átomos.

(ii) "... por acção do calor houve uma destruição das substâncias que constituem o papel queimado ... o oxigénio não faz nada ao papel ... tem que haver um meio ambiente em que possa haver a combustão do papel, o oxigénio ... (o oxigénio) é queimado ... desaparece ... é destruído ... por causa do calor que é libertado pela combustão do papel ... não sei porque é que tem de haver oxigénio ..." [Aluno 09-11: A33, A45, A49, A50, A51, A53, A54, A55, A56]

Para este aluno, o oxigénio não participa na combustão; simplesmente e como consequência, esse oxigénio é consumido. A razão pela qual o oxigénio é necessário à combustão é pois, e nas palavras do próprio aluno, incompreensível, visto a combustão ocorrer devido à chama do fósforo.

(iii) "... quando o papel arde vai haver uma dispersão das partículas ... na combustão o oxigénio é absorvido do meio ambiente para a reacção ... depois a reacção desencadeia-se e há libertação de energia que é oxigénio ... o fumo julgo que será ... é o tal oxigénio que se liberta da reacção ... e partículas resultantes do papel queimado,

talvez pequeníssimas partículas de cinza ... (o papel) foi reduzido a cinzas e parte dele foi expelido pelo fumo ..." [Aluno 11-18: A25, A34, A35, A37, A38, A42]

Para este aluno não existe explicação sobre a função do oxigénio, nem sobre o processo de transformação de papel; não existe referência ao dióxido de carbono.

Em "Não identificada" foi classificado um aluno do 9º ano por ausência de evidências sobre o processo da combustão do papel [Aluno 09-15].

6.2.2 - Extensão das categorias de resposta

Indica-se na tabela 6.1 a distribuição dos alunos pelas diferentes CR identificadas para a componente estrutural.

Dos resultados apresentados na tabela 6.1 pode verificar-se:

(1) Nenhum aluno do 9º ano evidenciou ideias de interação entre os reagentes para explicar a formação do dióxido de carbono, (recorde-se o caso do aluno 09-02) e dos do 11º ano apenas 26,7% o manifestaram. No entanto, as ideias apresentadas não corresponderam à resposta adequada, por não ter sido incluído o vapor de água como produto da combustão, e por o modelo de ruptura e fecho de ligações apresentado ser do tipo sequencial, e não do tipo simultâneo.

(2) Para 86,7% (N=13) dos alunos do 9º ano e 73,3% (N=11) dos alunos do 11º ano parece ter sido evidenciado um estatuto diferente entre o papel e o oxigénio, no desenrolar da combustão do papel: ou por "junção" das moléculas de oxigénio a átomos de carbono provenientes da alteração do papel (6 do 9º e 8 do 11º), ou por ausência de qualquer intervenção do oxigénio, a nível estrutural, nos produtos da combustão (7 do 9º e 3 do 11º). Para todos estes alunos parece pois ter existido ideia de conservação de pelo menos um dos reagentes, o oxigénio. A ideia de diferente estatuto do oxigénio e do

papel no desenrolar da combustão foi portanto uma ideia muito saliente para os alunos e com extensão semelhante nos dois anos.

Tabela 6.1 - Distribuição dos alunos pelas CR identificadas para a componente estrutural ("Combustão do papel")

CR (DESIGNAÇÃO)	ANO DE ESCOLARIDADE		
	9º	11º	9º+11º:%
INTERACÇÃO SEQUENCIAL	09-02	11-05 11-10 11-11 11-12	1+4:16,7%
AGLUTINAÇÃO	09-03 09-05 09-06 09-08 09-09 09-21	11-06 11-07 11-09 11-13 11-14 11-15 11-16 11-17	6+8:46,7%
MODIFICAÇÃO DO PAPEL	09-07 09-10 09-12 09-18 09-19	11-01 11-04	5+2:23,3%
OUTRAS	09-11 09-14	11-18	2+1:10,0%
NÃO IDENTIFICADA	09-15	0	1+0:3,3%

6.3 - CATEGORIAS DE RESPOSTA PARA A COMPONENTE ENERGÉTICA

6.3.1 - Natureza das categorias de resposta

Nenhum aluno evidenciou ideias de acordo com a resposta adequada (ver subsecção 4.6.3). As ideias inferidas e classificadas como categorias de resposta foram quatro, designadas por "Modelo sequencial substractivo", "Modelo sequencial aditivo", "Caixa de energia" e "Substâncias combustíveis". A saliência de cada CR é indicada na tabela 6.2.

Estas quatro ideias podem distribuir-se por dois grupos. No primeiro, "Modelo sequencial substractivo" e "Modelo sequencial aditivo", a explicação sobre a componente energética envolve os reagentes e também produtos da reacção. No segundo grupo, "Caixa de energia" e "Substâncias combustíveis", a explicação apresentada envolve apenas o sistema dos reagentes e, em particular, o papel.

Em ambos os modelos sequenciais, substractivo e aditivo, os alunos consideram que os processos de ruptura de ligações nos reagentes e formação de novas ligações nos produtos da reacção ocorreram sequencialmente envolvendo energia, e que a energia fornecida pela chama do fósforo foi absorvida pelo sistema dos reagentes, contribuindo para a ruptura de ligações (i.e., tomando parte no processo estrutural). Aquilo que distingue os dois modelos é o modo como os processos microscópicos de ruptura e fecho de ligações envolveram a energia: respectivamente , endo/exoenergético no modelo substractivo e exo/endoenergético no modelo aditivo.

No que respeita ao segundo grupo de categorias de resposta, "Caixa de energia" é um modelo explicativo com aspectos microscópicos, reflectindo uma interpretação mecanicista de transferência de energia e envolvendo, provavelmente, a noção de "calórico". Também nesta CR a energia fornecida para activar o sistema desempenhou uma função estrutural. Na última CR, "Substâncias combustíveis", a interpretação apresentada sobre a componente energética é uma concepção do tipo descritivo baseada

na ideia do senso comum de que os combustíveis quando ardem libertam energia. Saliente-se que nestas duas últimas categorias de resposta é dominante a ideia do papel como reagente principal (e único), relativamente ao oxigénio, no que respeita à energia libertada durante a combustão.

Seguidamente apresentam-se as definições de cada uma das categorias de resposta e exemplos de evidências comportamentais.

6.3.1.1 - Modelo sequencial substractivo

O sistema absorve a energia proveniente da chama do fósforo (E_a), a qual provoca ruptura de ligações no papel e na molécula de oxigénio; tal ruptura de ligações absorve energia. Em seguida formam-se novas ligações, com libertação de energia (E_1), sendo $E_1 > E_a$. O excesso de energia, $\Delta E = E_1 - E_a$, vai continuar o processo provocando a ruptura de mais ligações.

Exemplo:

"... nós também fornecemos a energia para quebrar essas ligações que existiam (no papel) ... (o oxigénio) também recebeu energia ... indirectamente porque fornecemos (energia) ao papel ... quebraram-se as ligações entre os dois átomos de oxigénio ... o novo composto é CO_2 ... há libertação (de energia) ... a energia libertada será maior que a energia fornecida ... o calor que nós sentíamos seria o resultado da energia libertada durante a reacção ... o primeiro composto vai receber energia depois liberta essa energia que vai ser absorvida pelo segundo que vai libertar energia que por sua vez vai ser absorvida pelo terceiro e é sempre assim em cadeia ..." [Aluno 11-05: A14, A82, A84, A86, A91, A38]

Para estes alunos, os mais próximos da R.A., a reacção de combustão processa-se em duas fases sequenciais a nível estrutural e a nível energético. Como na primeira etapa, ruptura de ligações, é necessário energia, essa energia virá da chama do fósforo (ideia que não contraria a observação – antes do fósforo estar presente não havia combustão). Na segunda etapa liberta-se então a energia necessária para o prosseguimento da reacção e para justificar o calor sentido durante a combustão. Assim, a chama do fósforo é considerada como tendo uma acção descontínua (i.e., apenas no instante inicial) sobre o sistema (papel e oxigénio).

6.3.1.2 - Modelo sequencial aditivo

O papel absorve a energia proveniente da chama do fósforo (E_a), a qual provoca ruptura de ligações no papel; tal ruptura de ligações liberta energia a qual se vai somar à energia inicialmente fornecida (E_1), responsável pela continuação do processo. Quando se formam as novas ligações há absorção de energia (E_2), sendo $E_1 + E_a > E_2$. A energia que sai para o exterior é $(E_1 + E_a) - E_2$.

Note-se que este modelo difere do anterior não apenas no modo como considera a energia envolvida nas transformações estruturais, mas também por considerar apenas ruptura de ligações no papel. Mais ainda, a energia térmica fornecida para activar o sistema, a qual é consumida no modelo subtractivo, é conservada no modelo aditivo.

Exemplo:

"... fornecendo um bocado de energia as ligações separam-se existe nova libertação de energia que se vai juntar à outra e sempre assim ... quando rompe (as ligações) tenho impressão que liberta energia e quando forma absorve energia, portanto o resultado dessas duas é que vai dar a energia excedente que sai ..." [Aluno 11-06: A44, A47]

O "Modelo sequencial aditivo" pode ser considerado como uma situação de fronteira entre a primeira CR e a "Caixa de energia" que se segue.

6.3.1.3 - Caixa de energia

A energia fornecida pela chama do fósforo provoca ruptura de ligações no papel, com separação de átomos, podendo ser ou não consumida. Nessa ruptura liberta-se a energia que existia nas ligações. Esta energia ou esta energia somada com a energia inicial fornecida (no caso de ela não ter sido consumida) é a energia libertada na combustão.

Exemplo:

"... para as moléculas (do papel) se separarem é preciso a gente fornecer-lhe energia ... e elas por sua vez depois de estarem separadas ... libertam-nos a energia que nós lhe tínhamos fornecido em maior quantidade ... é como que uma retribuição do papel, da energia que nós lhe fornecemos, ele torna a mandá-la cá para fora ..." [Aluno 11-01: A42, A56]

A diferença principal entre esta CR e a anterior é de que no caso presente a formação de novas ligações ou não envolve energia ou também liberta energia a qual se adiciona à energia libertada na ruptura de ligações.

Trata-se pois de uma ideia do tipo "calórico": a libertação de energia possivelmente existente nas ligações, no papel inicial. Para tal acontecer é no entanto necessária a intervenção da chama do fósforo:

"... depois de se ter fornecido aquilo que é necessário para se dar a combustão esse processo vai-se desenvolver ... porque já tem o necessário ... esse necessário é acender o papel ..." [Aluno 11-15: A49, A50, A51]

6.3.1.4 - Substâncias combustíveis

Neste caso, a ideia prevalecente é de que as substâncias combustíveis quando ardem libertam energia; o papel é combustível; a energia libertada é a energia que o papel liberta quando arde.

Trata-se de uma ideia guiada pela utilização que é dada aos combustíveis, no dia-a-dia, sem qualquer explicação, a nível microscópico, para o modo como "os combustíveis libertam essa energia", nem sobre o processo de intervenção da chama do fósforo no iniciar da reacção. A energia inicial fornecida é apenas considerada a causa necessária, podendo ser ou não suficiente, para a reacção ocorrer.

Exemplos:

"... (há libertação de energia) porque o papel é combustível, por ele ser combustível é que há libertação de energia ..." [Aluno 09-21: A19]

"... (a energia veio) do papel, da combustão do papel ... se este bocado de papel liberta uma dada energia, o dobro ou o triplo deste eu creio que irá libertar o dobro ou o triplo da energia ..." [Aluno 11-16: A42, A88, A89, A90]

No caso do último aluno, há evidências de que o aluno considera a energia libertada pelo papel como uma propriedade extensiva o que, aliás, não contradiz o senso comum do "uso dos combustíveis como fontes de energia".

A ideia da energia libertada ser considerada proveniente do papel é, possivelmente, reforçada pelo facto de enquanto o papel está em combustão, a chama ser vista sobre ele: "... a chama saía do papel ..." [Aluno 09-07: A41]

6.3.1.5 - Outras

Caracterizam-se em seguida as ideias de dois alunos do 11^o ano classificados em "Outras".

(1) Para o aluno 11-11 o oxigénio é a fonte de energia para a ruptura de ligações no papel e, por sua vez, o papel (a sua chama) é a causa da ruptura no oxigénio. Existe pois uma interacção energética causal entre os reagentes, mas com diferente estatuto, um deles liberta e o outro absorve energia:

"... o papel tem que libertar energia que vem dessa própria transformação que ele está a sofrer, da ruptura de ligações ... é libertada energia (quando os átomos de oxigénio se separam) ... para haver essa separação é preciso que outra substância esteja ... a absorver energia que vai fazer com que essas ligações se separem libertando energia que vai alimentar a reacção que estava a ser efectuada ... esse calor que o oxigénio liberta vai servir de fonte constante para que a combustão do papel se efectue até ao fim ..." [Aluno 11-11: A15, A33, A39]

(2) Para o aluno 11-18 a explicação é baseada na ideia de que a energia que sai corresponde à que entrou, seja ela a chama do fósforo ou o oxigénio necessário à

combustão, e ainda aquela que existia no próprio papel para as suas partículas estarem ligadas:

"... (a energia vem) do fogo a que o papel está sujeito ... o papel é transformado ... e como há libertação de energia dessa parte, a juntar ao fogo que já tínhamos vai dar uma energia superior ... talvez na interligação das partículas houvesse energia ... quando o papel arde vai haver uma dispersão das partículas, então também se dispersa a energia ... essa energia são também partículas do oxigénio ... que se vão tornar outra vez em partículas iguais ao que eram ..." [Aluno 11-18: A20, A22, A25, A28]

Um aluno do 11^º ano [11-04] foi classificado em "Não identificada" por ter evidenciado diferentes ideias, sem se ter decidido por nenhuma delas:

"... penso que é do próprio fogo sozinho, provoca calor ... em contacto com o papel provocará também calor ... a energia vem da destruição talvez das ligações ... do papel ... quando há formação (de ligações) há libertação e quando há a destruição há absorção (de energia) ... talvez seja uma reacção de equilíbrio ..." [Aluno 11-04: A25, A26, A27, A45, A46, A49, A50]

6.3.2 - Extensão das categorias de resposta

Indica-se na tabela 6.2 a distribuição dos alunos pelas diferentes CR identificadas para a componente energética.

Dos resultados apresentados na tabela 6.2 pode verificar-se:

(1) Explicações sobre a componente energética envolvendo os dois sub-sistemas, reagente(s) e produto da reacção, são evidenciados apenas por 26,7% dos alunos do 11^º ano; no entanto, apenas metade destes, 13,3%, atribuem o mesmo estatuto a ambos os reagentes ("Modelo sequencial subtractivo"). Os outros consideram apenas um deles, o papel, como importante para a explicação energética associada à transformação.

Para nenhum destes alunos, nem mesmo para os do "Modelo sequencial subtractivo", existe a ideia de balanço energético visto estar presente uma visão de

sequencialidade para o processo, pelo que as respostas não correspondem à resposta adequada. Também nenhum deles explicou o envolvimento energético por transformação de energia potencial de ligação em energia cinética das partículas.

(2) Parece existir uma ideia de estatuto energético diferente entre o papel e o oxigénio (dominante para o papel) para todos os alunos do 9º ano e 66,7% dos alunos do 11º ano. Embora mais acentuada no grupo do 9º ano, trata-se de uma ideia bastante saliente para os alunos do 11º ano.

(3) As ideias apresentadas pelos alunos sobre a componente energética são predominantemente de índole macroscópica para o 9º ano (80,0%) e de índole microscópica para o 11º ano (73,3%) resultado que é concordante com o tipo de desenvolvimento dado ao tópico, nos correspondentes programas.

(4) As duas componentes (estrutural e energética) foram vistas de modo independente pelos alunos pois que:

(i) modelos energéticos macroscópicos foram conjugados com modelos estruturais do tipo microscópico ou do tipo macroscópico;

(ii) modelos estruturais microscópicos ("Aglutinação"), foram compatíveis para os alunos com os diferentes modelos energéticos identificados.

Tabela 6.2 - Distribuição dos alunos pelas CR identificadas para a componente energética ("Combustão do papel")

CR (DESIGNAÇÃO)	ANO DE ESCOLARIDADE		
	9º	11º	9º+11º:%
MODELO SEQUENCIAL SUBTRACTIVO	0	11-05 11-10	0+2:6,7%
MODELO SEQUENCIAL ADITIVO	0	11-06 11-07	0+2:6,7%
CAIXA DE ENERGIA	09-03 09-03 09-08	11-01 11-09 11-12 11-13 11-15	3+5:26,6%
SUBSTÂNCIAS COMBUSTÍVEIS	09-05 09-06 09-07 09-09 09-10 09-15 09-11 09-12 09-14 09-18 09-19 09-21	11-14 11-16 11-17	12+3:50,0%
OUTRAS	0	11-11 11-18	0+2:6,7%
NÃO IDENTIFICADA	0	11-04	0+1:3,3%

- CAPÍTULO 7 -

RESULTADOS DA ANÁLISE: REACÇÃO ENTRE O SÓDIO E A ÁGUA

7.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos por análise do conteúdo dos protocolos escritos dos alunos para a "Reacção entre o sódio e a água" (ver subsecção 3.5.2.3, para descrição detalhada da tarefa), relativamente aos aspectos estruturais e aos aspectos energéticos envolvidos na transformação.

Os protocolos completos são apresentados no Apêndice, vol. II, secção 3, págs. 533-734.

7.2 - CATEGORIAS DE RESPOSTA PARA A COMPONENTE ESTRUTURAL

7.2.1 - Natureza das categorias de resposta

Nenhum aluno evidenciou ideias de acordo com a resposta adequada (ver subsecção 4.6.2). As ideias inferidas e caracterizadas como categorias de resposta (CR) foram quatro, designadas por "Interacção sequencial", "Desidrogenação", "Aglutinação" e "Difusão". A saliência de cada CR é indicada na tabela 7.1.

As quatro ideias distribuem-se por dois grupos: um deles implicando existência de interacção entre os reagentes, e englobando a CR "Interacção sequencial"; o outro, englobando as restantes categorias, contemplando ideias de conservação de substância (por conservação de ligações químicas) em pelo menos um dos reagentes (água e/ou sódio), o que, obviamente, traduz a ideia de não interacção.

Neste último grupo de ideias podem distinguir-se duas situações: ou há ruptura de ligações químicas nas moléculas de água, ideia possivelmente guiada pela necessidade de justificar a libertação do hidrogénio, "Desidrogenação", ou a interpretação do fenómeno não pressupõe qualquer alteração das ligações existentes nas moléculas de água, caso das outras duas categorias de resposta. No entanto, neste caso, é possível distinguir ainda duas ideias. A primeira prevê a ocorrência de "ligação" entre as moléculas da água e os átomos (ou "moléculas") do sódio para explicar a composição do sistema final, caso da CR "Aglutinação", enquanto a segunda admite a mistura das unidades constituintes da água e do sódio, sem qualquer modificação, i.e., um modelo do tipo encaixe das partículas do sódio entre as moléculas de água, "Difusão".

Definem-se a seguir cada uma das quatro categorias de ideias identificadas, e apresentam-se exemplos de evidências comportamentais.

7.2.1.1 - Interação sequencial

A transformação ocorre em dois estádios sequenciais: primeiro, há ruptura de ligações O-H nas moléculas de água envolvidas na reacção, e entre os átomos de sódio (considerados com estrutura metálica ou "molecular"), e, em seguida, há formação de novas ligações (de tipo não especificado) entre átomos separados (ou Na-O, ou Na-OH, ou H-H). Na fase gasosa existe apenas hidrogénio (átomos ou moléculas); na fase aquosa existe o sódio "ligado" com o oxigénio (Na-O ou Na-OH). Para estes alunos a chama não está relacionada com a saída de sódio para a fase gasosa.

Exemplo:

"... a água irá dividir-se num átomo de hidrogénio separado, irão ficar só um átomo de hidrogénio e um átomo de oxigénio ligados que irão depois reagir com o sódio, portanto irá ficar NaOH ... (a água) terá separado os átomos constituintes duma molécula de sódio, de várias ... visto que cada molécula (de sódio) tem dois átomos ... esse átomo de hidrogénio que ficou separado ... irá obter o electrão que lhe falta ... será esse talvez o fumo que se vê libertar ..." [Aluno 11-09: A43, A52, A55, A44]

A categoria de resposta do tipo "Interação sequencial" foi já identificada a propósito da "Cozedura do ovo" e da "Combustão do papel".

7.2.1.2 - Desidrogenação

Há fragmentação das moléculas de água com separação entre átomos de oxigénio e de hidrogénio; as partículas H ou H₂ libertam-se no fumo; o oxigénio separado "liga-se" com o sódio.

Exemplos:

"... os átomos (da molécula de água) começam a separar-se ... as moléculas (de água) ... separam-se, juntaram-se com o sódio e libertou-se hidrogénio ... libertou-se o outro átomo de hidrogénio ..." [Aluno 09-06: A57, A65, A78]

"... portanto a água em contacto com isto também se irá dissociar, portanto o oxigénio vai entrar na formação do óxido de sódio ... e o H₂ vai passar a uma partícula só, a molécula sozinha ..." [Aluno 11-16: A32]

Para os alunos incluídos nesta CR o que acontece aos reagentes é apenas justificativo para a libertação de hidrogénio que recordam ocorrer nesta reacção (situação de sala de aula). Assim, o hidrogénio libertado terá de vir da água já que o sódio não contém hidrogénio. Para tal terá de haver fragmentação da molécula de água a qual pode ocorrer com separação de átomos (ou de moléculas H₂, como foi o caso do aluno 11-16, o qual admite a conservação do hidrogénio dentro da moléculda de água).

A CR "Desidrogenação" é pois um modelo causal, guiado para justificar a libertação de hidrogénio. Note-se no entanto que o hidrogénio gasoso referido, não correspondeu à resposta adequada pois que não foi considerado por estes alunos a formação de moléculas H₂.

Para 80% destes alunos algum sódio passa para o ar e ocorre então a sua combustão, o que explica a chama observada. Os restantes, 20%, dizem não saber a que é devida a chama.

7.2.1.3 - Aglutinação

Há modificação estrutural das unidades constituintes do sódio metálico (ou por ruptura de ligações do tipo "intramolecular", ou por separação entre átomos/partículas, ou por libertação de electrões dos átomos de sódio). As partículas resultantes de tais

modificações no sódio (por exemplo, átomos ou "moléculas" de sódio) "ligam-se" com moléculas de água, as quais se conservam. Eventualmente algum sódio passa para a fase gasosa, o que para 50% dos alunos desta CR explicaria o fumo; para os restantes alunos desta CR o fumo ou teve outra origem "... é vapor de água ou é ar" (aluno 09-07), ou simplesmente não foi referido.

Exemplos:

"... nós tínhamos água e tínhamos sódio e agora temos um hidróxido ... são as duas substâncias dissolvidas ... o sódio ao dissolver-se na água as partículas vão-se juntar, por exemplo neste caso uma molécula de água vai-se juntar a uma de sódio..." [Aluno 09-07: A34, A35, A40]

"... (no sódio) existem moléculas de sódio ... formadas por átomos ... há como que uma junção de um ou mais átomos de sódio à molécula de água ... (as moléculas de sódio) separam-se totalmente, porque o pedacinho de sódio sólido desapareceu ... porque houve uma destruição completa da estrutura que ele tinha ..." [Aluno 11-01: A38, A41, A44, A49]

Para estes alunos apenas o sódio sofreu alteração prévia antes de se "ligar" com as moléculas da água. A ideia de uma função mais passiva para a água poderá ser, eventualmente, reforçada pela conservação do aspecto da água no sistema final.

7.2.1.4 - Difusão

Há conservação da água e do sódio, os quais formam uma mistura. As partículas de sódio (átomos ou moléculas) separam-se, eventualmente, e vão ocupar os espaços vazios existentes entre as moléculas de água. Algum sódio pode passar para o ar, e ocorrer aí a sua combustão (explicação do fumo e/ou origem da chama).

Exemplos:

"... as moléculas de sódio desagregam-se ... e (o sódio) fica diluído em água ... há espaços entre as moléculas da água e são ocupados pelas partículas do sódio ... (o fumo) foi o resto da substância do sódio que não se pôde diluir na água ... a água manteve as suas ligações inalteráveis, o sódio parte ficou diluído na água, dissolvido na água, outra parte no fumo..." [Aluno 11-12: A29, A30, A32, A33, A35]

"... visto que às vezes surgiu uma chama portanto há combustão logo ... havendo combustão ... há fumo que se liberta ... o sódio desapareceu ... já não se vê, portanto acho que foi a combustão do sódio ..." [Aluno 11-13: A57, A58]

Note-se que esta CR explica o fenómeno em termos de uma dissolução, portanto sem modificação de ligações químicas. Os alunos parecem ser guiados, na explicação adoptada, pela observação do pedacinho de sódio ir diminuindo e a água, no seu entender, permanecer sem alteração.

7.2.1.5 - Outras

Resta agora caracterizar as ideias de seis alunos não classificados em nenhuma das categorias anteriores.

(1) e (2) Dois destes alunos (11-11 e 11-14) consideram existir não conservação da água (ruptura de ligações O-H) e não conservação do sódio (ruptura de ligações na "molécula de sódio"). Os átomos de oxigénio libertados da molécula de água ou vão provocar a combustão do sódio, consumindo-se por isso (caso do aluno 11-11), ou vão "ligar-se" depois com os átomos de sódio, formando óxido de sódio, responsável pelo fumo (caso do aluno 11-14). Quanto ao hidrogénio resultante da cisão da molécula de água ou se "liga" com o sódio e existe no conteúdo final da tina (aluno 11-11), ou não lhe é feita referência nos produtos da reacção (aluno 11-14). Em resumo, para estes dois alunos, existe uma visão da transformação por não conservação das substâncias iniciais, o que implica ruptura de ligações (embora inadequadas quer quanto à sua natureza no caso do sódio, quer quanto ao número, no caso da molécula de água). No entanto, não existe articulação entre o fenómeno de ruptura e fecho de novas ligações, pois que os átomos de oxigénio ou são usados para a combustão do sódio ou se ligam com o sódio, formando óxido de sódio, o componente do fumo.

Ambas as explicações são, possivelmente, guiadas pelos aspectos fenomenológicos observados: a chama, no caso da "combustão" e o fumo. No que respeita ao hidrogénio proveniente da água, ou permanece na tina, "ligado" com o sódio

que não entrou em combustão (aluno 11-11) ou simplesmente é ignorado no sistema final (aluno 11-14).

(3) e (4) Dois outros alunos (09-21 e 11-18) consideram não conservação das moléculas de água, com separação entre oxigénio e hidrogénio. Para um deles (09-21) os átomos de hidrogénio libertam-se da solução, para o outro (11-18) esses átomos ficam misturados na água. Quanto ao oxigénio, um dos alunos (09-21) não o considera no sistema final, e o outro (11-18) considera que ele tem dois destinos diferentes: parte liberta-se e constitui o fumo, e o restante "liga-se" com o sódio. O aluno do 9º ano, 09-21, apresenta sobre o sódio uma ideia idiossincrásica, considerando-o constituído por átomos de hidrogénio e outros. Os átomos de hidrogénio do sódio libertam-se da solução, juntamente com os provenientes da água (ideia possivelmente guiada pelo conhecimento da libertação de hidrogénio nesta reacção), e os restantes átomos de sódio, i.e., os que não são de hidrogénio, ficam misturados na água.

(5) e (6) Quanto aos restantes dois alunos, (11-04 e 09-14), existe falta de evidências sobre o tipo de transformação. O aluno 11-04 considera que o sódio se dissolveu na água e que se formou uma nova substância o NaOH; o aluno 09-14 admite que o sódio originou um gás (óxido) parte do qual se libertou (o fumo), ficando o restante misturado na água a qual, por isso, fica turva.

7.2.2 - Extensão das categorias de resposta

Indica-se na tabela 7.1 a distribuição dos alunos pelas diferentes CR identificadas para a componente estrutural.

Dos resultados apresentados na tabela 7.1 pode verificar-se:

Tabela 7.1 - Distribuição dos alunos pelas CR identificadas para a componente estrutural ("Reacção entre o sódio e a água")

CR (DESIGNAÇÃO)	ANO DE ESCOLARIDADE		
	9º	11º	9º+11º:%
INTERACÇÃO SEQUENCIAL	0	11-05 11-06 11-09 11-10	0+4:13,3%
DESIDROGENAÇÃO	09-02 09-06 09-19	11-15 11-16	3+2:16,7%
AGLUTINAÇÃO	09-03 09-07 09-08 09-09 09-12	11-01	5+1:20,0%
DIFUSÃO	09-05 09-10 09-11 09-15 09-18	11-07 11-12 11-13 11-17	5+4:30,0%
OUTRAS	09-14 09-21	11-11 11-14 11-04 11-18	2+4:20,0%

(1) Nenhum aluno do 9º ano evidenciou ideias sobre a existência de interacção entre os reagentes (i.e., não conservação de ambos), e dos alunos do 11º ano apenas 40,0% tal considerou ("Interacção sequencial" e "Outras": 11-11 e 11-14). No entanto, a ideia destes alunos não correspondeu à R.A. porque todos eles consideraram os processos de ruptura e fecho de ligações como sequenciais.

(2) A ideia de conservação de reagentes (um ou ambos) parece ter sido uma ideia muito saliente para os alunos ("Desidrogenação", "Aglutinação" e "Difusão"): 86,7% dos alunos do 9º ano e 46,7% dos alunos do 11º ano. Embora a saliência da ideia tenha sido maior no 9º ano, trata-se de uma ideia bastante popular no 11º ano.

(3) Para os alunos do 9º ano a interpretação preferida por 66,7% da amostra foi para explicações do tipo "dissolução do sódio na água" ou "junção de átomos de sódio a moléculas de água", enquanto para os alunos do 11º ano a preferência (53,3%) foi para explicações envolvendo não conservação dos reagentes: "Interacção sequencial", "Desidrogenação" (neste caso o sódio foi considerado ser constituído por átomos não ligados) e "Outras" (11-11 e 11-14), embora não conforme previsto na R.A.. No entanto, ideias como as apresentadas pelo grupo do 9º ano acima referido foram ainda encontradas em 33,3% dos alunos do 11º ano. A importância dos resultados obtidos é acrescida pelo facto de a reacção química envolvida ser contemplada no programa do 9º ano e ter sido uma experiência realizada na sala de aula dos alunos envolvidos no estudo.

(4) Parece existir uma ideia de diferente estatuto entre o sódio e a água a nível estrutural, por considerarem existir ruptura de ligações, em apenas um dos reagentes (4 alunos do 9º ano: 09-06, 09-03, 09-12, 09-14; 4 alunos do 11º ano: 11-15, 11-16, 11-01, 11-18). Diferente estatuto pareceu ainda existir na CR "Difusão" onde o sódio foi considerado como tendo um papel mais activo na "dissolução" relativamente à água que assumiu apenas a função de estrutura para encaixe (5 alunos do 9º ano e 4 alunos do 11º ano). A ideia de diferente estatuto para os reagentes parece ter sido bastante saliente para os alunos e sem grande diferença nos dois níveis: 60,0% dos alunos do 9º ano e 53,3% dos alunos do 11º ano. Destes alunos, 8 do 9º ano e 6 do 11º ano destacaram o sódio como tendo um papel mais importante do que a água, no desenrolar da reacção.

(5) As ideias dos alunos sobre o produto de reacção no estado gasoso foram diversificadas: 33,3% dos alunos, com preponderância dos do 11º ano consideraram-no constituído por hidrogénio (atómico ou molecular), 43,3% dos alunos (6 do 9º e 7 do 11º ano) admitiram que foi originado a partir da água ou do sódio (com grande saliência para a ideia de "combustão do sódio") e os restantes 23,4% atribuíram a sua origem a outras causas (ar ou vapor de água) não relacionadas com os reagentes ou simplesmente não o referiram como observável na reacção (3 do 9º e 2 do 11º ano).

7.3 - CATEGORIAS DE RESPOSTA PARA A COMPONENTE ENERGÉTICA

7.3.1 - Natureza das categorias de resposta

Nenhum aluno evidenciou ideias de acordo com a resposta adequada (ver subsecção 4.6.3). As ideias classificadas como categorias de resposta foram quatro: "Libertação", "Absorção", "Espontâneo" e "Indução". A saliência de cada CR é indicada na tabala 7.2.

As explicações apresentadas pelos alunos sobre a origem da energia libertada são de dois tipos: microscópico e envolvendo preferencialmente o subsistema dos produtos da reacção, e macroscópico envolvendo, com preferência, o subsistema dos reagentes.

No caso das CR "Libertação" e "Absorção", em ambas o aumento da temperatura é considerado corresponder a um aumento de energia no sistema final (identificação entre temperatura e energia); esse aumento de energia pode resultar da energia libertada no processo de formação de novas ligações ("Libertação") ou da energia que as novas ligações absorveram para se formarem ("Absorção"). No primeiro caso, não existem evidências de que a temperatura seja identificada com energia de ligação, enquanto no segundo tal identificação é evidenciada. Para ambas as CR a

energia envolvida na ruptura de ligações nos reagentes (endo ou exo) não é articulada, em termos de resultante energética, com a energia envolvida na formação das novas ligações.

Quanto às CR relativas ao subsistema dos reagentes a energia associada à transformação foi libertada pelo sódio, espontaneamente no caso de "Espontâneo" ou induzida pela água no caso de "Indução". A energia que a água recebe do sódio é responsável pelo aumento de temperatura verificado no sistema final (novamente identificação entre temperatura e energia). O sódio liberta energia para a água e para o ar. A energia recebida pela água pode provocar nesta ruptura de ligações (caso de dois alunos em "Indução" e de três alunos em "Espontâneo"), mas para nenhum desses alunos existe evidência sobre a ideia de resultante energética.

Seguidamente apresentam-se as definições de cada uma das categorias de resposta identificadas e exemplos de evidências comportamentais que as suportam.

7.3.1.1 - Libertação

A formação de novas ligações nos produtos da reacção ocorre com libertação de energia, a qual fica no sistema final e, por isso, aumenta a temperatura deste.

Exemplo:

"... (a temperatura no final aumentou) porque foi preciso fornecer energia para romper as ligações, portanto houve ali a energia do sódio, em contacto com a água criou uma fonte de energia ali que rompeu as moléculas e a estrutura do sódio ... mas por sua vez essa energia (do sódio) foi libertar-se quando houve a ligação ... da molécula da água com mais algumas substâncias de sódio, portanto na formação de novas ligações vai haver uma libertação de energia ..." [Aluno 11-01: A58, A59]

Não existem evidências de que para estes alunos a temperatura seja identificada com energia de ligação. A ruptura de ligações embora possa envolver energia, tal energia não é articulada, em termos de resultante energética, com a energia libertada pela formação de ligações nos produtos da reacção. Parece tratar-se de uma explicação para a "conservação" da energia em termos da circulação da energia entre produtos e reagentes.

7.3.1.2 - Absorção

A formação de novas ligações nos produtos da reação que existem no sistema final ocorre com absorção de energia; os produtos ficam portanto com mais energia e, por isso, a temperatura aumenta.

Exemplos:

"... (quando se formam novas ligações) há absorção de energia, porque a substância fica com maior temperatura que a anterior ..." [Aluno 11-11: A33]

"... (a temperatura no final é superior) é essa absorção de energia, da formação do NaOH, o hidróxido de sódio ..." [Aluno 11-09: A62]

Para estes alunos a temperatura é associada a energia de ligação. A ruptura de ligações nos reagentes envolve energia, mas essa energia não é articulada com a energia absorvida pelos produtos.

7.3.1.3 - Espontâneo

O sódio liberta, espontaneamente, energia para a água, e, por isso, a temperatura desta aumenta. Parte da energia libertada pelo sódio poderá também ir para o ar.

Exemplos:

"... o sódio ao colocar-se na água foi reagir com esta e por sua vez ao reagir foi-se consumir e foi libertar calor que passou para a água, tendo a temperatura da água aumentado ... parte dela (da energia) sai para o exterior e outra parte fica na água ... o sódio na sua combustão vai aquecer a água ..." [Aluno 11-15: A15, A23, A33]

"... houve libertação (de energia) por parte do sódio, ele ia libertando energia à medida que ... reagia com a água ... e a água absorveu a energia ... ficou assim mais quente ..." [Aluno 09-09: A18, A21, A22]

"... na água houve absorção (de energia) ... porque aumentou a temperatura ... libertação de energia que tinha o sódio e a água absorveu parte dessa energia ... a outra parte foi para o ar ..." [Aluno 09-03: A48, A49, A51, A52]

Para estes alunos o sódio foi responsável pela energia libertada, assumindo a água apenas o papel de aceitador dessa energia, embora para alguns deles (11-14, 11-15 e 09-19) tal energia tenha provocado, na água, ruptura de ligações (não existiram, no entanto, ideias de resultante energética).

7.3.1.4 - Indução

A água fornece energia ao sódio o qual, por sua vez, liberta energia para o ar (eventualmente) e para a água, e, por isso, a temperatura desta aumenta.

Exemplos:

"... (a temperatura da água aumentou) porque a água transmitiu energia, portanto fez com que o sódio reagisse ... e transmitiu energia à água que fez aumentar a temperatura da água..." [Aluno 11-12: A35]

"... eu acho que o sódio que absorveu energia para reagir ... da água ... (a temperatura no fim aumentou) porque o sódio depois, depois de absorver essa energia da água, compensou e deu a sua energia à água ..." [Aluno 09-14: A53, A54, A55]

O importante a salientar nesta CR é que a energia libertada, responsável pelo aumento da temperatura, veio do sódio; a água funcionou apenas como uma espécie de "activação térmica" do sódio.

7.3.1.5 - Outras e Não identificada

Discutem-se em seguida as ideias de três alunos classificadas em "Outras" e "Não identificada".

(1) "... (houve) libertação (de energia) ... porque houve aumento de temperatura ... ao fornecer energia as moléculas agitam-se e vão arrumar aí uma nova temperatura ... o sódio reage com a água ... libertando um electrão que tem na última camada ... libertando talvez energia ..." [Aluno 09-21: A54, A55, A62, A66]

Para este aluno o sódio foi a fonte de energia, mas existiu uma causa estrutural para a libertação dessa energia: a saída do electrão de valência. Parece existir evidência de que o aluno relacionou a temperatura com a agitação das moléculas.

(2) A temperatura do sistema aumenta porque houve passagem de energia (calorífica) do exterior para dentro do sistema. Trata-se de um modelo físico de condução da energia independente da reacção química, sobre a qual, aliás, o aluno (11-16) evidenciou uma interpretação estrutural:

"... (a temperatura aumentou) porque a reacção para se fazer teve de absorver energia ... (essa energia veio) do meio exterior ..." [Aluno 11-16: A49, A50]

(3) Ausência de evidências sobre a variação de energia no sistema, "Não identificada" (aluno 09-15).

7.3.2 - Extensão das categorias de resposta

Indica-se na tabela 7.2 a distribuição dos alunos pelas diferentes CR identificadas para a componente energética.

Dos resultados indicados na tabela 7.2 pode verificar-se:

(1) Não existiu para nenhum dos alunos uma visão da energia associada à transformação em termos de resultante energética. A concepção do sistema reaccional, nos seus aspectos energéticos, foi compartimentada, considerando-se centrada ou nos reagentes (66,7% do total dos alunos) ou nos produtos da reacção (26,7% do total dos alunos). Todos os alunos do 9º ano centraram a explicação no sistema dos reagentes (exceptua-se o caso do aluno 09-15 que não evidenciou qualquer explicação); dos alunos do 11ºano, 40,0% centraram a explicação sobre o sistema dos reagentes e 53,3% sobre o sistema dos produtos da reacção.

(2) Parece ter existido uma ideia de estatuto energético diferente entre a água e o sódio (dominante para o sódio), em particular para aqueles alunos que centraram a explicação em torno do sistema dos reagentes.

Tabela 7.2 - Distribuição dos alunos pelas CR identificadas para a componente energética ("Reacção entre o sódio e a água")

CR (DESIGNAÇÃO)	ANO DE ESCOLARIDADE		
	9º	11º	9º+11º:%
LIBERTAÇÃO	0	11-01 11-04 11-05 11-06 11-10	0+5:16,7%
ABSORÇÃO	0	11-09 11-11 11-18	0+3:10,0%
ESPONTÂNEO	09-03 09-05 09-07 09-08 09-09 09-10 09-11 09-12 09-18 09-19	11-07 11-13 11-14 11-15 11-17	10+5:50,0%
INDUÇÃO	09-02 09-06 09-14	11-12	3+1:13,3%
OUTRAS + + NÃO IDENTIFICADAS	09-15 09-21	11-16	2+1:10,0%

(3) As ideias apresentadas sobre a componente energética foram no 9º ano predominantemente de índole macroscópica (73,3%) e no 11º ano predominantemente do tipo microscópico (86,7%). Este resultado é concordante com o tratamento previsto pelos respectivos programas de Química.

(4) Parece ter existido conjugação de ideias de conservação das moléculas de água e preponderância do sódio como fonte de energia: 13 dos 15 alunos que admitiram conservação das moléculas de água assim o consideraram. Esta conjugação foi mais acentuada no 9º ano (60,0%) do que no 11º ano (26,7%).

No caso dos alunos que apresentaram ideias de não conservação de reagentes, eles dividiram-se quanto aos aspectos energéticos, em números iguais, por explicações centradas sobre o subsistema dos reagentes e sobre o subsistema dos produtos da reacção; parece pois não ter existido preferência por um tipo de associação de ideias.

7.3.3 - Ideias sobre a origem da chama

Na reacção entre o sódio e a água, a chama intermitente que se observa é um dos aspectos fenomenológicos (juntamente com a movimentação do sódio) que maior espanto criam nos alunos e que normalmente são salientados pelos manuais escolares e pelos professores (quando a reacção se processa sem ocorrência de chama, o professor, em geral, repete a experiência).

No presente estudo verificou-se que as ideias evidenciadas pelos alunos sobre a origem/causa da chama podem classificar-se em três tipos: (1) resposta adequada, (2) senso comum e fenomenológico, e (3) outras.

No caso (1) a chama resulta da combustão de hidrogénio; no caso (2) a chama é resultante ou de uma combustão (combustão do sódio), ou da libertação de grande quantidade de energia (da reacção, ou do sódio) a qual estará associada a aumento de temperatura.

Relativamente à categoria "senso comum e fenomenológico", a chama resultou ou de uma combustão (a combustão do sódio): "... visto que às vezes surgiu uma chama portanto há combustão logo ... acho que foi a combustão do sódio ..." [Aluno 11-13: A57, A58]; ou da libertação de grande quantidade de energia (da reacção ou do sódio): "... talvez seja energia que não se consegue dissipar em calor através da água ... e sai então na forma de labareda, de chama ..." [Aluno 11-12: A34].

No grupo (3) incluem-se ideias diversas, por exemplo, a chama resultaria do choque entre partículas, da destruição do sódio e ainda respostas do tipo "não sei".

Exemplos:

"... e também quando o sódio batia na beira da tina libertava-se uma chama ... foi com as bolhas de oxigénio quando o sódio bateu que deu a chama ..." [Aluno 09-03: A30, A31]

"... acho que não é qualquer substância que origina isso (a chama) ... isso já é da maneira como o sódio é constituído ... se puséssemos mais sódio eu acho que ainda fazia chama maior ..." [Aluno 09-15:A65, A66]

Tabela 7.3 - Distribuição dos alunos pelas ideias identificadas sobre a origem da chama

CR (DESIGNAÇÃO)	ANO DE ESCOLARIDADE		
	9º	11º	9º+11º:%
(1) R.A.	0	11-10	0+1:3,3%
(2) SENSO COMUM + FENOMENOLÓGICO	09-02 09-05 09-07 09-08 09-11 09-14 09-18 09-19	11-01 11-06 11-07 11-11 11-12 11-13 11-14 11-15 11-16 11-17 11-18	8+11:63,4%
(3) OUTRAS	09-03 09-06 09-09 09-10 09-12 09-15 09-21	11-04 11-05 11-09	7+3:33,3%

Dos resultados indicados na tabela 7.3 verifica-se, relativamente à origem/causa da chama observada que

(1) À excepção de um aluno do 11^º ano todos os outros apresentaram respostas não adequadas.

(2) A maioria dos alunos (53,3% dos alunos do 9^º ano e 73,3% dos alunos do 11^º ano) interpretou a existência da chama em termos de "combustão do sódio", o reagente que viram consumir-se, ou associaram-na a ideias do senso comum, como "grande libertação de energia" (normalmente vinda do sódio), e "elevação de temperatura". É provável que experiências do quotidiano, por exemplo a utilização de combustíveis, nas quais é usual a formação de chama, tenham desempenhado um papel importante nas interpretações apresentadas pelos alunos e mais ainda no 11^º ano. Para muitos dos alunos desta CR e da CR "Outras" o sódio parece ter desempenhado uma função mais importante do que a água na formação da chama.

A diferença entre os valores encontrados para os dois anos, nesta CR, não significa necessariamente um maior afastamento do 11^º ano relativamente à resposta adequada. Note-se que se verificou maior preferência no 9^º ano do que no 11^º ano, por ideias do tipo "Outras".

(3) Um terço dos alunos apresentaram outro tipo de ideias, por exemplo, do tipo mecanicista (choques), e dentro destes, 20,0% dos alunos do 9^º ano, disse não saber qual a causa da chama.

(4) Parece ter existido associação de ideias dos alunos sobre a origem da chama e a energia envolvida na reacção. Com efeito, ideias de "combustão do sódio" são evidenciadas apenas por alunos que atribuem a libertação de energia ao sódio ("Espontâneo" e "Indução"). Em particular, a associação mais preferida pelos alunos verificou-se entre a CR "Espontâneo" e uma visão de senso comum do tipo "chama é

energia", possivelmente guiada por premissas do tipo: (i) se há chama há energia libertada, (ii) se há energia há uma fonte, (iii) o sódio é a fonte da energia.

Assim, parece ser importante dedicar particular atenção durante o ensino, a manifestações do tipo chama que acompanham algumas reacções químicas. Dos resultados obtidos neste estudo será de prever que os alunos possam eventualmente atribuir a chama a causas variadas, nomeadamente a um dos reagentes, aquele que considerarem preponderante na reacção, ou considerarem tal chama resultante de uma combustão, não necessariamente a adequada. No capítulo 9 apresentam-se sugestões didácticas a ter em conta quanto a este aspecto.

- CAPÍTULO 8 -

RESULTADOS DA ANÁLISE: REACÇÃO ENTRE O CLORETO DE AMÓNIO E A ÁGUA

8.1 - INTRODUÇÃO

Este capítulo destina-se a apresentar os resultados obtidos por análise do conteúdo dos protocolos escritos dos alunos para a "Reacção entre o cloreto de amónio e a água" (ver subsecção 3.5.2.4, para descrição detalhada da tarefa), quer quanto aos aspectos estruturais, quer quanto aos aspectos energéticos da transformação.

Os protocolos completos são apresentados no Apêndice, vol. II, secção 4, págs.737-930.

8.2 - CATEGORIAS DE RESPOSTA PARA A COMPONENTE ESTRUTURAL

8.2.1 - Natureza das categorias de resposta

Nenhum aluno evidenciou ideias de acordo com a resposta adequada (ver subsecção 4.6.2). As ideias referidas e caracterizadas como categorias de resposta (CR) foram cinco, designadas por "Interacção sequencial", "Fragmentação", "Aglutinação", "Difusão" e "Mistura". A saliência de cada CR é indicada na tabela 8.1.

Apenas na CR "Interacção sequencial" é considerado existir interacção entre os reagentes. Nas restantes quatro categorias de resposta tal ideia não é tida como presente, verificando-se, portanto, conservação de um ou de ambos os reagentes. Exceptuando a CR "Fragmentação" todas as outras categorias de resposta não envolvem qualquer

modificação das unidades estruturais (consideradas como moléculas) dos dois reagentes.

Aquilo que distingue essas três categorias é o modo como conciliam essa conservação com a alteração macroscópica visível. Assim, as posições dividem-se entre a ideia de que há "ligação química" entre as "unidades estruturais" de cada um dos reagentes, na "Aglutinação", ou não existe tal "ligação", nas restantes duas categorias. Neste último caso um dos reagentes é considerado como possuindo uma estrutura do tipo molde, onde se encaixam as "unidades estruturais" do outro ("Difusão"), ou então não existe nenhum modelo microscópico que explique a formação do sistema final e este é considerado como constituído pelos dois reagentes misturados ("Mistura").

Definem-se a seguir cada uma das cinco categorias de ideias identificadas, e apresentam-se exemplos de evidências comportamentais.

8.2.1.1 - Interacção sequencial

A transformação ocorre em dois estádios sequenciais: primeiro, há ruptura de ligações do tipo intramolecular nas unidades estruturais dos reagentes, e, em seguida, há formação de novas ligações originando novas espécies químicas.

Exemplo:

"...talvez as moléculas do cloreto de amónio tenham-se separado, juntando-se com as da água separando-as também ... depois talvez se juntem os (átomos) que eram da água com os do cloreto de amónio ..." [Aluno 11-10: A24, A46]

Excluindo o aspecto da sequencialidade trata-se da utilização acrítica de um modelo de reacção química. Os alunos parecem desconhecer a natureza das unidades estruturais e, conseqüentemente, a sua organização e transpõem para a situação o caso geral de uma reacção química. Esta foi, de entre as ideias evidenciadas, a mais próxima da resposta adequada.

8.2.1.2 - Fragmentação

Há modificação estrutural , ruptura de ligações, apenas nas unidades constituintes de um dos reagentes, o cloreto de amónio. Os "fragmentos" resultantes ou se "ligam" com as moléculas de água ou simplesmente se distribuem entre elas.

Exemplo:

"... há uma ruptura das ligações do cloreto de amónio ... quando se rompem as ligações do cloreto de amónio a água não sofre qualquer ruptura ..." [Aluno 11-01: A47, A51]

O importante a salientar é que a interpretação sobre a alteração microscópica é concordante com a alteração observada (a nível macroscópico). Com efeito, o sistema final tem aspecto idêntico à água, o componente que é considerado como conservando-se.

8.2.1.3 - Aglutinação

As unidades estruturais constituintes da água e do cloreto de amónio (consideradas como moléculas) "ligam-se" entre si, originando assim outras unidades responsáveis pelo sistema final.

Exemplo:

"... as moléculas do cloreto de amónio e as moléculas da água juntam-se ... transformam-se em novas moléculas ... " [Aluno 09-03: A59, A61]

A ideia apresentada pelos alunos é de conservação das substâncias iniciais: o produto da reacção é constituído pelos dois reagentes "ligados" entre si. Ideias do mesmo tipo foram identificadas também na "Combustão do papel" e na "Reacção entre o sódio e a água".

8.2.1.4 - Difusão

As unidades estruturais ("moléculas") do cloreto de amónio separam-se umas das outras e encaixam-se nos espaços vazios existentes entre as moléculas de água.

Exemplos:

"... acho que continua a haver cloreto de amónio e água lá dentro, moléculas duma e moléculas doutro ... o cloreto de amónio ao ser dissolvido na água, as suas moléculas afastam-se umas das outras e dissolvem-se na água ... o cloreto de amónio ... tem as suas moléculas mais espalhadas ... continuamos a ter a água e o cloreto de amónio ali ..." [Aluno 11-17: A43, A44, A58, A60]

"... o cloreto de amónio vai ocupar os espaços existentes entre as moléculas da água ... a água vai ficar portanto com o espaço praticamente ocupado, todo o espaço entre as moléculas ... não há formação de novas substâncias, o sal vai somente ocupar os espaços entre as moléculas ..." [Aluno 11-07: A24, A25, A31]

Para estes alunos a reacção observada foi considerada a dissolução do cloreto de amónio na água, conforme o modelo introduzido a nível do 2º ciclo do Ensino Básico, desempenhando a água um papel passivo aceitador das "moléculas" do cloreto de amónio, nos espaços que existem entre as suas próprias moléculas. A conservação microscópica da água é, para estes alunos, concordante com a conservação do aspecto da água no sistema final.

8.2.1.5 - Mistura

No sistema final existem, misturados, a água e o cloreto de amónio que foram introduzidos dentro do copo.

Exemplo:

"... resultou como se fosse a substância só a água ... é o que se vê, é como se fosse só água, uma pessoa que veja assim não diz que tem também cloreto de amónio ... a água dissolveu o cloreto de amónio ..." [Aluno 09-15: A25, A27]

Nesta CR os alunos não fizeram qualquer referência a aspectos microscópicos. Trata-se de uma ideia do tipo meramente descritivo, contemplando ideias de conservação de ambos, "... o cloreto de amónio agora está ali dentro na água..." (Aluno 09-19: A50), eventualmente atribuindo ao componente inicial que se tornou não observável no sistema final, a mudança da propriedade que o distinguia do outro, "... o cloreto de amónio era branco e passou a ser incolor juntamente com a água ..." (Aluno 09-11: A51).

Por fim, resta caracterizar a ideia de um aluno classificado em "Outra" e apresentar as razões que levaram a incluir em "Não identificadas" as ideias de quatro alunos.

8.2.1.6 - Outra e Não identificadas

A ideia classificada em "Outra" considera que ocorre "reacção" entre o cloreto de amónio e o oxigénio da água, provocando libertação de oxigénio (Aluno 11-18).

As razões que levaram a classificar em "Não identificadas" as ideias de quatro alunos foram ausência de evidências sobre: (1) o processo de formação do sistema final (Aluno 09-07); (2) não conservação dos reagentes, nem sobre a sua conservação. Aliás não há referência a aspectos microscópicos (Aluno 09-08); (3) o processo de formação das "novas substâncias" (Aluno 09-18); (4) aquilo em que "outra substância qualquer resultante desses dois elementos" seja diferente de "água - cloreto de amónio" (Aluno 09-21).

8.2.2 - Extensão das categorias de resposta

Indica-se na tabela 8.1 a distribuição dos alunos pelas diferentes CR identificadas, para a componente estrutural.

Dos resultados apresentados na tabela 8.1 pode verificar-se:

(1) Nenhum aluno do 9º ano apresentou ideias de interacção entre os reagentes, e dos alunos do 11º ano apenas 20,0% tal considerou ("Interacção sequencial"). No entanto, a interacção aqui considerada não corresponde à resposta adequada quer por não terem admitido a simultaneidade dos processos de ruptura e fecho de ligações, quer pela natureza das ligações envolvidas. Com efeito, não foi considerada a natureza iónica do cloreto de amónio e as ligações em ruptura foram do tipo intramolecular em ambos os reagentes.

Tabela 8.1 - Distribuição dos alunos pelas CR identificadas para a componente estrutural ("Reacção entre o cloreto de amónio e a água")

CR(DESIGNAÇÃO)	ANO DE ESCOLARIDADE		
	9º	11º	9º+11º:%
INTERACÇÃO SEQUENCIAL	0	11-06 11-10 11-15	0+3:10,0%
FRAGMENTAÇÃO	09-12	11-01 11-12	1+2:10,0%
AGLUTINAÇÃO	09-02 09-03	11-04	2+1:10,0%
DIFUSÃO	09-05 09-06	11-05 11-07 11-13 11-17	2+4:20,0%
MISTURA	09-09 09-10 09-11 09-14 09-15 09-19	11-09 11-11 11-14 11-16	6+4:33,4%
OUTRA	0	11-18	0+1:3,3%
NÃO IDENTIFICADAS	09-07 09-08 09-18 09-21	0	4+0:13,3%

(2) Ideias sobre a formação do sistema final em termos microscópicos foram evidenciadas por apenas 33,3% dos alunos do 9º ano, e por 66,7% dos alunos do 11º ano ("Fragmentação", "Aglutinação" e "Difusão").

(3) Ideia de conservação de reagentes foi evidenciada por 100% dos alunos do 9º ano e por 80% dos alunos do 11º ano. (Note-se que embora a resposta adequada para o 9º ano, contemplasse ideias de conservação de reagentes, as ideias de conservação aqui evidenciadas por todos os alunos não reflectem tal resposta adequada).

(4) Parece ter existido ideia de que o cloreto de amónio desempenhou, no processo de formação do sistema final, numa função preponderante relativamente à água ("Fragmentação" e "Difusão") para 20,0% dos alunos do 9º ano e 40,0% dos alunos do 11º ano. A menor saliência desta ideia para os alunos do 9º ano decorreu sobretudo da maior preferência destes alunos, relativamente aos do 11º ano, pela CR do tipo macroscópico ("Mistura").

8.3 - CATEGORIAS DE RESPOSTA PARA A COMPONENTE ENERGÉTICA

8.3.1 - Natureza das categorias de resposta

Nenhum aluno evidenciou ideias de acordo com a resposta adequada (ver subsecção 4.6.3). As categorias de resposta apresentadas pelos alunos foram quatro, designadas por "Transferência sequencial", "Dissipação", "Absorção" e "É inexplicável". A saliência de cada uma das CR é indicada na tabela 8.2.

Apenas na categoria "Transferência sequencial" é considerado existir envolvimento dos dois subsistemas, o dos reagentes e o dos produtos da reacção, na explicação energética. Nas restantes três categorias as explicações apresentadas envolvem apenas um subsistema, o dos reagentes ou o dos produtos da reacção. Além disso em todas elas existe confusão entre temperatura e energia, através da associação da diminuição da temperatura com diminuição da energia.

A distinção entre estas três categorias de resposta é estabelecida no modo como a diminuição da energia é interpretada. Tais explicações envolvem diferentes concepções

do sistema: sistema aberto, no caso de "Dissipação", ou sistema não-aberto, no caso de "Absorção" e "É inexplicável". No caso do sistema não aberto a ideia é de que nada, nem a energia, pode sair da solução pelo que a diminuição da energia ou é explicada pela absorção desta no interior da solução, por um dos reagentes ("Absorção") ou tal diminuição é simplesmente inexplicável dada a presença do vaso isolador ("É inexplicável"). A conservação da energia evidenciada nesta última categoria surge pois como uma posição intuitiva guiada pela presença do vaso isolador, mas não compreendida. No caso do sistema ser considerado aberto, a diminuição da energia é explicada por transferência de alguma da energia para fora da solução ("Dissipação").

Relativamente à categoria "Transferência sequencial" há ideia de envolvimento de energia na ruptura e no fecho das ligações, mas não de transformação de energia cinética em energia potencial a nível microscópico, nem de saldo energético.

Seguidamente apresentam-se as definições de cada uma das categorias de resposta e exemplos de evidências comportamentais.

8.3.1.1 - Transferência sequencial

Há envolvimento de energia em dois passos sequenciais: primeiro, há absorção de energia na ruptura de ligações nos reagentes; segundo, há libertação de energia na formação de novas ligações. No conjunto, i.e., tendo em conta os dois passos, o efeito global é endotérmico.

Exemplo:

"... no total a energia é sempre a mesma ... mas essa energia que anda lá pelo meio das partículas que não está a ser utilizada nas ligações, essa energia é menor ... no total houve uma absorção de energia ... mas continua sempre a mesma energia ... a temperatura mede apenas a energia excedente ... não é essa energia das ligações ..."
[Aluno 11-06: A20, A22, A27]

Esta ideia não envolve compreensão de transformação da energia cinética em energia potencial, a nível microscópico. Apesar da temperatura ser relacionada com energia de não-ligação não existem evidências de que os conceitos temperatura e energia

sejam devidamente diferenciados. Aliás, a "energia de não-ligação" parece ter o estatuto de substância material.

Apesar do carácter não correcto deste modelo, note-se que esta foi a explicação mais próxima da resposta adequada prevista.

8.3.1.2 - Dissipação

Se a temperatura diminuiu, a energia forçosamente terá diminuído, por transferência de alguma energia para fora da solução (camada gasosa superior, paredes do isolador), onde haverá aumento da temperatura.

Exemplo:

"... para a temperatura diminuir deveria haver uma libertação de energia ... para fazer com que a temperatura da água fosse menor ... houve libertação de energia ... para ali ... para aquela zona ali em cima ..." [Aluno 09-08: A30, A31, A34, A43, A56]

Para estes alunos a variação da energia (porque houve variação da temperatura) só pode ocorrer por transferência para outro local. Trata-se pois de um modelo de condução da energia. Como tal transferência ocasionará um aumento de energia noutra sítio, aí haverá então aumento da temperatura. Não existe pois ideia adequada sobre o modo como se processam as transferências de energia (térmica, neste caso) e uma reacção endotérmica, para estes alunos, deverá ser acompanhada, sempre, do aumento de temperatura no exterior do sistema reaccional.

8.3.1.3 - Absorção

Houve diminuição da energia dentro do sistema porque a temperatura diminuiu. A energia foi gasta, absorvida por um dos reagentes.

Exemplo:

"A- ... a energia do final é menor

E - porquê?

A - a temperatura desceu

E - mas como é que houve perda de energia?

A - ... se o vaso é isolador não deixa passar energia, talvez a substância tenha ficado com a energia ... essa substância

E - qual?

A - que foi dissolvida na água, o cloreto de amónio" [Aluno 09-05: A12, A13, A19, A20]

Para estes alunos a presença do isolador condiciona qualquer ideia de transferência de energia para o exterior do vaso, mas tal não implica ideia de conservação da energia. A diminuição desta parece ser a única explicação para a diminuição da temperatura. A energia "absorvida" não intervém em termos de energia total do sistema.

8.3.1.4 - É inexplicável

Como o vaso isolador conserva a energia, então a temperatura dever-se-ia manter constante. É, portanto, inexplicável como é que há diminuição da temperatura.

Exemplo:

"... libertação não podia haver, absorção também não podia haver ... devido ao isolador que não deixou nem absorver nem libertar ... eu acho que é igual (a energia da nova substância) só não consigo explicar é como ... a temperatura está assim tão baixa, é ao contrário do que seria de esperar ... que ela se mantivesse ..." [Aluno 09-21:A23, A25, A40, A41, A44]

Para estes alunos também parece existir confusão entre temperatura e energia, pelo que dentro de qualquer vaso isolador a temperatura dever-se-ia manter (aliás a utilização corrente de garrafas e malas isoladoras térmicas assim o sugere) visto que a energia se conserva. A situação observada com diminuição da temperatura torna-se, portanto, inexplicável para os alunos.

Nesta categoria é classificada também a ideia de um aluno do 11^o ano (11-01) o qual manifesta explicitamente a convicção de que a energia deveria ter variado, mas como se trata de um vaso isolador tal não poderá ter acontecido. Assim, procura explicar a conservação da energia articulando a energia absorvida na ruptura de ligações no cloreto de amónio e a energia libertada na formação de novas "ligações", admitindo ser igual a energia envolvida nos dois passos.

8.3.1.5 - Outras

Três alunos apresentaram ideias diferentes de qualquer uma das categorias anteriores.

Para todos eles existe confusão entre temperatura e energia e, por isso, a diminuição da temperatura é explicada por diminuição da energia dentro da própria solução devido à presença do isolador, embora de diferentes maneiras:

(1) por transferência para as ligações:

"... a energia que se libertou devido à diminuição de temperatura deve estar em algum lado, deve estar na solução ... já que ela não pode sair, o vaso está isolado (a energia) não pode ir para o meio ... eu acho que (essa energia) está na ligação das moléculas do cloreto de amoníaco (amónio) com a água ... está nas ligações ..." [Aluno 09-02: A27, A14, A35, A36]

(2) por transformação de energia calorífica em outras formas de energia sem evidência, no entanto, de compreensão sobre essa transformação:

"... se o sistema está isolado termicamente, essa energia não se pode expandir, essa energia forçosamente tem que ser transformada noutra forma de energia que se pode manter no sistema ... eu não posso afirmar mas talvez energia química ... e desse modo a energia calorífica pode-se dizer que desapareceu, ou que diminuiu ..." [Aluno 11-14: A49, A50, A55]

(3) por consideração da temperatura como uma propriedade intrínseca das substâncias, i.e., substâncias diferentes terão temperaturas diferentes:

"... talvez ambos (água e cloreto de amónio) tenham criado novas substâncias com uma temperatura mais baixa do que anteriormente ... (a energia no final) é menor ... talvez possa haver umas transformações que arranjam um produto com menos temperatura ..." [Aluno 09-18: A34, A42]

8.3.2 - Extensão das categorias de resposta

Indica-se na tabela 8.2 a distribuição dos alunos pelas diferentes CR identificadas para a componente energética.

Tabela 8.2 - Distribuição dos alunos pelas CR identificadas para a componente energética ("Reacção entre o cloreto de amónio e a água")

CR(DESIGNAÇÃO)	ANO DE ESCOLARIDADE		
	9º	11º	9º+11º:%
TRANSFERÊNCIA SEQUENCIAL	0	11-06 11-10	0 + 2: 6,7%
DISSIPACÃO	09-06 09-08 09-12	11-04 11-12 11-13 11-16 11-17 11-18	3+6:30,0%
ABSORÇÃO	09-05 09-07 09-11	11-15	3+1:13,3%
É INEXPLICÁVEL	09-03 09-04 09-09 09-10 09-15 09-19 09-21	11-01 11-05 11-07 11-09 11-11	7+5:40,0%
OUTRAS	09-02 09-18	11-14	2+1:10,0%

Dos resultados apresentados na tabela 8.2 pode verificar-se:

(1) Dos alunos do 9º ano nenhum deles evidenciou ideias sobre o processo de variação da energia envolvendo os dois subsistemas, o dos reagentes e o dos produtos da reacção; de entre os alunos do 11º ano apenas 13,3% o fez, embora sem mostrar compreensão sobre o processo de transformação da energia cinética em energia potencial de ligação e do princípio da conservação da energia.

(2) A confusão entre temperatura e energia (ou energia calorífica) foi evidenciada por todos os alunos do 9º ano e por 86,7% dos do 11º ano. Esta confusão revelou-se pois bastante saliente para os dois níveis, e ocorreu com uma distribuição não muito diferente entre eles. A mesma ideia foi identificada já em diversos estudos realizados por outros autores, noutros contextos, nomeadamente situações do domínio da Física (ver, por exemplo, Erickson 1979 e Tiberghien 1984a).

(3) A energia do sistema variou por um processo de transferência (modelo de condução) e não por um processo de transformação para 100% dos alunos do 9º ano e do 11º ano.

A categoria de resposta "É inexplicável" foi particularmente ilustrativa de tal ideia pois que não podendo haver transferência de energia através do vaso isolador tornou-se inexplicável como interpretar a diminuição da energia associada à diminuição da temperatura. Note-se que esta CR foi partilhada por cerca de metade dos alunos do 9º ano e por um terço dos alunos do 11º ano. Se a reacção tivesse sido conduzida em sistema não isolado, é provável que o conflito dos alunos não fosse evidenciado.

(4) Para ambos os níveis existiu uma preferência por modelos de índole macroscópica, mais acentuada no 9º ano (93,3%) do que 11º ano (80,0%).

(5) As explicações apresentadas pelos alunos sobre os aspectos estruturais e energéticos não foram articuladas. Com efeito, dos 10 alunos do 11º ano que recorreram a explicações estruturais envolvendo atributos microscópicos, apenas três deles consideraram também, a nível energético, explicações de índole microscópica. No caso do 9º ano isto verificou-se apenas para um dos cinco alunos com explicação estrutural microscópica (aluno 09-02).

- CAPÍTULO 9 -

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

9.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresenta-se a discussão dos resultados obtidos (capítulos 5, 6, 7 e 8) tendo em conta o interesse potencial do presente estudo para professores. Daqui resulta que, mais do que aspectos teóricos, a discussão foque a natureza das ideias dos alunos, a sua extensão e consistência, e eventual diferenciação para os dois grupos envolvidos (9º e 11º anos de escolaridade) e implicações educacionais.

O modelo adoptado para a discussão das ideias evidenciadas pelos alunos teve em conta o interesse que poderá ter tal discussão quando organizada de modo independente dos aspectos particulares das tarefas, ultrapassando portanto as categorias de resposta estabelecidas, uma por uma. Assim, definem-se meta-ideias e em torno de cada uma delas processa-se a discussão.

Uma meta-ideia é a designação atribuída a uma ideia que foi identificada para tarefas distintas (elaboradas e apresentadas para testar conceitos numa determinada área), embora não necessariamente pelo mesmo aluno (Engel Clough and Driver 1986). As meta-ideias têm, por isso, um carácter mais geral do que as ideias que estão na base da formação das CR. A identificação de meta-ideias pode revelar-se de grande utilidade para professores já que estas poderão funcionar como verdadeiros "modelos teóricos" do aluno capazes de serem usados em diferentes contextos (Watts 1982).

Por análise comparativa dos atributos definicionais de cada uma das categorias de resposta, estabeleceram-se quatro meta-ideias:

- (1) Reagente Principal,
- (2) Modelos Sequenciais,

(3) Modelos de Activação,

(4) Modelo de Estado Físico-Energia,

as quais se definem e discutem uma por uma, nas secções seguintes.

Saliente-se desde já que as quatro meta-ideias se situam em níveis diferentes de definição. Assim, as duas primeiras, "Reagente Principal" e "Modelos Sequenciais", dizem respeito a aspectos estruturais e/ou a aspectos energéticos, e são exclusivas uma da outra, i.e., os alunos com ideias segundo um dos tipos não apresentaram, na mesma tarefa, ideias do outro tipo; a intersecção destas duas meta-ideias é, portanto, nula. A terceira meta-ideia, "Modelos de Activação", diz respeito apenas a aspectos energéticos das reacções e a quarta, "Modelo de Estado Físico-Energia", reflecte uma tentativa de articulação entre aspectos estruturais e energéticos.

Importa também referir que alguns dos aspectos considerados como razões possíveis para a origem das meta-ideias não resultaram de uma testagem empírica mas apenas de uma análise lógica das ideias apresentadas pelos alunos, as quais são apoiadas por extractos recolhidos das entrevistas. Tais razões poderão, portanto, ser úteis como hipóteses de trabalho para estudos futuros.

9.2 - A META-IDEIA REAGENTE PRINCIPAL

9.2.1 - Caracterização da meta-ideia Reagente Principal (RP)

Por "Reagente Principal" (RP) entende-se, no presente estudo, a ideia que traduz um papel preponderante (eventualmente exclusivo) de um dos reagentes no desenrolar de uma reacção química, quer tal preponderância diga respeito aos aspectos estruturais, quer aos aspectos energéticos dessa reacção.

Assim, consideraram-se como critérios para a inclusão de uma categoria de resposta na meta-ideia "Reagente Principal", a CR reflectir ideias de um dos tipos:

- (i) só um dos reagentes é que se transforma;
- (ii) o processo de transformação é iniciado por um dos reagentes;
- (iii) a energia libertada na reacção provém, preponderante ou exclusivamente, de um dos reagentes, ou a energia necessária para a reacção ocorrer é absorvida por um deles.

Na tabela 9.1 identificam-se as categorias de resposta (e os casos de "Outras") que foram consideradas como reflectindo, para a correspondente tarefa, a ideia de "Reagente Principal". De notar que a ideia de "RP" pode ser evidenciada para o sistema reaccional por qualquer um dos pontos de vista, microscópico ou macroscópico.*

Tabela 9.1 - Distribuição das CR relativas à meta-ideia "RP", nas tarefas utilizadas

CATEGORIAS DE CONTEÚDO		
TAREFAS	COMPONENTE ESTRUTURAL	COMPONENTE ENERGÉTICA
"PAPEL"	<ul style="list-style-type: none"> • Aglutinação • Modificação do papel • Outras (09-11; 09-14; 11-18) 	<ul style="list-style-type: none"> • Caixa de energia • Substâncias combustíveis • Outras (11-11; 11-18)
"SÓDIO"	<ul style="list-style-type: none"> • Desidrogenação • Aglutinação • Difusão • Outras (09-14; 11-18) 	<ul style="list-style-type: none"> • Espontâneo • Indução • Outra (09-21)
"CL. AMÓNIO"	<ul style="list-style-type: none"> • Fragmentação • Difusão 	<ul style="list-style-type: none"> • Absorção

* Neste estudo entende-se por modelos microscópicos todas as interpretações que contemplam referência a componentes não observáveis do sistema (por exemplo, ligações químicas, átomos, moléculas, partículas); modelos macroscópicos são aquelas explicações que envolvem apenas descrição de propriedades observáveis do sistema (por exemplo, cor, estado físico, temperatura).

Na tarefa "Cozedura do ovo" não foi evidenciada a ideia de "Reagente Principal", pois que os alunos consideraram estar envolvido apenas um reagente/substância, o ovo.

Nas três tarefas referidas na tabela 9.1 o "Reagente Principal" considerado foi, para a componente estrutural, respectivamente, o papel, o sódio e o cloreto de amónio. Exceptua-se o caso da CR "Desidrogenação" definida para a "Reacção entre o sódio e a água", onde o estatuto de "Reagente Principal" foi atribuído à água (ver cap. 7, subsecção 7.2.1.2). No caso da componente energética, o papel, o sódio e o cloreto de amónio desempenharam as funções de "Reagente Principal".

No Anexo III, tabela A9.1, indicam-se os alunos que apresentaram a meta-ideia "Reagente Principal", em cada uma das tarefas.

Na tabela 9.2 indica-se a extensão da ocorrência da ideia "RP" (expressa em termos do número de alunos que a apresentaram) em cada uma das três tarefas.

Tabela 9.2 - Alunos (número) com a ideia "RP" em cada uma das 3 tarefas (componte estrutural e energética)

CATEGORIA DE CONTEÚDO		TAREFA		
		"PAPEL"	"SÓDIO"	"CL. AMÓNIO"
COMPONENTE ESTRUTURAL	9º	13	11	3
	11º	11	8	6
COMPONENTE ENERGÉTICA	9º	15	14	3
	11º	10	6	1

Por análise dos valores indicados na tabela 9.2 verifica-se que a ideia de "Reagente Principal" foi:

(1) muito saliente nos casos da "Combustão do papel" e da "Reacção entre o sódio e a água";

(2) mais saliente, em geral, para os alunos do 9º ano;

(3) mais acentuada no 9º ano quanto aos aspectos energéticos e no 11º ano quanto aos aspectos estruturais, para a mesma tarefa.

De realçar que a ideia de "RP" se distingue da ideia de "conservação de substâncias numa reacção química", referida por outros autores (Driver 1985; Méheut et al. 1985) e também identificada no presente estudo (por exemplo, "... ficaram aquelas substâncias que existiam no papel que não eram combustíveis, mantiveram-se ... as substâncias que estão no papel queimado podem ser todas menos as que saíram no dióxido de carbono ..." [Aluno 11-01: A6, A10, A34]), por duas importantes razões:

(i) é mais geral, visto poder ter lugar em casos em que a ideia de conservação de substância não se manifesta;

(ii) é extensiva também à componente energética das reacções químicas (um aspecto não mencionado por outros autores).

É interessante referir que, em termos históricos a ideia de "Reagente Principal" pode ser vista como uma versão contemporânea de ideias defendidas por alquimistas, nomeadamente no final do séc. XIII, para explicar fenómenos de ocorrência natural, em particular as combustões, como, por exemplo, a "teoria dos princípios" (Vidal 1986) e a "teoria flogística" do séc. XVIII (ver, por exemplo, Costa 1988).

Segundo a "teoria dos princípios", o princípio do enxofre explicava as propriedades activas e quentes de uns materiais (daí a ideia de "reagente principal") enquanto o princípio do mercúrio explicava os atributos passivos e frios de outros. De acordo com estas ideias uma combustão era interpretada pela existência do princípio do

enxofre no material que ardia. É de crer que o papel activo ou passivo atribuído a uma dada substância numa combustão estivesse provavelmente associado à sua saliência perceptual, aspecto que será abordado na secção seguinte.

9.2.2 - Discussão da meta-ideia "Reagente Principal"

Nesta subsecção discutem-se quatro factores considerados como podendo estar de um modo diferencial ou cumulativo na origem da meta-ideia "RP". São eles (i) a percepção do sistema químico, (ii) a linguagem usada, (iii) algumas práticas de instrução, e (iv) razões de natureza cultural.

9.2.2.1 - Percepção do sistema

De acordo com o modelo de aprendizagem generativa (Osborne and Wittrock 1983 e 1985), cada indivíduo constrói de modo activo a sua interpretação da informação. Neste processo, a construção dos significados a partir de uma dada experiência (por exemplo, observação de uma tarefa experimental) não começa com a experiência propriamente dita (perspectiva empiricista), mas antes resulta, entre outros factores, da interacção entre o conhecimento do aluno e a estrutura da tarefa.

É pois provável que na ausência de um modelo conceptual adequado para interpretar o sistema químico em estudo, a saliência perceptual dos diferentes aspectos da tarefa tenha estado na base da informação seleccionada, por exemplo, no que diz respeito à natureza do sistema e dos seus limites. Dois tipos de concepções relacionadas com uma perspectiva intuitiva do sistema podem surgir.

a) "O que não se vê não faz parte do sistema".

No caso das reacções de combustão realizadas em sistema aberto (oxigénio presente em quantidade suficiente para a combustão ocorrer até consumo total do outro componente, o "combustível"), o oxigénio pode ser ignorado ou secundarizado como

Tabela 9.4 - Alunos (número) com e sem ideias de "RP" (estrutural e/ou energética) e, simultaneamente, não identificação (sim) ou identificação (não) de substâncias não observáveis

"REAGENTE PRINCIPAL"			NÃO IDENTIFICAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS NÃO OBSERVÁVEIS	
			SIM	NÃO
COMBUSTÃO DO PAPEL	9º	SIM (N=15)	10	5
		NÃO (N=0)	0	0
	11º	SIM (N=13)	13	0
		NÃO (N=2)	2	0
REACÇÃO ENTRE O SÓDIO E A ÁGUA	9º	SIM (N=15)	6	9
		NÃO (N=0)	0	0
	11º	SIM (N=9)	1	8
		NÃO (N=6)	1	5

Por análise da tabela 9.4 verifica-se que, em particular no caso da "Combustão do papel", existiu uma concordância elevada entre ideias de "RP" e não identificação espontânea de substâncias não observáveis: 66,7% no 9º ano e 100% no 11º ano. A maior concordância verificada no caso da "Combustão do papel" relativamente à "Reacção entre o sódio e a água", está de acordo com a existência, no primeiro caso, de maior número de componentes não observáveis.

A configuração dos resultados (tabela 9.3) sugere que no caso dos alunos do 11ºano, o conhecimento prévio sobre reacções de combustão poderá ter desempenhado um papel relevante na referência aos componentes não observáveis. A não referência

por todos os do 11^º ano ao vapor de água (situação menos comum no ensino) é, aliás, consistente com esta inferência. Por exemplo, um aluno do 11^º ano, apresentou a seguinte passagem, durante a entrevista sobre a "Combustão do papel":

" ... E - e o que é que se formou?

A - ... formaram-se cinzas ... cinzas do papel, é o que eu conheço disso

E - e mais alguma coisa?

A - bem, à primeira vista não, agora quimicamente formou-se dióxido de carbono

E - e porque é que dizes "à primeira vista não"?

A - porque não vejo mais, mais nenhuma substância ..."

[Aluno 11-09: E7, A7, E8, A8, E9, A9]

b) "Aquilo que se vê (ou se sente) actuar faz parte do sistema".

Na "Combustão do papel" vários alunos consideraram a chama do fósforo como reagente. Quer no caso desta tarefa, quer no caso da "Reacção entre o sódio e a água", a energia libertada também foi considerada por alguns como produto da reacção (tabela 9.5).

Tal como na secção anterior a percepção inadequada sobre a natureza do sistema foi muito saliente para os alunos: 93,3% dos alunos do 9^º ano com ideia de "RP" consideraram, também, a chama do fósforo como reagente (tabela 9.6).

No caso da "Reacção entre o sódio e a água", e com base nos resultados obtidos (ver capítulo 7), poder-se-á admitir que a chama e a movimentação do sódio tenham estado na origem de ideias de RP, a favor do sódio:

" ... o próprio sódio ao libertar energia ... deslocava-se na água ..." [Aluno 09-18: A35]

O sódio actuaria assim, como fonte de energia relativamente à água, eventualmente por admitirem que o que aconteceu foi a combustão do sódio, e nessa combustão libertou-se energia:

" ... o sódio na sua combustão vai aquecer a água ... o sódio arde e vai passar a sua energia para a água ..." [Aluno 11-15: A33, A53]

Tabela 9.5 - Alunos que consideraram, espontaneamente, a chama do fósforo e/ou a energia libertada como substâncias

"SUBSTÂNCIA" IDENTIFICADA	CHAMA DO FÓSFORO		ENERGIA LIBERTADA		
	"PAPEL" 9º	"PAPEL" 11º	"PAPEL" 9º	"PAPEL" 11º	"SÓDIO" 9º
ALUNOS	09-02 09-03 09-05 09-06 09-07 09-08 09-09 09-10 09-12 09-14 09-15 09-18 09-19 09-21	11-01 11-07 11-09 11-10 11-11 11-16	09-02	11-11 11-12	09-18
Nº DE ALUNOS	14	6	1	2	1

A ideia de considerar o sódio como origem ou causa da chama foi partilhada por 63,4% da amostra (19 alunos) (ver tabela 7.3, pág. 204). Embora as explicações tivessem sido diversificadas, o que é comum a todas elas é que a água não interveio em tal manifestação, sugerindo um estatuto de "Reagente Principal" para o sódio.

No caso da "Reacção entre o cloreto de amónio e a água", dadas as características da tarefa não serem semelhantes às das duas anteriores (não houve intervenção de chama, libertação de energia ou de substâncias no estado gasoso), não é possível estabelecer um paralelismo entre as ideias dos alunos, relativamente a tais aspectos. No entanto, parece razoável admitir que a diferente saliência perceptual da água e do cloreto de amónio poderá ter tido influência na ideia deste último, a substância que macroscopicamente é "vista" sofrer modificação, como "Reagente Principal".

Tabela 9.6 - Alunos (número) com e sem ideias de "RP" (estrutural e/ou energética) e, simultaneamente, energia como substância (sim ou não) Combustão do papel

REAGENTE PRINCIPAL			CHAMA DO FÓSFORO É "REAGENTE"	
			SIM	NÃO
COMBUSTÃO DO PAPEL	9º	SIM (N=15)	14	1
		NÃO (N=0)	0	0
	11º	SIM (N=13)	5	8
		NÃO (N=2)	1	1

Desta discussão sobre os resultados obtidos, parece pois ser de admitir que as reacções químicas envolvendo sistemas heterogéneos e, em particular, aquelas onde a modificação "não se vê" ocorrer em um dos componentes serão, possivelmente, mais propícias ao reforço ou desenvolvimento da ideia de "Reagente Principal". A nível educacional é importante que o professor desde cedo tome consciência de que esta ideia pode, eventualmente, ser relevante para o aluno. Apresentam-se algumas sugestões didácticas relativas a dois dos sistemas considerados.

a) No caso da "Combustão do papel", poderá revelar-se como sendo útil para realçar a intervenção do oxigénio, efectuar a combustão em recipiente fechado com dimensões tais que o papel não arda por completo.

b) No caso do sódio sugere-se que o pedacinho de sódio seja colocado sobre uma folha de papel mostrando-se claramente que nenhuma chama se forma nestas condições. Em seguida, far-se-á contactar o conjunto com a água, por exemplo, impregando o papel até que a água contacte o pedacinho de sódio. O aluno deverá verificar que a chama só acontece depois de tal contacto ocorrer; deste modo será possível realçar a importância da água. De notar que o papel poderá também entrar em combustão, devendo o professor salientar que duas combustões estarão a ocorrer em simultâneo, a do hidrogénio e a do papel, o que, obviamente, reforçará a chama observada. (A intervenção do papel poderá ser esclarecida utilizando quantidades variáveis deste último).

9.2.2.2 - Linguagem

Apesar da importância reconhecida da linguagem em Ciência, não existe ainda uma teoria que permita interpretar de um modo satisfatório a interrelação entre a linguagem (verbal e/ou representacional) usada na sala de aula, e a aprendizagem (Barnes 1972). Diversos autores têm salientado a contribuição de determinados aspectos da linguagem em Ciência numa tal interrelação, tais como: (i) o estilo impessoal e as definições rígidas (Sutton 1982), (ii) a inflação de termos técnicos (palavras) alguns dos quais com significados diferentes em contextos não científicos (Cassels and Johnstone 1983), (iii) o uso de palavras e frases correntemente utilizadas em diversas áreas disciplinares (Cassels and Johnstone 1980; Maskill 1988).

Relativamente à ideia de "RP", também alguns aspectos de linguagem poderão contribuir, provavelmente, para o reforço ou o desenvolvimento da ideia.

a) A expressão "reacção de A com B", frequentemente utilizada na sala de aula e em manuais escolares, poderá sugerir ao aluno maior destaque de A relativamente a B, na reacção em referência. A sugestão aos professores será a utilização preferencial da expressão "reacção entre A e B" (Cachapuz and Martins 1989).

b) O uso corrente da expressão "Combustão de ..." sempre referente ao "combustível" poderá, eventualmente, reforçar no aluno a ideia de que a transformação se opera apenas a nível desse reagente:

"... a combustão é qualquer coisa que arde, que está a arder ..." [Aluno 09-14: A15].

Embora não seja fácil propor uma designação alternativa sem risco de tal poder ser entendida como referente a um fenómeno diferente, seria desejável uma designação que não ignorasse um dos intervenientes. Sugere-se que os professores ou evitem a designação ou destaquem de modo idêntico os dois reagentes envolvidos, por exemplo, explicitando que "combustão de ..." significa "reacção entre ... e o oxigénio".

c) Aspectos representacionais relativos à escrita de equações químicas apresentando os reagentes sempre por determinada ordem (por exemplo, o "combustível" antes do oxigénio, o metal alcalino antes da água) poderão favorecer a ideia de um papel mais relevante para o primeiro. Nesta perspectiva poderá ser útil os professores variarem a ordem de representação dos reagentes nas equações químicas (Cachapuz and Martins 1989).

9.2.2.3 - Instrução

Na origem da ideia de "Reagente Principal" estarão, também muito provavelmente, o modo como certos conceitos são introduzidos a nível do 2º ciclo do Ensino Básico, em particular a definição de "combustível e comburente" e os "modelos de estado físico da matéria", encontrados frequentemente em manuais escolares de Ciências da Natureza. Por exemplo,

a) "Combustível é a substância que arde; comburente é a substância que permite o desencadear da combustão, neste caso, o oxigénio ... No ar existe outro gás, o azoto, que é incomburente, e como ele existe em maior quantidade do que o oxigénio, tem um papel moderador nas combustões ... O oxigénio e o azoto são incombustíveis ... O oxigénio puro activa as combustões" (Peralta e Calhau 1984, págs. 242 e 244).

No presente estudo este aspecto é bem explicitado através de expressões usadas pelos alunos, tais como:

" ... o oxigénio vai ajudar a fazer a combustão ... (o oxigénio) é um comburente portanto ajuda a combustão ... é absorvido oxigénio..." [Aluno 11-13: A12, A37, A39]

A sugestão aos professores é de evitarem o uso de tais definições as quais acentuam diferenças na intervenção de ambos os componentes do sistema. Se as designações "combustível" e "comburente" forem utilizadas dever-se-á esclarecer que elas traduzem convencionalmente determinados aspectos da reacção, por exemplo, a "localização" da chama.

b) Atribuição ao estado sólido de mais energia do que aos estados líquido ou gasoso. Esta associação estará provavelmente relacionada com a confusão entre força e energia a nível microscópico e a não diferenciação entre ligações inter e intramoleculares.

A ideia de que "os sólidos têm mais energia" foi identificada preponderantemente para alunos que apresentaram a ideia de "RP". Assim, no caso da "Combustão do papel" os cinco alunos que apresentaram essa ideia manifestaram também ideia de "RP". Por exemplo,

" ... o papel perde energia de ligação que tinha ... se (o papel) não tivesse energia não estavam as moléculas todas juntas, perdeu a energia porque elas se desligaram ... liberta energia ... porque o papel era muito mais forte antes de ser queimado ... está-se a libertar energia porque ficou muito mais fraco o papel, a cinza ..." [Aluno 09-03: A11, A16, A39, A40, A43]

No caso da "Reacção entre o sódio e a água" os quatro alunos (três do 11º ano) com a ideia de os sólidos possuírem mais energia mostraram também ideias de "RP". Por exemplo,

"... há mais energia no sódio do que na água ... porque estava sólido e a água líquida ... porque as suas moléculas estão mais juntas ... e por isso tem que haver uma maior energia de ligação ..." [Aluno 09-03: A75, A76, A78]

No caso da "Reacção entre o cloreto de amónio e a água" os dois alunos (um de cada ano) com a ideia do cloreto de amónio como "Reagente Principal", apresentaram evidências da ideia do primeiro possuir mais energia do que a água, por ser sólido. Por exemplo,

"... as partículas dissolveram-se na água ... e a energia de ligação entre elas diminuiu ..." [Aluno 09-06: A39, A40]

Para estes alunos os sólidos são considerados como possuindo ligações "mais fortes", com o significado de "com mais energia", entre as unidades estruturais (moléculas) do que os líquidos e, simultaneamente, a ruptura de ligações é vista como um processo exotérmico.

Sugere-se pois que durante o ensino (e sobretudo a nível de 11º ano) se estabeleça a diferença entre força e energia em sistemas macroscópicos, e se utilizem de modo explícito os conceitos de ligações intermoleculares e intramoleculares, conforme os casos, sempre que se refiram ligações químicas, a fim de evitar ambiguidade.

9.2.2.4 - Razões culturais

Aspectos de ordem cultural ajudam, provavelmente, a promover a ideia de "RP", nas reacções de combustão. Em particular,

a) O destaque dado no quotidiano aos "combustíveis" como "fontes de energia", os quais é necessário pagar (ver, por exemplo, Solomon 1986), poderá contribuir para acentuar o papel preponderante ou mesmo único do "combustível" na energia libertada pela combustão.

No presente estudo a ideia do papel como "Reagente Principal" a nível energético, foi particularmente saliente para os alunos: 100% do 9º ano e 66,7% do 11º ano, assim o consideraram.

b) Não é preciso reconhecer o oxigénio para se conseguir respirar (tal como não se sente a sensação do próprio peso, mesmo que se esteja consciente da existência da força da gravidade). No entanto, no caso dos "combustíveis" o mesmo não acontece. No que respeita aos que se apresentam sólidos e líquidos, a diferença em relação ao oxigénio é facilmente perceptível. Quanto aos "combustíveis" gasosos, tanto em casa como no laboratório estão sempre armazenados em recipientes próprios (garrafas, botijas), realçando deste modo a sua existência em termos físicos, e quase sempre existem indicações sobre medidas de segurança a ter em conta no seu armazenamento e manipulação. Estes aspectos, aliados ainda a algumas propriedades (por exemplo, cheiro característico) podem, eventualmente, reforçar a ideia de estatuto diferente entre o oxigénio e o "combustível" nas reacções de combustão, atribuindo ao último dos dois funções de "Reagente Principal". Por exemplo, na "Combustão do papel":

"... o oxigénio é uma coisa que existe ... acho que sem ele, acho que não seria possível viver, não seria possível nós respirarmos, mas como é ele? ... só sei que existe para nós respirarmos ... é algo natural pois é possível nós respirarmos e vivermos através dele ... é uma coisa que existe em todo o lado ..." [Aluno 09-15: A35, A45, A64]

Nas restantes duas tarefas onde apareceu a ideia de "RP" não se identificaram passagens que sugerissem razões de ordem cultural para um dos reagentes ter sido considerado "o principal".

A possível influência de cada um dos quatro factores discutidos na ideia de "RP" para as três tarefas consideradas, pode ser sistematizada como se ilustra na tabela 9.7.

Tabela 9.7 - Factores que poderão contribuir para a ideia de RP, em cada tarefa

FACTOR	TAREFA		
	"PAPEL"	"SÓDIO"	"CL. AMÓNIO"
PERCEPÇÃO DO SISTEMA	X	X	X
LINGUAGEM	X	X	X
INSTRUÇÃO	X	X	X
RAZÕES CULTURAIS	X	—	—

Nota: — significa que o factor correspondente não foi verificável na tarefa em questão.

Da análise da tabela 9.7 parece ser razoável inferir que a intervenção de maior número de factores poderá reforçar nos alunos a ocorrência da ideia de "RP". Com efeito, a "Combustão do papel" foi a tarefa onde a ideia de "Reagente Principal" ocorreu em maior extensão.

9.3 - A META-IDEIA MODELOS SEQUENCIAIS

9.3.1 - Caracterização da meta-ideia Modelos Sequenciais (MS)

A meta-ideia designada por "Modelos Sequenciais" (MS) reflecte o entendimento de uma reacção química em termos de ocorrência de duas etapas sequenciais. Aquilo que caracteriza fundamentalmente esta meta-ideia é a necessidade de haver primeiro ruptura de ligações nas substâncias reagentes e só após esse passo poder

haver formação de outras ligações, com aparecimento de produtos da reacção. Trata-se pois de um modelo não interactivo entre o subsistema dos reagentes e o dos produtos da reacção. Esta ideia, envolvendo atributos de índole microscópica (no sentido definido em 9.2.1), pode manifestar-se quer quanto aos aspectos estruturais, quer quanto aos aspectos energéticos envolvidos na reacção.

A nível da componente energética, o uso de "Modelos Sequenciais" compreende o envolvimento de energia nas duas (ou em uma) etapas atrás referidas, podendo esse envolvimento ser do mesmo ou de diferente tipo (i.e., a ruptura e a formação de ligações implicarem ambas absorção ou libertação de energia, ou, num caso haver absorção e no outro haver libertação). Exceptuando a CR "Transferência Sequencial" (na "Reacção entre o cloreto de amónio e a água"), em nenhuma outra CR do tipo "MS" houve tentativa de articulação, em termos de resultante energética, entre a energia envolvida nos dois passos. Em nenhum caso houve evidência de que os alunos revelassem compreensão sobre a transformação de energia cinética das partículas em energia potencial de ligação, ou vice-versa.

Na tabela 9.8 indicam-se as categorias de resposta e os casos de "Outras" que foram consideradas reflectir a meta-ideia "Modelos Sequenciais", para cada uma das categorias de conteúdo, nas quatro tarefas utilizadas.

No Anexo III, tabela A9.2, indicam-se os alunos que apresentaram a meta-ideia "Modelos Sequenciais", em cada uma das tarefas.

Na tabela 9.9 indica-se a extensão do uso da ideia "MS" (expressa pelo número de alunos que a apresentaram) em cada uma das quatro tarefas.

Tabela 9.8 - Distribuição das CR relativas à meta-ideia "MS", nas tarefas utilizadas

CATEGORIAS DE CONTEÚDO		
TAREFAS	COMPONENTE ESTRUTURAL	COMPONENTE ENERGÉTICA
"OVO"	• Interação sequencial	• Absorção sequencial
"PAPEL"	• Interação sequencial	• Modelo sequencial substractivo • Modelo sequencial aditivo
"SÓDIO"	• Interação sequencial • Outra (11-14)	• Libertação *(11-01; 11-05; 11-06; 11-10) • Absorção * (11-18)
"CL. AMÓNIO"	• Interação sequencial	• Transferência sequencial

*Nota: De acordo com a definição das CR (ver cap. 7), nem todos os alunos nelas classificadas apresentaram ideias do tipo MS. Por isso são aqui indicados os alunos onde tal se verificou.

Tabela 9.9 - Alunos (número) com a ideia "MS" em cada uma das 4 tarefas (componente estrutural e energética)

CATEGORIA DE CONTEÚDO		TAREFAS			
		Ano de escolaridade	"OVO"	"PAPEL"	"SÓDIO"
COMPONENTE ESTRUTURAL	9º	0	1	0	0
	11º	3	4	5	3
COMPONENTE ENERGÉTICA	9º	0	0	0	0
	11º	2	4	2	2

Verifica-se pois que a ideia "Modelos Sequenciais", foi:

- (1) apresentada, quase exclusivamente, pelos alunos do 11^º ano;
- (2) mais acentuada (ligeiramente) nas tarefas "Papel" e "Sódio", em ambas as categorias de conteúdo;
- (3) extensiva às diversas tarefas utilizadas.

9.3.2 - Discussão da meta-ideia "Modelos Sequenciais"

A utilização inadequada por alunos de interpretações do tipo sequencial para explicar fenómenos no domínio das ciências foi identificada recentemente em estudos relativos a circuitos eléctricos. Por exemplo, Closset (1984) verificou que numa amostra de 450 alunos franceses e belgas, dos últimos anos do ensino secundário até finalistas de um curso de Física, existiam, em mais de 45%, ideias de que a corrente eléctrica num determinado ponto do circuito dependia apenas dos elementos intercalados entre esse ponto e a fonte, a montante. Esta ideia, verificada por outros autores (Shipstone 1984) revela uma percepção local de circuito eléctrico, por oposição à concepção do mesmo como um sistema. Aquilo que acontece ao longo do circuito é visto, por estes alunos, ponto por ponto e não em termos globais. Tal perspectiva tem como consequência uma concepção de corrente eléctrica unidireccional. Um estudo mais recente realizado por Licht (1987) envolvendo a elaboração de estratégias de ensino sobre o tema circuitos eléctricos de modo a alterar concepções alternativas identificadas em estudos anteriores, e sua testagem através de um teste realizado cinco meses após o ensino, mostrou ter havido melhoria nos resultados globais da aprendizagem, quando este grupo foi comparado com um grupo de controlo ensinado da maneira tradicional. No entanto, não houve diferença nos resultados dos dois grupos relativamente ao raciocínio sequencial.

Uma explicação possível para esta dificuldade é apresentada pelo modelo de capacidade limitada da memória de trabalho (Jonhstone 1980). Também no presente estudo, a meta-ideia "Modelos Sequenciais" pode ser vista como uma tentativa de

diminuir o excesso de informação necessariamente envolvida numa percepção adequada de sistema químico: dois subsistemas, reagentes e produtos da reacção, interagindo, com processos de ruptura e fecho de ligações simultâneos, e envolvendo energia de modo articulado.

Uma maneira possível para o aluno reduzir tal "sobrecarga" conceptual é utilizar modelos simplificados do tipo sequencial.

Discutem-se em seguida algumas razões que poderão estar, eventualmente, na origem da meta-ideia "Modelos Sequenciais".

9.3.2.1 - Analogia mecânica

É possível que, na ausência de um modelo adequado para explicar as transformações de energia que ocorrem a nível microscópico, o aluno tenha feito uso de interpretações analógicas retiradas de contextos familiares nomeadamente de índole mecanicista. Por exemplo, as transferências (e transformações) de energia que ocorrem num choque em cadeia, quando uma esfera suspensa de um eixo é feita colidir com outras que, também suspensas, estão colocadas à mesma altura, ou ainda o que acontece numa mesa de bilhar:

"... suponhamos assim uma fila de átomos ... o primeiro vai receber energia depois liberta essa energia vai ser absorvida pelo segundo que vai libertar energia que por sua vez vai ser absorvida pelo terceiro e é sempre assim em cadeia ..." [Aluno 11-05: A37, A38 ("Papel")]

ou ainda,

"... a combustão continua sempre a fazer-se ... dumas moléculas para as outras ... portanto está numa molécula aqui vai propagando para a vizinha ... esta molécula aquece e recebe energia e é libertada ... também fornece energia à vizinha ..." [Aluno 11-10: A14, A15 ("Papel")]

Possivelmente os alunos terão considerado que a transferência de energia ao longo do sistema mecânico é idêntica à transferência de energia de umas ligações químicas para outras.

9.3.2.2 - Sequencialidade e rapidez de reacção

Os diagramas energéticos (por vezes designados entálpicos) de uso corrente na sala de aula e em manuais escolares, representando, em ordenadas, a energia potencial dos reagentes e dos produtos em função do avanço da reacção, desfasando reagentes e produtos segundo o eixo das abcissas, pode induzir ou reforçar a ideia de não-interacção entre os dois subsistemas. Com efeito, em tais representações a formação dos produtos não é simultânea com a transformação dos reagentes. Estas representações podem favorecer uma visão compartimentada do sistema químico.

Extractos de manuais escolares de Química, para o 11^º ano, de publicação recente (por exemplo, Teodoro 1988; Faria e Ribeiro 1988), ilustram a influência provável da instrução na existência de ideias do tipo "MS".

Esses diagramas utilizados para ilustrar o cálculo da energia envolvida na reacção (por exemplo, entre cloro e hidrogénio para formar cloreto de hidrogénio), podem sugerir que a reacção se processa do seguinte modo: 1^ª ruptura de ligações na molécula H₂; 2^ª ruptura de ligações na molécula Cl₂; 3^ª formação de ligações entre os átomos de hidrogénio e de cloro.

No caso do manual de Faria e Ribeiro (1988, p. 66-69) existe uma referência explícita a um estágio intermédio, entre reagentes e produtos da reacção, constituído por "átomos separados", o que está em contradição com mecanismos de reacção via complexo-activado.

Ideias deste tipo foram utilizadas por alunos. Por exemplo,

"... os dois átomos de oxigénio da molécula separam-se ... portanto ficam prontos para ter outras ligações ... também vai haver ruptura nas ligações do papel e esses átomos do papel já com as ligações cortadas podem dar origem a novas ligações com os átomos de oxigénio ..." [Aluno 11-11: A32, A37]

Assim, no caso de se justificar uma representação gráfica na abordagem do tema, sugere-se a indicação dos "patamares energéticos" correspondentes aos dois subsistemas não desfasados segundo o eixo das abcissas, acompanhado do

esclarecimento aos alunos sobre o significado da representação, em particular qual a natureza da forma de energia representada em ordenadas.

Finalmente, parece provável que na origem de respostas do tipo "MS" possa ter estado uma associação de ideias de sequencialidade e rapidez da reacção. Com efeito, é possível que para estes alunos a visão do papel a arder (reacção lenta), pedaço a pedaço, possa induzir ou reforçar ideias de sequencialidade. Por exemplo,

"... o primeiro composto vai receber energia depois liberta essa energia vai ser absorvida pelo segundo que vai libertar energia que por sua vez vai ser absorvida pelo terceiro e é sempre assim em cadeia..." [Aluno 11-05: A38].

O mesmo se poderá dizer a respeito da reacção entre o sódio e a água, uma reacção relativamente lenta, visto poder ser observada a decorrer durante um intervalo de tempo mensurável pelos alunos. Embora não existam dados empíricos sobre isto, recomenda-se como sugestão aos professores, para efeitos de discussão do mecanismo da reacção, a utilização de reacções instantâneas, por exemplo, reacções de precipitação.

9.4 - A META-IDEIA MODELOS DE ACTIVAÇÃO TÉRMICA

9.4.1 - Posição do problema

Nesta secção discutem-se ideias dos alunos sobre o processo de activação térmica do sistema químico inicial, em três das quatro tarefas utilizadas. A importância de tal discussão advém do papel relevante que a energia de activação tem na interpretação de reacções químicas, em particular nos aspectos cinéticos.

Das quatro tarefas utilizadas neste estudo só no caso da "Reacção entre o cloreto de amónio e a água" não foram encontradas nos alunos ideias sobre o processo de activação. Devido ao formato adoptado para a tarefa "Combustão do papel", esta revelou-se como sendo particularmente útil para recolher ideias dos alunos sobre o problema em referência. Questões do tipo "Porque é necessária a chama do fósforo para

a combustão do papel acontecer?" e "Porque é que não é necessário continuar lá com o fósforo para a combustão prosseguir?", mostraram ser de grande utilidade na recolha de ideias dos alunos.

Apresentam-se, por isso, as respostas esperadas para cada um dos anos de escolaridade.

(i) No 9^o ano:

A reacção entre o papel e o oxigénio acontece quando o sistema (papel e oxigénio) se encontra a uma certa temperatura. A chama do fósforo serve para aumentar a temperatura numa pequena porção do sistema tornando a reacção possível; como esta é exotérmica a combustão prossegue sem necessidade de manter a fonte de energia inicial, visto que a própria reacção vai mantendo o sistema à temperatura necessária.

(ii) No 11^o ano:

A reacção entre o papel e o oxigénio acontece quando as colisões entre as moléculas do oxigénio e as existentes no papel são eficazes. Para tal acontecer é necessário que essas moléculas possuam determinada energia. A chama do fósforo faz aumentar a energia das moléculas com que contacta e então as colisões entre moléculas podem tornar-se eficazes, sendo a reacção iniciada. Como a reacção é exotérmica, as moléculas adquirem energia suficiente para a reacção prosseguir.

9.4.2 - Caracterização da meta-ideia Modelos de Activação (MA)

No presente estudo identificaram-se dois tipos de ideias dos alunos sobre o processo de activação térmica do sistema, "Modelos de Activação" (MA), os quais se caracterizam a seguir.

(1) "MA - Acumulação":

A energia de activação entra no sistema químico (considerado no seu todo ou parcialmente) e nele permanece, sendo responsável pela transformação verificada.

Por exemplo,

"... o ovo cozido tem mais energia ... porque foi concedida energia ao cozido ... (essa energia) ficou no ovo, nas moléculas do ovo ..." [Aluno 09-02: A29, A30, A31]

"... depois de ser fornecido aquilo que é necessário para se dar a combustão (do papel) esse processo vai-se desenvolver ... porque já tem o necessário ... que é acender o papel e depois é que vai captar o oxigénio necessário para essa combustão se dar ..." [Aluno 11-15: A49, A50, A51]

(2) "MA - Circulação":

A energia de activação entra no sistema químico e volta a sair.

Por exemplo,

"... (as substâncias) têm a mesma energia, tanto no ovo cru como no ovo cozido ... enquanto o ovo está a ser aquecido há energia dentro do ovo mas se se desliga, o ovo volta à energia que tinha, a mesma energia que no ovo cru ... arrefece e depois fica com a energia que tinha ..." [Aluno 09-05: A48, A51, A52]

"... (a energia que se liberta na combustão vem) do fogo a que o papel está sujeito ... como há libertação de energia dessa parte (do papel que é transformado em cinzas) a juntar ao fogo que já tínhamos vai dar uma energia superior ..." [Aluno 11-18: A20, A22]

"... ao princípio para reagir o sódio teve que absorver energia da água ... mas depois de ter reagido completamente libertou energia ... deu a sua energia à água ..." [Aluno 09-14: A58, A59, A55]

Os dois modelos de activação descritos diferem entre si fundamentalmente no que respeita à aplicação da ideia de conservação da energia e à noção de fronteira do sistema.

No caso do "MA - Acumulação" a ideia de conservação não está presente, visto a energia do sistema aumentar; o sistema final é fechado e, por isso, a energia não pode

sair. No "MA - Circulação" existe uma tentativa de aplicação do princípio da conservação, embora, provavelmente, esta ideia seja reforçada pela confusão entre força e energia e pela noção de sistema final aberto. De notar ainda que em ambos os "MA" a ideia de transformação da energia está ausente.

No Anexo III, tabela A9.3, indicam-se os alunos que apresentaram a meta-ideia "Modelos de Activação" em cada uma das tarefas.

Na tabela 9.10 indica-se a extensão da ocorrência dos dois "MA", em cada uma das três tarefas.

Tabela 9.10 - Alunos (número) com ideias segundo cada um dos "MA", para as três tarefas

		TAREFAS			
MODELO DE ACTIVAÇÃO	Ano de escolaridade	"OVO"	"PAPEL"	"SÓDIO"	TOTAL
Acumulação	9º	4	2	0	6
	11º	5	6	0	11
Circulação	9º	4	9	3	16
	11º	1	4	1	6
TOTAL		14	21	4	-

Como se referiu no início desta secção, a "Combustão do papel" foi de entre todas as tarefas aquela que mais útil se revelou para recolher ideias dos alunos sobre o tema em discussão. Os resultados apresentados (tabela 9.10) são concordantes com esta ideia. Pode verificar-se também que, no conjunto das três tarefas, os alunos preferiram o "MA - Acumulação" no 11º ano e o "MA - Circulação" no 9º ano.

9.4.3 - Discussão da meta-ideia "Modelos de Activação"

A utilização de qualquer dos "Modelos de Activação" atrás referidos pode trazer como consequência para os alunos a dificuldade de diferenciação entre reacções endotérmicas e exotérmicas, por consideração que todas as reacções termicamente iniciadas serão, forçosamente, endotérmicas.

Poderá mesmo acontecer que o aluno considere que uma reacção é, simultaneamente endotérmica e exotérmica como, por exemplo,

"... eu acho que há as duas coisas (absorção e libertação da energia), nós temos que fornecer energia ao papel para ele arder mas depois também há libertação de energia ..." [Aluno 11-01: A20]

Ideias deste tipo parecem ser frequentemente partilhadas pelos alunos (Martins e Cachapuz 1988) e serão, provavelmente, uma forte barreira à compreensão do conceito de saldo energético, o qual está na base do significado dos termos "endotérmico" e "exotérmico" presentes em todos os currículos de Química.

Aspectos particulares da actuação do agente iniciador de uma dada reacção química, tal como o intervalo de tempo durante o qual ele é considerado actuar ("temporalidade") e o(s) componente(s) sobre o(s) qual(is) actua ("extensão"), poderão estar na origem de ideias sobre o processo de intervenção desse agente no sistema reaccional.

No caso particular da "Combustão do papel" esses dois aspectos do agente iniciador (a chama do fósforo), foram considerados de dois modos dicotómicos pelos alunos. No que respeita à "temporalidade" os alunos admitiram que a chama do fósforo ou actuou apenas no instante inicial - actuação descontínua, ou actuou durante todo o tempo em que a reacção de combustão se processou - actuação contínua. No caso da "extensão", a intervenção do agente iniciador foi entendida como ocorrendo ou sobre

todo o sistema (papel e oxigénio) - acção total, ou apenas sobre um dos componente do sistema (quase sempre o papel) - acção parcial.

Com vista a determinar qual a relação existente entre os dois "Modelos de Activação" e a temporalidade e a extensão da acção do agente iniciador, construiu-se a tabela 9.11.

Tabela 9.11 - Modelos de activação identificados, temporalidade e extensão da acção do agente iniciador ("Combustão do papel") - número de alunos *

Acção do agente iniciador		MODELOS DE ACTIVAÇÃO			
		ACUMULAÇÃO		CIRCULAÇÃO	
		9º	11º	9º	11º
Temporalidade	Actuação descontínua	0	5	0	1
	Actuação contínua	2	1	7	3
Extensão	Acção total	0	3	1	0
	Acção parcial	2	3	8	4

*A falta de correspondência total entre as tabelas 9.10 e 9.11 é devida à ausência de evidência sobre a "temporalidade" para dois alunos do 9º ano, do "MA-Circulação".

Da análise da tabela 9.11 pode verificar-se que, no caso da "Combustão do papel":

(1) O "MA - Circulação" é fortemente associado com ideias de acção parcial (92,3%, 12 em 13 alunos) e actuação contínua (76,9%, 10 em 13 alunos).

(2) O "MA - Acumulação" é mais associado com ideias de acção parcial (62,5%, 5 em 8 alunos) e actuação descontínua (62,5%, 5 em 8 alunos).

Parece pois que aquilo que mais diferencia as ideias dos alunos nos dois "MA", no caso da "Combustão do papel", é o intervalo de tempo durante o qual consideram a actuação do agente iniciador sobre o sistema. Se a ideia é de "acumulação" da energia dentro do sistema então bastará que ela seja fornecida no início. Se a ideia é de "circulação" da energia então parece ser necessário estar a haver uma actuação contínua.

Quer uma, quer outra das ideias inadequadas, continuidade e parcialidade da acção do agente iniciador, poderão estar relacionadas com:

a) aspectos perceptuais da tarefa tais como, por exemplo, a chama do fósforo utilizada como agente da activação poderá ser confundida com a chama do papel em combustão:

"... quando a folha (de papel) começar a arder (o fogo) alastra-se pela folha toda ... basta chegar um bocadito de fogo, vai começar a arder e espalha pelo papel todo ..."
[Aluno 09-18: A82]

b) aspectos de linguagem do quotidiano como, por exemplo, "... a mata pegou fogo ...", farão, provavelmente, supor que o fogo observado numa mata a arder provém do agente iniciador.

Assim, sugere-se a escolha criteriosa do processo de activação do sistema químico. Por exemplo, no caso da combustão do papel pode ser útil utilizar em vez de uma chama (fósforo, lamparina, isqueiro), uma lente, uma descarga eléctrica ou o aquecimento numa placa eléctrica. Em qualquer dos casos parece ser importante que o professor destaque a intervenção meramente inicial desse agente e, por exemplo, utilize quantidades variáveis de papel (no caso da combustão do papel) para promover a discussão sobre o processo de intervenção da activação térmica na energia libertada durante a reacção de combustão.

9.5 - A META-IDEIA MODELOS DE ARTICULAÇÃO ESTADO FÍSICO-ENERGIA

9.5.1 - Posição do problema

Como se referiu nos capítulos 3 e 4, a divisão entre aspectos estruturais e aspectos energéticos, a qual deu origem às categorias de conteúdo, foi convencional. No entanto, revelou-se útil na análise do conteúdo das respostas dos alunos.

Nesta secção faz-se a discussão de ideias dos alunos que reflectem de algum modo uma tentativa de articulação, na lógica do aluno, entre as explicações apresentadas para os aspectos estruturais e energéticos das tarefas utilizadas.

A importância da discussão sobre modelos de articulação estrutural-energética que agora se apresenta assenta no pressuposto que as concepções individuais podem ser guiadas por uma lógica interna a qual confere clareza e coerência a tais ideias, independentemente do seu aspecto "não correcto" segundo um ponto de vista científico (Champagne et al. 1980). Com efeito, o resultado dos processos de raciocínio pode não ser "o adequado" sem que tenha havido um não cumprimento das regras do silogismo lógico (Henle 1962).

9.5.2 - Caracterização da meta-ideia Estado Físico-Energia

Como se verificou (capítulos 5, 6, 7 e 8) as ideias apresentadas pelos alunos afastaram-se das respostas adequadas o que implica a não existência de articulação (resposta adequada) entre as explicações estrutural e energética. No entanto, foi possível identificar em alguns alunos um modelo de articulação, segundo o qual a energia do sistema depende essencialmente do estado físico dos seus componentes, a meta-ideia Estado Físico - Energia (EFE). Assim, para os alunos defensores desta meta-ideia, o diferente estado físico dos reagentes e/ou dos sistemas inicial e final, esteve na base da

justificação para a variação da energia que eles consideraram ter ocorrido durante a transformação, dos seguintes modos:

a) os sólidos possuem ligações mais fortes do que os líquidos e os gases, e, por isso, têm mais energia;

b) nos líquidos (e nos gases) existe maior agitação molecular do que nos sólidos pelo que os primeiros apresentam maior energia.

De notar que ao mesmo modelo estrutural podem corresponder duas concepções energéticas diferentes, referindo a energia de modos opostos (numa delas os sólidos têm mais energia, na outra isso acontece com os líquidos).

No Anexo III, tabela A9.4, indicam-se os alunos que apresentaram a meta-ideia "Modelo Estado Físico-Energia" em cada uma das tarefas.

Na tabela 9.12 indica-se a extensão da ocorrência do Modelo de Estado Físico-Energia (EFE) nas diferentes tarefas.

Tabela 9.12 - Alunos (número) com ideias segundo o modelo EFE, para cada uma das tarefas

TAREFAS					
ANO DE ESCOLARIDADE	"OVO"	"PAPEL"	"SÓDIO"	"CL. AMÓNIO"	TOTAL
9º	3	2	1	1	7
11º	6	3	3	3	15
Total	9	5	4	4	-

Dos resultados obtidos pode concluir-se que o modelo de Estado Físico-Energia é:

(1) mais preferido pelos alunos do 11º ano e para todas as tarefas;

(2) mais saliente no caso da "Cozedura do ovo", relativamente às restantes tarefas, concordantemente com o facto desta ter sido a tarefa em que a alteração de estado físico foi mais evidente.

9.5.3 - Discussão da meta-ideia "Modelo EFE"

Na origem do Modelo EFE apresentado pode considerar-se ter existido, uma das duas ideias indicadas a seguir.

(a) Confusão entre força e energia.

Esta ideia poderá ter sido eventualmente influenciada por modelos de interacção do tipo electrostático e gravítico (a intensidade das forças de interacção aumenta quando a distância diminui), em particular para os alunos que consideraram "os sólidos têm maior energia do que os líquidos (e os gases)". Para estes alunos a passagem de um sistema de líquido para sólido seria considerada como um processo endotérmico pois essa é a única maneira de aumentar a energia do sistema e, conseqüentemente, a intensidade das forças de ligação entre as suas partículas. Foi este o efeito considerado por seis alunos do 11º ano (tabela 9.12) no caso da "Cozedura do ovo". Por exemplo,

"... (existe mais energia) aqui no ovo cozido ... porque as partículas estão mais juntas, a sua força de atracção é muito maior ... encontram-se todas unidas ..." [Aluno 11-15: A54, A55]

Consistentemente com esta ideia (mas em sentido inverso) a destruição do estado sólido de uma substância parece ter sido considerada como um processo envolvendo libertação de energia . Por exemplo, no caso da "Combustão do papel",

"... essa energia de ligação no papel se ele se alterou parte dessa energia foi libertada ... (essa energia de ligação) é uma energia que faz com que os átomos estejam sempre a atrair-se uns aos outros ... é uma espécie de energia magnética ... por exemplo esses átomos podem ter formado um gás ... quando (os átomos) se libertam formam o gás ..." [Aluno 09-08: A32, A33, A34, A35, A43]

Ou ainda, no caso da "Reacção entre o sódio e a água",

"... há mais energia no sódio do que há na água ... porque as partículas do sódio estão mais, de certeza que devem estar mais agarradas, daí terem mais energia ..."
[Aluno 11-14: A48, A49]

Esta ideia associada a um modelo de variação da energia por condução e à confusão entre energia e temperatura, poderá justificar para este aluno o aumento da temperatura na solução final:

"... a água recebeu a energia que o sódio libertou ..." [Aluno 11-14: A50]

Também no caso da "Reacção entre o cloreto de amónio e a água", a alteração do estado sólido do cloreto de amónio pode também ser vista como um processo exotérmico. Por exemplo,

"... as partículas (do cloreto de amónio) dissolveram-se na água ... e a energia de ligação entre elas diminuiu ... houve libertação (de energia) ..." [Aluno 09-06: A39, A40, A46]

(b) Conotação dinâmica do modelo de estado físico.

Neste caso a energia do sistema foi identificada com energia cinética das partículas. Segundo este ponto de vista, originário provavelmente do ensino a nível do 2º ciclo do Ensino Básico, os líquidos possuiriam maior energia do que os sólidos, e a passagem de líquido a sólido seria, forçosamente, exotérmica. Esta ideia foi apresentada no caso da "Cozedura do ovo", por alunos do 9º ano (tabela 9.12). Por exemplo,

"... se agitarmos o ovo cozido ... as moléculas do ovo mexem-se pouco ... mas este aqui (ovo cru) elas mexem-se todas as suas moléculas têm maior energia ..."
[Aluno 09-21: A54]

A ideia dos alunos parece ter sido guiada fundamentalmente pelo modelo descrito, apesar do reconhecimento da necessidade de aquecer o sistema para que a cozedura pudesse ocorrer:

"... as partículas com o aumento de temperatura têm tendência a juntar-se mais ... e juntando-se mais elas perdem mais energia ..." [Aluno 09-19: A41]

No caso da "Reacção entre o cloreto de amónio e a água", a modificação foi interpretada por alguns alunos como a passagem do cloreto de amónio ao estado líquido, por aumento da sua energia. Por exemplo,

"... o cloreto de amónio absorveu a energia necessária da água ... para aumentar a energia cinética ... para que pudesse passar ao estado líquido e diluir-se com a água ... quando se retirar essa energia do cloreto de amónio haverá tendência para voltar ao estado sólido ..." [Aluno 11-05: A39, A40, A42, A59]

Através da discussão apresentada pretendeu-se salientar a importância que os modelos de estado físico terão possivelmente desempenhado no tipo de interpretações apresentadas pelos alunos que reflectem uma articulação lógica, na sua perspectiva, entre as duas componentes da transformação. Concordante com a suposição da maior saliência do estado físico está o facto de cerca de 68% das situações com este tipo de articulação, terem sido as respectivas transformações consideradas como fenómenos físicos, em alternativa a serem consideradas como reacções químicas (15 dos 22 casos indicados na tabela 9.12 e A9.4).

Assim, em concordância com o ponto de vista apresentado, sugere-se que seja dedicada especial atenção às transformações químicas que também são acompanhadas de mudança do estado físico. Dos resultados obtidos poderá prever-se que o diferente estado físico de reagentes e produtos da reacção será, eventualmente, saliente para os alunos, e estar na base da explicação estrutural-energética segundo um dos tipos apresentados. Deste modo, parece ser importante (1) reformular os modelos de estado físico apresentados no 2º ciclo do Ensino Básico, à luz dos conceitos de ligações químicas, em particular, ligações intermoleculares; (2) distinguir "agitação molecular" (no sentido da menor ou maior liberdade de movimentos moleculares que caracteriza o estado sólido, líquido ou gasoso) de "energia cinética molecular" (média), esta última particularmente importante no conceito de temperatura.

9.6 - CONSISTÊNCIA DAS META-IDEIAS

9.6.1 - Posição do problema

Nesta secção analisa-se qual a consistência das meta-ideias ao longo das diferentes tarefas utilizadas. A consistência das ideias em diferentes tarefas é um argumento a favor da validade das meta-ideias identificadas como verdadeiros modelos teóricos alternativos, usados pelos alunos (Engel Clough and Driver 1986), e, por conseguinte, um argumento contra a posição assumida por alguns autores sobre a "autenticidade" da resposta do aluno (ver capítulo 1, subsecção 1.4.7). A ausência de consistência das ideias sobre fenómenos que em ciência têm explicações do mesmo tipo é um dado que sugere a inexistência, nos alunos, de um modo sistemático de teorizar sobre as situações-problema. As suas ideias seriam assim só localmente válidas.

O problema da consistência das ideias alternativas dos alunos é, no momento, uma questão não resolvida pela comunidade científica. Tal situação é provavelmente devida a que a discussão sobre a consistência das ideias alternativas passa pela discussão sobre a sua origem e, dado o número e a natureza dos factores que podem influenciar as diferentes formas de pensar (por exemplo, o contexto), o conhecimento da consistência dessas ideias é, certamente, especulativo. No entanto, tal especulação pode vir a ser útil, como geradora de hipóteses de trabalho tendo em vista uma melhor compreensão do modo como os alunos usam e alteram as suas ideias. Este é o sentido da análise que se apresenta.

O estudo da consistência das ideias dos alunos pode ser abordado segundo duas dimensões: no "tempo" e no "espaço".

A consistência no "tempo" tem a ver com o uso do mesmo tipo de ideias no aluno, em ocasiões diferentes da sua escolaridade. É esta dimensão da consistência normalmente referida por "persistência", que está em causa em estudos longitudinais, como o de Engel Clough, Driver e Wood-Robinson (1987).

A consistência no "espaço" tem a ver com a utilização da mesma ideia, pelo indivíduo, em situações distintas.

No estudo de Engel Clough e Driver (1986), as autoras verificaram que a consistência das ideias usadas pelos alunos investigados em duas tarefas diferentes relativas a temas de Física (pressão e calor) e de Biologia foi razoável: os valores dos coeficientes de contingência individuais calculados variaram entre 0,38 e 0,72 (valores médios: no caso de "pressão" 0,53, no caso de "calor" 0,69 e no caso de "temas de Biologia" 0,55).

No presente estudo a análise da consistência incide, fundamentalmente, sobre a dimensão "espaço" e pretende dar a conhecer a estabilidade com que uma dada meta-ideia é usada em tarefas distintas por um mesmo aluno ou por grupo de alunos.

Embora não possa estabelecer-se qual a consistência no "tempo" das meta-ideias, a análise da consistência das meta-ideias entre os dois anos de escolaridade, será usada como uma aproximação ao problema.

Define-se a seguir o parâmetro empírico - coeficiente de consistência - utilizado neste estudo para avaliar a consistência das meta-ideias a nível individual e a nível de grupos em tarefas distintas.

(1) A nível individual

O coeficiente de consistência, C_i (variação de 0 a 1), é definido pelo quociente n_o/n_p , em que n_o é número de concordâncias observadas entre meta-ideias e n_p é o número de concordâncias possíveis (n_p não é pois necessariamente igual a 30, visto poder ter havido alunos que não usaram a meta-ideia em nenhuma das tarefas. Por exemplo, a meta-ideia "RP" apresentou, na componente estrutural, $n_p=28$, ver Anexo III, tabela A9.1).

Quando uma meta-ideia ocorreu em mais do que duas tarefas, é possível definir diferentes graus de consistência, parcial e total. Assim, consistência de grau 1 (C_1), de

grau 2 (C_2), de grau 3 (C_3), significa que a meta-ideia se manifestou, para o mesmo aluno, respectivamente, em quaisquer duas, três ou nas quatro tarefas.

Note-se que no caso da meta-ideia "RP", C_2 representa o coeficiente de consistência total, dado que esta meta-ideia se evidenciou em apenas três tarefas.

O coeficiente de consistência individual pode ser calculado para cada um dos anos de escolaridade utilizando a mesma definição, sendo neste caso n_p o número possível de concordâncias para cada ano. (Por exemplo, a meta-ideia "RP" apresentou como valor de n_p , na componente estrutural, 15 no caso do 9º ano e 13 no caso do 11º ano, ver Anexo III, tabela A9.1).

Quanto maior for C_i , mais elevada será a consistência da meta-ideia em estudo, para as tarefas em comparação.

(2) A nível de grupo

Pode definir-se um coeficiente de consistência de grupo, C_g (variação de 0 a 1), através do quociente n_1/n_p , onde n_1 representa o cardinal do conjunto intersecção dos conjuntos de alunos que evidenciaram a meta-ideia nessas tarefas e n_p representa o número de casos possíveis da sua verificação nas tarefas em comparação. Por exemplo, no caso da meta-ideia "RP", na componente estrutural, e no caso das tarefas "Papel"- "Sódio" dos 27 alunos que evidenciaram a meta-ideia em pelo menos uma das tarefas, 24 apresentaram-na no caso do "Papel" e 19 no caso do "Sódio", portanto $n_1=19$ e $n_1=27$. Tal como no caso do coeficiente individual, pode exprimir-se a consistência de grupo em termos parciais (diferentes graus) e total. Este coeficiente representa uma aproximação ao problema da consistência individual das meta-ideias mas pode dar indicações úteis quando, por exemplo, a unidade de estudo for o grupo-turma de alunos.

Ilustra-se, na tabela 9.13, o cálculo dos coeficientes de consistência, individual e de grupo, obtidos para o caso da meta-ideia "RP", na componente estrutural, relativamente às tarefas "Papel" - "Sódio".

Tabela 9.13 - Cálculo de coeficientes de consistência (exemplificação para C₁, nas tarefas "Papel"- "Sódio", meta-ideia "RP", componente estrutural)

Ano de escolaridade	np	Coeficiente de consistência individual, grau 1		Coeficiente de consistência de grupo, grau 1	
		no	C ₁	n ₁	C _g
9º + 11º	27	16	$\frac{16}{27} = 0,59$	19	$\frac{19}{27} = 0,70$
9º	15	9	$\frac{9}{15} = 0,60$	11	$\frac{11}{15} = 0,73$
11º	12	7	$\frac{7}{12} = 0,58$	8	$\frac{8}{12} = 0,67$

Uma desvantagem provável do coeficiente de consistência, *C*, em relação ao coeficiente de contingência é a utilização de vários graus de consistência parcial, tantos quantos os pares de tarefas.

No entanto, os coeficientes parciais permitem facilmente identificar quais os pares de tarefas em que uma dada meta-ideia foi usada de um modo mais consistente, i.e., situações que os alunos explicam de modo idêntico. Tais tarefas ter-se-iam apresentado eventualmente ao aluno com uma estrutura análoga.

Por outro lado, e ao contrário do coeficiente de contingência, envolve cálculos mais simples e varia entre 0 e 1 (o coeficiente de contingência varia entre zero e um valor inferior à unidade e anula-se quando existe ausência completa de associação entre as duas variáveis, como é desejável que aconteça, mas não toma nunca o valor um quando as variáveis são perfeitamente correlacionadas) (Siegel 1977, p. 226). Além disso, o limite superior do coeficiente de contingência depende do número de categorias de dados de cada conjunto, pelo que não se podem comparar valores de coeficientes de contingência provenientes de tabelas de contingência de tamanhos diferentes (Siegel 1977).

Por esta razão seria questionável estabelecer qualquer comparação entre os valores de consistência obtidos neste estudo e os verificados por Engel Clough e Driver (1986) anteriormente referidos.

9.6.2 - Análise da consistência das meta-ideias

No Anexo IV indicam-se os valores calculados para os coeficientes de consistência (tabelas A9.5 a A9.8) a partir da distribuição dos alunos que apresentaram cada uma das meta-ideias nas diferentes tarefas (tabelas A9.1 a A9.4)

A análise da consistência que a seguir se apresenta procura dar resposta às seguintes questões:

- (1) Qual a consistência, a nível individual e de grupo (consistência no "espaço")?
- (2) Qual o efeito da instrução na consistência das ideias (consistência no "tempo")?
- (3) Em quais das tarefas os alunos apresentaram consistência mais elevada?

Para responder à primeira questão, construiu-se a tabela 9.14, a partir das tabelas A9.5 a A9.8 do Anexo IV.

A partir da tabela 9.14 pode verificar-se que, no conjunto das quatro meta-ideias, e para o conjunto dos alunos,

(i) a nível de grupos, quer parcial, quer total, o limite superior da consistência das quatro meta-ideias é, aproximadamente, semelhante;

(ii) a nível individual, a consistência foi mais elevada no caso das meta-ideias "RP" e "MS", e, para ambas, mais na componente estrutural do que na componente energética (ver tabelas A9.5 e A9.6, Anexo IV). Este resultado reforça a validade da decisão metodológica da análise das respostas segundo as duas categorias de conteúdo escolhidas.

Tabela 9.14 - Coeficientes de consistência (valores mínimo e máximo) obtidos

Coeficiente de consistência	META-IDEIAS			
	"RP"	"MS"	"MA"	"EFE"
Ci parcial, médio	0,33-0,42	0,06-0,23	0,07-0,11	0,03-0,09
Cg parcial, médio	0,35-0,50	0,28-0,51	0,19-0,35	0,29-0,44
Ci total	0,12-0,25	0,00-0,00	0,00-0,00	0,00
Cg total	0,12-0,32	0,25-0,33	0,00-0,24	0,22

Dado o número muito reduzido de estudos conhecidos sobre a consistência de ideias alternativas dos alunos, não é possível estabelecer comparação entre os valores da consistência obtidos neste trabalho e outros valores. Poderá, no entanto, afirmar-se que, no presente estudo e, no conjunto, os valores dos coeficientes de consistência, em particular os totais, não são elevados. No entanto, os valores obtidos para *C* total quando comparados com *C* parcial sugerem um efeito diferencial de algumas tarefas (como se desenvolverá mais adiante).

Para responder à questão relativa ao efeito da instrução (persistência no "tempo") na consistência das meta-ideias, houve que comparar os valores obtidos para os dois anos de escolaridade explicitados na tabela 9.15, construída a partir das tabelas A9.5 a A9.8 do Anexo IV.

Por análise da tabela 9.15 pode concluir-se que o efeito da instrução no maior ou menor carácter sistemático com que as meta-ideias foram usadas não foi o mesmo para as quatro meta-ideias. Assim,

Tabela 9.15 - Coeficientes de consistência (individual e de grupo, por ano de escolaridade)

Coeficientes de consistência		META-IDEIAS						
		"RP"		"MS"		"MA"		"EFE"
		Est.	Energ.	Est.	Energ.	Acum.	Circ.	
Ano de escolaridade		Est.	Energ.	Est.	Energ.	Acum.	Circ.	
Ci parcial, médio	9º	0,37	0,45	0,00	-	0,07	0,13	0,08
	11º	0,48	0,15	0,25	0,22	0,07	0,08	0,10
Cg parcial, médio	9º	0,41	0,45	0,00	-	0,13	0,36	0,37
	11º	0,60	0,18	0,53	0,40	0,19	0,32	0,47

(i) parece ter existido efeito de instrução muito reduzido no caso das meta-ideias "MA" e "EFE";

(ii) poderá ter havido influência da instrução na consistência (individual e de grupo) das meta-ideias "RP" e "MS", parecendo ser de inferir que a instrução terá tido na componente energética um papel mais relevante do que na componente estrutural, no abandono de ideias de "RP" e na implementação de ideias de "MS".

A hipótese de trabalho subjacente à terceira questão admite que os pares de tarefas para os quais a consistência das meta-ideias foi mais elevada, dizem respeito às tarefas que, aos olhos dos alunos, terão apresentado provavelmente, e de acordo com teorias de processamento da informação, estrutura semelhante.

O modelo de análise adotado para responder a esta questão consistiu em comparar os valores de C_i parciais, de grau 1, para as quatro meta-ideias, para o conjunto dos alunos. Para isso construiu-se a tabela 9.16, a partir das tabelas A9.5 a A9.8 do Anexo IV.

Tabela 9.16 - C_i parciais, de grau 1, para os diferentes pares de tarefas

PARES DE TAREFAS	META-IDEIAS						Valor médio de C_i	
	"RP"		"MS"		"MA"			"EFE"
	Est.	Energ.	Est.	Energ.	Acum.	Circ.		
"Ovo"- "Papel"	-	-	0,33	0,00	0,20	0,20	0,00	0,15
"Ovo"- "Sódio"	-	-	0,33	0,29	0,00	0,00	0,00	0,12
"Ovo"- "Cl. amónio"	-	-	0,00	0,00	-	-	0,00	0,00
"Papel"- "Sódio"	0,59	0,73	0,25	0,25	0,00	0,13	0,29	0,32
"Papel"- "Cl. amónio"	0,27	0,12	0,14	0,50	-	-	0,13	0,23
"Sódio"- "Cl. amónio"	0,40	0,15	0,33	0,29	-	-	0,14	0,26

Da análise da tabela 9.16 pode verificar-se que as tarefas "Papel" e "Sódio" foram aquelas que, no conjunto das quatro meta-ideias, apresentaram maiores valores para C_i (máximo=0,73). Em particular essa semelhança de estrutura foi mais acentuada no caso das meta-ideias "RP" e "EFE". De acordo com a hipótese de trabalho definida estas terão sido as tarefas consideradas pelos alunos como possuindo uma estrutura mais semelhante.

A importância da terceira questão pode ainda ser perspectivada à luz das características inerentes às tarefas seleccionadas, explicitadas na tabela 3.10, p. 102: reacções endo e exotérmicas, iniciadas e espontâneas à temperatura ambiente. A questão que agora se coloca é saber se estas características poderão ter estado na base da maior

consistência de algumas das meta-ideias. Na tabela 9.17 indicam-se os pares de tarefas correspondentes a cada uma das quatro características das reacções.

Tabela 9.17 - Características e pares de tarefas

CARACTERÍSTICA	TAREFAS
Reacções endotérmicas	"Ovo" e "Cl. amónio"
Reacções exotérmicas	"Papel" e "Sódio"
Reacções iniciadas	"Ovo" e "Papel"
Reacções espontâneas	"Sódio" e "Cl. amónio"

A partir das tabelas 9.16 e 9.17 pode concluir-se que, provavelmente, as quatro características assinaladas terão sido reconhecidas pelos alunos, nas diferentes tarefas, de modo diferente, visto ter sido diferente a consistência das meta-ideias em tarefas com a mesma característica.

Por análise das tabelas 9.16 e 9.17 poder-se-á concluir que, provavelmente, as características "exotérmica" e "espontânea" terão sido as reconhecidas de modo mais consistente.

A análise da consistência das ideias dos alunos em termos de meta-ideias, parece ter sido importante quer a nível interno do estudo quer a nível externo (utilidade educacional). Assim e, em resumo,

(1) Verificou-se existir alguma consistência nas meta-ideias usadas pelos alunos, embora essa consistência tenha sido diferencial.

(2) Tarefas com estrutura lógica considerada semelhante (em particular "reações endotérmicas" e "reações iniciadas") não terão sido provavelmente reconhecidas do mesmo modo pelos alunos. Os alunos não apresentaram pois, de um modo geral, um modo sistemático de abordar essas situações. Tal não significa que a sua resposta tenha sido menos autêntica já que esses mesmos alunos, para outros tipos de tarefas, apresentaram por vezes coeficientes de consistência mais elevados. A importância deste resultado é alertar os professores para a escolha dos exemplos e contra-exemplos a utilizar durante o ensino. Tarefas consideradas com estrutura semelhante pelo professor poderão não assumir aos olhos do aluno essa mesma estrutura. Parte da questão pode ser devida ao contexto da própria tarefa. Deste aspecto se fará referência na subsecção 9.8.

(3) A instrução parece não ter produzido efeito acentuado na consistência das meta-ideias usadas pelos alunos.

9.7 - EXTENSÃO DAS META-IDEIAS A OUTROS ALUNOS

9.7.1 - Posição do problema

Conforme foi discutido no capítulo 2 (secção 2.1), alguns autores têm levantado questões relativas à extensão a outros alunos das ideias alternativas identificadas em estudos envolvendo amostras de pequenas dimensões, nomeadamente, se tais ideias não serão apenas idiossincrásicas dos alunos investigados. Uma tentativa de resolução do problema, aliás já proposta por alguns autores (por exemplo, Treagust 1988), consiste em articular um estudo de identificação de ideias dos alunos, profundo, envolvendo uma amostra de dimensão reduzida, com um segundo abrangendo uma amostra de grandes dimensões e utilizando uma metodologia de formato mais rígido, menos

exigente quanto ao tempo necessário para recolha e tratamento dos dados, por exemplo, um questionário escrito.

Na presente investigação a limitação devida à dimensão da amostra (N=30) não foi um problema ignorado e procurou-se determinar, através de um questionário escrito, em que a extensão outros alunos partilhavam ideias que o grupo envolvido no estudo principal tinha evidenciado (capítulos 5,6,7 e 8). Embora o estudo que se apresenta nesta secção não seja ainda do tipo normativo mas apenas um ensaio piloto, ele pretende dar respostas, ainda que preliminares, ao problema da generalidade das ideias encontradas no estudo principal.

9.7.2 - Questionário-piloto

Indica-se a seguir o modo como foi construído o questionário escrito, o processo da sua administração e caracteriza-se a amostra de alunos envolvidos. No Anexo V apresenta-se a versão utilizada para o questionário.

O questionário com formato A4, era constituído por quatro folhas agrafadas: a capa destinada à identificação do aluno (escola e idade), objectivo do questionário e instruções para o aluno; seguiam-se três folhas, uma para cada tarefa, ordenadas de modo aleatório nos questionários distribuídos aos alunos.

De cada uma das tarefas foi apresentada uma descrição do fenómeno correspondente, tão próxima quanto possível da situação experimental observada durante as entrevistas clínicas.

Excluiu-se a "Reacção entre o cloreto de amónio e a água" por não ser possível traduzir de um modo simples, por escrito, todos os aspectos com possibilidade de serem observados directamente. Seguiram-se as instruções para resposta do aluno e os items, ordenados aleatoriamente, reflectindo as quatro meta-ideias identificadas no estudo principal.

Os critérios utilizados na construção dos items apresentados para cada uma das tarefas consideradas foram (i) terem sido identificadas nos alunos envolvidos no estudo

principal, (ii) serem no total em número compatível com a resposta ao questionário durante uma aula de 50 minutos.

O formato adoptado para o questionário foi tal que permitia que o aluno se pronunciasse sobre o carácter verdadeiro ou falso das ideias apresentadas, motivo pelo qual se optou por centrar os itens nas ideias não adequadas (deste modo a resposta do tipo "verdadeiro" reflectiria a extensão da ideia alternativa previamente identificada). Cada item tinha quatro possibilidades de resposta: verdadeira (V), falsa (F), não sei se é verdadeira ou falsa (NS) e Outra. Com a introdução da possibilidade de resposta do tipo "não sei se é verdadeira ou falsa" pretendeu-se eliminar a possibilidade de o aluno responder arbitrariamente, verdadeira ou falsa, caso não tivesse qualquer opinião sobre a validade das afirmações apresentadas. Este aspecto era particularmente importante para os alunos do 9º ano no caso das afirmações que envolviam atributos definicionais introduzidos após o 9º ano de escolaridade. Finalmente, garantiu-se a possibilidade de o aluno exprimir as suas próprias ideias, diferentes das explicitadas, através de uma afirmação livre a apresentar num espaço reservado para esse fim (em "Outra").

Após pequenas alterações sugeridas por um ensaio piloto numa turma do 9º ano (N=30 alunos) para testar a clareza das instruções para o aluno e estimar o tempo necessário para resposta, o questionário foi administrado pelos professores de Química de cada uma das turmas envolvidas, durante um aula normal, no final do ano lectivo de 1987-1988, e foi respondido no regime de voluntariado. A administração decorreu sem problemas.

Os alunos envolvidos na resposta ao questionário-piloto, com aproveitamento variável em Química, frequentavam o 9º e o 11º anos de escolaridade, de três escolas secundárias de Aveiro e de três escolas secundárias de Coimbra, e eram leccionados por 18 professores de Química. A amostra final foi constituída por 448 alunos: 262 do 9º ano de escolaridade (15,5 anos, em média) e 186 do 11º ano de escolaridade (17,3 anos, em média). Recorde-se que a média das idades da amostra dos alunos envolvidos no estudo principal foi, no caso do 9º ano 15,7 anos, e, no caso do 11º ano 17,2 anos

(capítulo 3, subsecção 3.3.3). As duas amostras tinham portanto composição e idades próximas.

9.7.3 - Resultados da resposta ao questionário

Os resultados globais obtidos, expressos em percentagem, para cada um dos anos de escolaridade são apresentados no Anexo V. De um modo geral poucas foram as respostas dadas a "Outra". Na tabela 9.18 apresenta-se a classificação dos itens do questionário de acordo com as meta-ideias. Note-se que dois dos itens da "Reacção entre o sódio e a água" foram classificados em duas meta-ideias distintas (itens B e D).

Tabela 9.18 - Classificação dos itens do questionário segundo as quatro meta-ideias

TAREFA	CATEGORIA DE CONTEÚDO E META-IDEIA					
	Componente Estrutural		Componente Energética			C. Estrutural + C. Energética
	"RP"	"MS"	"RP"	"MS"	"MA"	"EFE"
Cozedura do ovo	-	C	-	-	D	A B E F
Combustão do papel	C F	A	H I J	E G	D	B
Reacção entre o sódio e a água	A E	C	B D	-	D	B

9.7.3.1 - Extensão da meta-ideia "Reagente Principal"

Na tabela 9.19 apresentam-se os resultados obtidos relativamente à meta-ideia "RP", nas tarefas "Combustão do papel" e "Reacção entre o sódio e a água". Recorde-se que o "Reagente Principal" foi o papel relativamente ao oxigénio e o sódio relativamente à água.

Tabela 9.19 - Respostas (em %) do tipo V (não adequado) e NS para os itens do tipo "RP"

TAREFA	CAT. CONTEÚDO	ITEM	ANO DE ESCOLARIDADE					
			9º (N=262)		11º (N=186)		9º + 11º (N=448)	
"PAPEL"	C. Estrutural	C	(V) 71,4	(NS) 10,3	(V) 76,0	(NS) 4,9	(V) 73,3	(NS) 8,1
		F	70,2	8,8	59,9	9,9	65,9	9,3
	C. Energética	H	57,3	21,7	44,5	12,1	52,0	17,7
		I	86,6	5,4	75,5	4,4	82,0	5,0
		J	53,6	12,7	43,2	10,9	49,3	12,0
	"SÓDIO"	C. Estrutural	A	65,9	6,9	54,3	8,6	61,1
E			57,6	15,7	65,6	5,9	60,9	11,6
C. Energética		B	51,1	13,8	46,8	13,4	49,3	13,6
		D	42,4	23,3	38,7	18,3	40,9	21,2

A partir dos resultados indicados na tabela 9.19, verifica-se que, para as duas tarefas referidas,

(1) A existência de um reagente com o estatuto de "principal" é uma ideia bastante saliente para o total dos alunos (9^º + 11^º anos), mais acentuada, em média, nos aspectos estruturais do que nos aspectos energéticos e, relativamente às duas tarefas consideradas, mais evidenciada para a "Combustão do papel" do que para a "Reacção entre o sódio e a água". Considerando o conjunto dos itens que contemplavam a ideia de "RP", verifica-se que na "Combustão do papel" a ideia foi aceite por mais de 65% dos alunos no caso da componente estrutural e por mais de 49% no caso da componente energética.

Relativamente à "Reacção entre o sódio e a água" aceitaram a ideia como verdadeira, quanto aos aspectos estruturais mais de 60% dos alunos e quanto aos aspectos energéticos mais de 40% dos alunos.

Para ambas as tarefas todos os itens apresentaram uma percentagem de resposta do tipo "NS" entre 5 e 21%. De um modo geral, para qualquer das tarefas a ideia de "RP" apresentou maior número de respostas do tipo "NS" nos aspectos energéticos do que nos aspectos estruturais e mais acentuada nos alunos com menor instrução.

(2) A meta-ideia "RP" foi mais evidenciada pelos alunos do 9^º ano embora a diferença verificada em relação ao 11^º ano tenha sido nalguns casos muito pequena.

Em conclusão, relativamente à meta-ideia "RP", os resultados obtidos via questionário são pois concordantes com os obtidos para os alunos do estudo principal (ver subsecção 9.2.1, em particular tabela 9.2).

9.7.3.2 - Extensão da meta-ideia "Modelos Sequenciais"

Na tabela 9.20 indicam-se os resultados obtidos, relativos à meta-ideia "MS", nas três tarefas consideradas.

Tabela 9.20 - Respostas (em %) do tipo V (não adequado) e NS para os itens do tipo "MS"

TAREFA	CAT. CONTEÚDO	ITEM	ANO DE ESCOLARIDADE					
			9º (N=262)		11º (N=186)		9º + 11º (N=448)	
"OVO"	C. Estrutural	C	(V) 23,3	(NS) 32,1	(V) 38,5	(NS) 20,9	(V) 29,6	(NS) 27,5
"PAPEL"	C. Estrutural	A	56,3	26,1	71,1	12,0	62,4	20,2
	C. Energética	E	35,8	32,5	24,6	14,7	31,2	25,1
		G	34,7	31,3	59,6	16,4	45,0	25,1
"SÓDIO"	C. Estrutural	C	58,6	23,8	54,8	19,4	57,0	22,0

Por análise dos resultados indicados na tabela 9.20 pode verificar-se que

(1) A aceitação de uma explicação estrutural do tipo "MS" foi mais preferida pelos alunos do 11º ano do que pelos do 9º ano, no caso da "Combustão do papel" e da "Cozedura do ovo".

(2) Os alunos do 9º ano foram aqueles que em todas as situações apresentadas manifestaram maior dúvida sobre o tipo, verdadeiro ou falso, da afirmação, situação concordante com a ausência dos atributos envolvidos, no programa do 9º ano.

(3) No caso da explicação energética ("Combustão do papel"), os dois itens foram preferidos pelos dois grupos de alunos de modos opostos: a maior preferência foi, no caso do item E, pelo 9º ano e no caso do item G, pelo 11º ano.

Apesar do aspecto incorrecto da sequencialidade, o item G era o que apresentava de modo adequado o envolvimento da energia na ruptura e na formação de ligações, e foi esse o que apresentou maior preferência pelos alunos do 11º ano. Poder-se-á ainda inferir que os aspectos contraditórios que os dois itens apresentavam terão sido, provavelmente, tomados em conta pelos alunos na resposta ao questionário visto que apenas 5,3% do 11º ano (10 alunos) e 8,0% do 9º ano (21 alunos) assinalaram ambos os itens como verdadeiros.

Os resultados obtidos através do questionário, relativos à meta-ideia "MS" são, de um modo geral, concordantes com os provenientes do estudo principal (ver subsecção 9.3.1, em particular tabela 9.9).

9.7.3.3 - Extensão da meta-ideia "Modelos de Activação"

Na tabela 9.21 apresentam-se os resultados obtidos relativos à meta-ideia "MA-Circulação", nas três tarefas.

Tabela 9.21 - Respostas (em %) do tipo V (não adequado) e NS, para os itens do tipo "MA"

TAREFA	ITEM	ANO DE ESCOLARIDADE					
		9º (N=262)		11º (N=186)		9º + 11º (N=448)	
"OVO"	D	(V) 57,2	(NS) 13,0	(V) 59,7	(NS) 8,1	(V) 58,2	(NS) 11,0
"PAPEL"	D	76,3	9,2	68,9	6,0	73,2	7,9
"SÓDIO"	D	42,4	23,3	38,7	18,3	40,9	21,2

A partir dos resultados obtidos pode verificar-se que

(1) Para as tarefas "Cozedura do ovo" e "Combustão do papel", o "MA" foi aceite por mais de metade dos alunos, sendo mais elevada ainda tal aceitação no caso da "Combustão do papel" (tal como havia acontecido no estudo principal).

(2) No caso da "Combustão do papel" e na "Reacção entre o sódio e a água", a preferência pelo "MA" apresentada pelos alunos seguiu a tendência encontrada no estudo principal. No caso da "Cozedura do ovo" os valores obtidos foram aproximadamente os mesmos para os dois anos de escolaridade.

9.7.3.4 - Extensão da meta-ideia "Modelo EFE"

Na tabela 9.22 indicam-se os resultados obtidos referentes ao "Modelo EFE", nas três tarefas.

Dos resultados obtidos pode verificar-se que o "Modelo de Estado Físico-Energia" foi:

(1) mais saliente no caso da "Cozedura do ovo" do que nas outras tarefas (tal como no estudo principal);

(2) mais preferido, de um modo geral, pelos alunos do 9º ano e para as três tarefas (ao contrário do que aconteceu no estudo principal, ver subsecção 9.5.2, tabela 9.12).

Podem agora sistematizar-se os resultados obtidos, à luz dos objectivos que estiveram na base da administração do questionário-piloto, e explicitados na subsecção 9.7.1.

Apesar do carácter preliminar, os resultados obtidos através do questionário escrito sugerem que as ideias identificadas nos alunos do estudo principal foram

substancialmente aceites por outros alunos dos mesmos anos de escolaridade, i.e., apontam para a sua generalidade.

Tabela 9.22 - Respostas (em %) do tipo V (não adequado) e NS, para os itens do tipo "EFE"

TAREFA	ITEM	ANO DE ESCOLARIDADE					
		9º (N=262)		11º (N=186)		9º + 11º (N=448)	
"OVO"	A	(V) 32,2	(NS) 13,4	(V) 41,7	(NS) 16,1	(V) 36,1	(NS) 14,5
	B	72,9	8,8	61,5	10,7	68,2	9,6
	E	56,5	21,8	62,9	11,3	59,2	17,4
	F	48,8	20,3	34,2	17,7	42,7	19,2
"PAPEL"	B	28,7	16,0	18,7	16,5	24,5	16,2
"SÓDIO"	B	51,1	13,8	46,8	13,4	49,3	13,6

9.8 - INFLUÊNCIA DO CONTEXTO

9.8.1 - Posição do problema

Na selecção das tarefas do presente estudo, foram tomados em conta aspectos relativos ao contexto de apresentação das mesmas (ver capítulo 3, subsecção 3.4.1). Conforme foi referido considerou-se a dimensão familiar/académica, tendo-se seleccionado duas tarefas familiares ("Cozedura do ovo" e "Combustão do papel") e duas tarefas académicas ("Reacção entre o sódio e a água" e "Reacção entre o cloreto de

amónio e a água"). A hipótese de trabalho subjacente era de que o contexto de apresentação da tarefa poderia influenciar a explicitação da resposta adequada. Após a discussão do que aconteceu durante a cozedura do ovo, efectuou-se uma outra experiência ("Clara do ovo mais ácido sulfúrico"), e depois de tratadas as quatro tarefas, retomou-se a cozedura do ovo (recordem-se os objectivos explicitados no capítulo 3, subsecção 3.5.2).

Nesta secção pretende-se analisar o modo como a dimensão familiar/académica das tarefas se relacionou com o tipo de explicações usadas pelos alunos.

Assim, a influência do contexto nas explicações apresentadas pelos alunos pode ser analisada comparando, a nível individual, as ideias usadas

- (i) nas duas primeiras tarefas com as usadas nas duas últimas;
- (ii) sobre a "Cozedura do ovo" e "Clara do ovo mais ácido sulfúrico";
- (iii) para a mesma tarefa ("Cozedura do ovo") antes e depois de terem sido discutidas as tarefas consideradas com dimensão diferente.

De notar que enquanto no caso (i) se trata de comparar resultados dizendo respeito a tarefas cujo formato é diferente, nos dois últimos casos trata-se de estudar a influência de modificações introduzidas numa dada tarefa (ii) ou da alteração do contexto situacional (iii).

9.8.2 - Tarefas familiares *versus* tarefas académicas

Dos resultados obtidos no presente estudo pode concluir-se que, no caso das tarefas utilizadas, a dimensão familiar ou académica das tarefas não parece ter influenciado a resposta adequada, já que em nenhum caso ela foi observada.

9.8.3 - "Cozedura do ovo" *versus* "Clara do ovo mais ácido sulfúrico"

Pretende-se agora comparar o tipo de ideias apresentadas pelos alunos sobre a "Cozedura do ovo" e a "Clara do ovo mais ácido sulfúrico". Na selecção das tarefas admitiu-se como hipótese de trabalho que as duas situações teriam, para o aluno, diferente conotação, podendo a segunda ser considerada uma tarefa académica devido ao uso do ácido sulfúrico.

Por análise do conteúdo das respostas dos alunos relativas à "Clara do ovo mais ácido sulfúrico" identificaram-se duas categorias de resposta, do tipo químico, as quais são caracterizadas, exemplificadas e indicadas em extensão, na tabela 9.23.

Consideram-se explicações do tipo químico (Q) todas as interpretações baseadas em alterações a nível das unidades estruturais (partículas, moléculas, iões) das substâncias iniciais, e do tipo físico (F) aquelas que não contemplam alterações a esse nível (por exemplo, mistura, mudança de estado).

Na tabela 9.24 apresenta-se a distribuição dos alunos que mantiveram e dos que alteraram o tipo de explicação, da primeira para a segunda situação.

Dos resultados indicados na tabela 9.24 é possível verificar que:

(1) no caso do 9^o ano nenhum aluno apresentou modificação no tipo de ideias;

(2) no caso do 11^o ano, 33,3% do total dos alunos modificaram o tipo de ideias explicativas, todos eles considerando a "Clara do ovo mais ácido sulfúrico" um fenómeno químico;

(3) em nenhum caso a modificação foi inversa, i.e., do tipo químico para o tipo físico;

Tabela 9.23 - Ideias do tipo químico relativas a "Clara do ovo mais ácido sulfúrico", e sua extensão

Designação da CR	Definição	Exemplo (palavras do aluno)	Extensão	
			9º	11º
INTERACÇÃO ESTRUTURAL	Há ruptura de ligações nas moléculas da clara do ovo e do ácido sulfúrico e formação de novas "ligações", resultando novas "unidades" no produto final.	"...as moléculas do ácido sulfúrico ao misturarem-se com as do ovo, deram outras... outro tipo de moléculas, outras ligações...talvez a clara do ovo...as suas moléculas tenham-se separado e juntado com algumas do ácido sulfúrico...e formado...outra..." (Aluno 11-10: A54, A60)	0	11-06 11-10
AGLUTINAÇÃO	Há "interligação" entre as partículas existentes na clara do ovo cru e no ácido sulfúrico, resultando novas partículas que são diferentes das partículas da clara do ovo cozido.	"... acho que deve ter havido uma interligação das moléculas da clara com o ácido sulfúrico... ligaram-se de certa maneira e foram formar este composto..." (Aluno 09-08: A89)	09-08	11-04 11-05 11-07 11-09 11-11 11-14 11-17 11-18

(4) o grupo de alunos que não evidenciou alteração do tipo de explicação (56,7% da amostra total), apresentou extensão aproximadamente idêntica nos dois níveis de escolaridade (9 alunos do 9º ano e 8 alunos do 11º ano).

Em conclusão, a conotação acadêmica suposta mais acentuada na segunda experiência ("Clara do ovo mais ácido sulfúrico") terá desempenhado um papel relevante na modificação da explicação adoptada, para os alunos do 11º ano, mas não para os alunos do 9º ano.

A maior contextualização química do fenómeno pelo uso do ácido sulfúrico teria permitido a mobilização de ideias (ainda que inadequadas) provenientes da instrução.

Tabela 9.24 - Distribuição dos alunos segundo o tipo de ideias (F ou Q) usadas nas duas situações ("Cozedura do ovo" e "Clara do ovo mais ácido sulfúrico")

Tipo de ideias nas duas situações		9º ano	11º ano
Ideias do mesmo tipo	Q—Q	09-08	11-05 11-09 11-11 11-14 11-17
	F—F	09-02 09-05 09-07 09-09 09-11 09-14 09-18 09-19	11-01 11-12 11-15
Ideias de tipo diferente	Q—F	0	0
	F—Q	0	11-04 11-06 11-07 11-10 11-18
Ideias não identificadas (em uma das situações)		09-03 09-06 09-10 09-12 09-15 09-21	11-13 11-16

9.8.4 - Influência do contexto situacional sobre a "Cozedura do ovo"

A hipótese de trabalho tida em conta ao decidir retomar a discussão sobre a "Cozedura do ovo", após o tratamento de todas as tarefas, foi que a abordagem das

tarefas académicas poderia ter, para o aluno, influência no tipo de explicação a apresentar sobre uma tarefa não académica considerando, na segunda abordagem, uma explicação com carácter químico mais acentuado. Assim, para os alunos que haviam apresentado sobre a "Cozedura do ovo" uma explicação de tipo físico indica-se o tipo da explicação evidenciada na abordagem final (tabela 9.25).

Tabela 9.25 - Distribuição dos alunos com ideias sobre a "Cozedura do ovo", primeiro do tipo F e depois do tipo Q

Ano de escolaridade	Tipo de ideias sobre "Cozedura do ovo"	
	1ª abordagem (tipo F)	2ª abordagem (tipo Q)
9º	09-02 09-05 09-06 09-07 09-09 09-10 09-11 09-14 09-18 09-19 09-21	09-08
11º	11-01 11-04 11-06 11-07 11-10 11-12 11-15 11-16 11-18	11-04 11-05 11-06 11-07 11-09 11-10 11-11 11-14 11-17 11-18

Verifica-se que (tabela 9.25),

(1) dos 11 alunos do 9º ano que evidenciaram ideias do tipo F sobre a "Cozedura do ovo", nenhum modificou o tipo de explicação, após a discussão das tarefas académicas;

(2) dos 9 alunos do 11º ano com ideias consideradas do tipo F sobre a "Cozedura do ovo", 55,6%, apresentaram uma explicação do tipo Q, na abordagem posterior.

A discussão das tarefas académicas parece não ter tido influência no tipo de ideias (F ou Q) de nenhum aluno do 9º ano e de 44,4% dos alunos do 11º ano quanto à "Cozedura do ovo". Uma implicação deste resultado é de que a ordenação das tarefas na presente investigação não terá tido, provavelmente, influência acentuada nas explicações apresentadas pelos alunos.

Em conclusão, para os alunos envolvidos neste estudo, verificou-se que os do 11º ano, relativamente aos do 9º ano, são mais sensíveis à influência da variação do contexto situacional no que respeita ao reconhecimento de uma tarefa ("Cozedura do ovo") como uma transformação do tipo químico ou do tipo físico.

A importância deste resultado a nível educacional, é alertar os professores para a necessidade de escolher com critério o contexto de apresentação das situações a discutir pelos alunos. Poderá suceder que o aluno não faça a transposição de um domínio para o outro, i.e., apesar de o aluno utilizar ideias do tipo químico ao discutir tarefas académicas, ele poderá não proceder do mesmo modo para explicar tarefas análogas num contexto familiar. Esta recomendação parece ser particularmente pertinente no caso dos alunos do 11º ano, sugerindo-se o incremento do uso de situações familiares na discussão de conceitos químicos.

A falta de consistência de ideias dos alunos segundo o contexto de apresentação utilizado foi já evidenciada empiricamente por Solomon (1983) para significados sobre energia, e Driver e Oldham (1986) mostraram que os alunos podem usar ideias

adequadas em situações escolares (por exemplo, de avaliação) sem que o mesmo se verifique em contextos não académicos.

- CAPÍTULO 10 -

CONCLUSÕES, IMPLICAÇÕES EDUCACIONAIS E SUGESTÕES

10.1 - INTRODUÇÃO

Este capítulo destina-se a apresentar as conclusões do estudo realizado tendo por base os objectivos definidos no capítulo 1, e discutir implicações delas decorrentes no processo de ensino – aprendizagem da Química, em particular no tópico "A Energia nas Reações químicas". Por fim, apresentar-se-ão sugestões de temas a abordar em futuras investigações, decorrentes da análise efectuada sobre os resultados obtidos.

10.2 - SUMÁRIO DAS CONCLUSÕES PRINCIPAIS

Do estudo realizado salientam-se as seguintes conclusões, de índole geral e específica.

(a) Conclusões gerais:

- (1) As interpretações apresentadas pelos alunos diferiram das esperadas pelos seus professores no pressuposto da aprendizagem. As ideias identificadas nos 30 alunos entrevistados foram substancialmente aceites numa amostra de 448 alunos, sugerindo assim a possível generalidade de tais ideias.
- (2) As ideias alternativas persistem à instrução, i.e., os alunos do 11^º ano apresentaram ideias identificadas nos do 9^º ano.
- (3) Quanto à consistência, verificou-se que os valores não foram elevados. Isso

pode significar que as ideias dos alunos foram apenas localmente válidas. As reacções exotérmicas e espontâneas serão, possivelmente, consideradas mais semelhantes pelos alunos dado ter sido nelas que a consistência parcial das meta-ideias foi mais elevada. A instrução parece não ter produzido efeito acentuado na consistência das meta-ideias.

- (4) Relativamente à influência do contexto no tipo de resposta, verificou-se que para um terço dos alunos do 11^º ano houve evolução do tipo de explicação, no sentido mais químico, quando o contexto químico foi aumentado, e no caso do 9^º ano não houve alteração. Também não se verificou modificação do tipo de explicação para uma das reacções químicas em momentos distintos da entrevista, para nenhum aluno do 9^º ano e para 53,3% dos alunos do 11^º ano. A ordenação das tarefas não terá tido, por isso, influência no tipo de resposta.
- (5) Os resultados obtidos (ideias alternativas) são consistentes com os apresentados por outros autores, em tópicos já investigados (por exemplo, ideias de conservação de substâncias nas reacções químicas e transferência de propriedades do domínio macroscópico para o microscópico).

(b) Conclusões específicas:

- (6) Os alunos podem interpretar as reacções químicas segundo modelos diferentes, quando se referem ao processo de formação dos produtos da reacção e quando explicam o processo de variação da energia.
- (7) Os modelos utilizados pelos alunos para explicar as reacções químicas (independentes do tipo de reacção utilizada), designados por meta-ideias, foram quatro: Reagente Principal, Modelos Sequenciais, Modelos de Activação e Modelo de Estado Físico-Energia.
- (8) O Modelo de Reagente Principal ("RP") consiste na ideia de atribuir a um

dos reagentes uma função preponderante no desenrolar da reacção química, a nível estrutural e/ou a nível energético. No conjunto das três reacções onde a ideia foi evidenciada, os valores obtidos foram, para a componente estrutural: 60,0% (9º ano) e 55,6% (11º ano); para a componente energética, 71,1% (9º ano) e 37,8% (11º ano). A ideia de "RP" foi mais saliente no 9º ano, sobretudo a nível energético.

(9) Modelos Sequenciais ("MS") reflecte a interpretação da reacção química em termos de duas etapas sequenciais, a primeira envolvendo "destruição" de reagentes e a segunda formação dos produtos da reacção. O mecanismo do tipo sequencial pode englobar aspectos estruturais e/ou energéticos.

No conjunto das quatro reacções, verificou-se que a ideia praticamente não foi apresentada pelos alunos do 9º ano, e, no caso do 11º ano, 25,0% dos alunos evidenciaram-na a nível estrutural e 16,7% a nível energético.

(10) Modelos de Activação ("MA") é um modelo interpretativo da função desempenhada pela energia fornecida durante o processo de activação, a qual é considerada como ficando a fazer parte do sistema, podendo lá ficar ("acumulação") ou voltando a sair ("circulação"). No conjunto de três reacções, 35,6% dos alunos do 9º ano apresentaram ideias de "circulação" e 24,4% dos alunos do 11º ano apresentaram ideias de "acumulação" (valores máximos).

(11) O Modelo de Estado Físico-Energia ("EFE") interpreta a energia associada aos subsistemas dos reagentes e dos produtos da reacção em função do estado físico dos componentes desses sistemas. Tal ideia foi apresentada, no conjunto das quatro reacções, por 11,7% dos alunos do 9º ano e 25,0% dos alunos do 11º ano.

No essencial, o que distingue os alunos do 9º dos alunos do 11º ano é os segundos estarem mais centrados em aspectos formais e os primeiros em critérios

observáveis. Em particular, os Modelos Sequenciais são típicos do 11^º ano, o que é compatível com o tratamento dado às reacções químicas segundo atributos microscópicos, após o 9^º ano de escolaridade.

No entanto, apesar de os alunos do 11^º ano apresentarem mais do que os do 9^º ano, explicações baseadas numa lógica de relações em alternativa a uma lógica de atributos, a natureza dessas explicações está, em geral, longe de reflectir versões científicas propostas.

10.3 - LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Além das limitações próprias da metodologia utilizada, e já assinaladas nos capítulos 3 e 4, salientam-se as seguintes.

- (1) Dimensão reduzida da amostra: a construção do questionário escrito ficou limitada pelo número e tipo de ideias identificadas no grupo entrevistado.
- (2) Análise discutível: dado não existir *o método* de análise absoluto, esta constituiu um modo possível de interpretar as respostas dos alunos. As meta-ideias e as categorias de resposta pretendem ser um instrumento útil aos professores para compreenderem o porquê de respostas dos alunos, mas devem ser encaradas criticamente em estudos futuros. Note-se ainda que nem umas nem outras pretendem "quantificar erros" dos alunos.
- (3) Interpretação superficial dos desenhos e nula no caso das pausas dos alunos, dada a dificuldade inerente a tal análise e a ausência de elementos bastantes para todos os alunos.

Refira-se finalmente que apesar do interesse reconhecido e da importância atribuída, actualmente, a estudos do tipo descritivo sobre ideias alternativas dos alunos em áreas científicas, tais estudos não resolverão por si o problema do insucesso escolar

nesses temas. Com efeito, não basta identificar as ideias alternativas dos alunos e dizer aos professores quais são elas para que o ensino se processe de modo a alterá-las. É necessário prosseguir com trabalho de investigação sobre estratégias mais adequadas para resolver os problemas identificados (nomeadamente projectos de investigação-acção), e desenvolver acções de formação junto dos professores com vista à sua implementação. Qualquer das duas últimas etapas se encontra ainda numa fase de iniciação (destacam-se os trabalhos do Children's Learning in Science Project, da Universidade de Leeds, Reino Unido).

10.4 - IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO

Reconhecendo o perigo que existe em recomendar soluções simples para problemas tão complexos como a compreensão dos alunos sobre conceitos contemplados nos programas de Química, adiantam-se algumas propostas sugeridas por este (e outros estudos).

Um dos processos de incrementar a aplicação da investigação sobre ideias alternativas na sala de aula é incorporar os resultados de pesquisas em testes diagnósticos. Estes testes, quando usados no início do tratamento do tópico respectivo darão indicações aos professores sobre possíveis dificuldades dos alunos; quando usados após o tratamento do tema poderão ajudar o professor a definir estratégias de intervenção com vista à remediação. O questionário escrito desenvolvido neste estudo e apresentado na secção 9.7 (cap. 9), pode ser uma sugestão aos professores de um instrumento diagnóstico de ideias alternativas sobre "Energia e Reacções químicas".

Muitos autores partilham a ideia de que para haver mudança conceptual é indispensável criar conflito cognitivo nos alunos (Hewson and Hewson 1984), mas tal condição apesar de eventualmente necessária não é suficiente (Driver 1983). Mais, o modo como tal conflito deverá ser conduzido, varia para diversos autores. Por exemplo,

Erickson (1979) sugere discussões em grupo de alunos, com intervenção moderadora do professor; Nussbaum e Novick (1981) adiantam que reflexão por parte dos alunos, seguida de debate entre todos sobre os seus pontos de vista, e os pontos de vista defendidos por outros, tem sido eficaz; Driver (1986) e colegas do projecto CLIS encorajam a construção de cartazes pelos alunos reunidos em pequenos grupos, como um meio auxiliar organizador da apresentação das suas ideias à turma e sua discussão subsequente; Solomon (1980) advoga a utilização de trabalho experimental onde o elemento surpresa seja evidente.

Na perspectiva defendida por Solomon (1980), enquadra-se a sugestão de utilizar sistemas isolados (ou aproximadamente isolados) para conduzir reacções endotérmicas. Se o aluno confundir temperatura e energia, encontrar-se-á em dificuldades para explicar a diminuição verificada na temperatura, dentro do sistema. Os resultados obtidos na discussão da quarta experiência utilizada neste estudo ("Reacção entre o cloreto de amónio e a água", Martins and Cachapuz 1989) permitem sugerir que esta estratégia é efectivamente uma "boa estratégia" para criar conflito conceptual.

10.5 - SUGESTÕES PARA FUTURAS INVESTIGAÇÕES

Dos resultados e conclusões do presente estudo podem apresentar-se algumas sugestões de temas considerados potencialmente importantes para desenvolver em trabalhos de investigação, no futuro, os quais podem ser distribuídos por três grupos:

(1) No âmbito do problema da identificação das ideias alternativas.

- Determinar qual a relação existente entre as meta-ideias definidas e tipo de reacção química (usar reacções químicas de outros tipos, por exemplo, ácido-base).
- Determinar a popularidade das ideias alternativas identificadas,

- a nível nacional (nos mesmos anos),
 - em outros níveis de escolaridade,
 - em professores em formação.
- Clarificar a influência do contexto de escolha das tarefas no tipo de ideias alternativas apresentadas.

O avanço em estudos sobre temas mais específicos da Química, apesar de inquestionável a sua importância pela relevância que assumem nos currículos e as dificuldades manifestadas pelos alunos, deve ser articulado com estudos sobre temas de maior abrangência, os quais poderão tornar mais compreensíveis algumas das ideias e dificuldades surgidas nos alunos em temas específicos. Por exemplo, não estarão algumas ideias alternativas sobre equilíbrio químico relacionadas com ideias alternativas sobre reacção química?

(2) No âmbito do problema da origem das ideias alternativas.

- Testar (algumas) razões, raciocínios analógicos usados pelos alunos como interpretação. (Por exemplo, analogia entre "empacotamento" no ovo cozido e maior atracção electrostática entre partículas).
- Investigar sentidos do vocábulo "reacção" no quotidiano e sua influência nas ideias dos alunos (iniciação) sobre reacções químicas. Que linguagem metafórica usam os professores para introduzir o conceito de reacção química?

(3) No âmbito da mudança conceptual.

O problema de saber qual é a estratégia de ensino mais adequada é, provavelmente, uma questão sem resposta já que "o ser mais adequada" depende da ideia alternativa que estiver em causa. Aquilo que deverá ser feito é caracterizar práticas de ensino que poderão facilitar a mudança conceptual.

Assim, propõe-se:

- Identificar e construir estratégias de ensino que promovam a mudança conceptual, no caso de ideias alternativas particulares.
- Determinar como se processa a transferência de modelos de instrução intra e interdisciplinares. (Por exemplo, força e energia no âmbito de sistemas físicos, macroscópicos, para sistemas químicos, a nível microscópico).
- Investigar quais as estratégias de metacognição que os professores poderão usar para ajudar a promover a mudança conceptual.

Os resultados deste estudo destinam-se a professores, elaboradores de currículos, autores de manuais escolares, formadores de professores e a investigadores, por diferentes razões, mas a todos eles por se lhes reconhecer potencial interesse no conhecimento de ideias alternativas dos alunos.

Quanto aos professores, não existem, praticamente, estudos empíricos sobre quais são as suas necessidades relativamente ao problema das dificuldades dos alunos. Por exemplo, não se sabe se os professores estão conscientes das dificuldades de aprendizagem revelados pelos estudos de ideias alternativas, ou se é necessário torná-los conscientes disso (Duit 1987). Mais ainda, um problema com que se debate a educação em ciência é o impacto mínimo que a investigação educacional tem sobre as práticas de ensino. Apesar do grande número de estudos sobre ensino e aprendizagem publicados todos os anos, a maioria dos professores de ciência nos E.U.A. não os conhece (Tobin 1988). Sendo assim, a divulgação dos resultados de investigação deve ser encarada como um problema sério a enfrentar se, efectivamente, a investigação pretender influenciar as práticas de sala de aula.

Apesar de não se conhecerem estudos empíricos sobre a situação correspondente aos professores portugueses é previsível que o conhecimento destes sobre resultados de investigação não seja mais animador (poucos serão os que têm acesso às publicações da especialidade e o número de estudos com alunos portugueses ainda é exíguo). Torna-se

necessário pôr em prática algumas medidas.

A primeira é sensibilizar os professores para a importância do conhecimento das ideias alternativas dos seus alunos como ponto de partida para o ensino dos conceitos científicos. A este respeito pode dizer-se que os professores de Física e Química portugueses se encontram sensibilizados para o assunto (Cachapuz et al. 1989), mas muito trabalho de divulgação é ainda necessário no sentido de aumentar a consciência dos professores. Uma medida de intervenção possível seria promover a difusão, ao nível dos grupos disciplinares em todas as Escolas, dos trabalhos desenvolvidos no País, com encargos reduzidos para os professores (esta seria certamente uma boa estratégia de formação contínua).

Ao nível da elaboração de currículos e preparação de manuais escolares, assume também grande relevância a investigação educacional. Discutir sequências programáticas e estratégias de ensino deve passar também pelo conhecimento de resultados de investigação.

REFERÊNCIAS

- ABIMBOLA, I. O. (1988) The problem of terminology in the study of student conceptions in science. *Sci. Educ.*, **72** (2), 175-184.
- AMEH, C. AND GUNSTONE, R. (1985) Teachers' concepts in science. *Res. Sci. Educ.*, **15**, 151-157.
- ANDERSSON, B. (1984) Chemical reactions. *EKNA Project*, Report N^o12, Mölndal: University of Gothenburg.
- ANDERSSON, B. (1986a) The experiential gestalt of causation: a common core to pupils' preconceptions in science. *Eur. J. Sci. Educ.*, **8** (2), 155-171.
- ANDERSSON, B. (1986b) Pupils' explanations of some aspects of chemical reactions. *Sci. Educ.*, **70** (5), 549 - 563.
- ANDERSSON, B. (1988) The content of pupils' reasoning in science. In Thijs, G. D., Boer, H. H., Macfarlane, I. G. and Stoll, C. J. (eds.) *Learning difficulties and teaching strategies in secondary school science and mathematics*, Proceedings Regional Conference Botswana, December 8-11, 1987, Amsterdam: Free Univ. Press, 13-26.
- ANDERSSON, B. and KARRQVIST, C. (1983) How swedish pupils, aged 12-15 years, understand light and its properties. *Eur. J. Sci. Educ.*, **5** (4), 387-402.
- ANDERSSON, B. and RENSTRÖM, L. (1981) Oxidation of steel wool. *EKNA Project*, Report N^o 7, Mölndal: University of Gothenburg.
- ANDERSSON, B. and RENSTRÖM, L. (1983a) How swedish pupils, age 12-15, explain the copper-pipe problem. *EKNA Project*, Mölndal: University of Gothenburg.
- ANDERSSON, B. and RENSTRÖM, L. (1983b) How swedish pupils, age 12-15, explain the exhaust problem. *EKNA Project*, Mölndal: University of Gothenburg.
- ARCHENHOLD, W. F., ORTON, A., DRIVER, R. and WOOD-ROBINSON, C. (eds.) (1980) *Cognitive Development Research in Science and*

- Mathematics*. Proceedings of an International Seminar, Univ. Leeds, Sept. 17-21, 1979. Leeds: The University.
- ASE (1979) *Alternatives for Science Education*. Herts, U. K.: The Association for Science Education.
- ASE (1981) *Education through Science*. Herts, U. K.: The Association for Science Education.
- AUSUBEL, D. P. (1968) *Educational psychology – a cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston, Inc.
- BARNES, D. (1972) Language and learning in the classroom. In Cashdan, A. and Grugeon, E. (eds.) *Language in Education – A source book*, London: Routledge & Kegan Paul, 112-118.
- BARROW, G. M. (1988) Thermodynamics should be built on energy – not on heat and work. *J. Chem. Educ.*, **65** (2), 122-125.
- BATTINO, R. (1979) Why thermodynamics should not be taught to freshmen or who owns the problem? *J. Chem. Educ.*, **56** (8), 520-522.
- BELL, B., OSBORNE, R. and TASKER, R. (1985) Finding out what children think. In Osborne, R. and Freyberg, P. *Learning in Science - The implications of children's science*, Auckland and Surrey: Heinemann Publishers, 151-165.
- BEN-ZVI, R., EYLON, B-S. and SILBERSTEIN, J. (1986) Is an atom of copper malleable? *J. Chem. Educ.*, **63** (1), 64-66.
- BEN-ZVI, R., EYLON, B-S. and SILBERSTEIN, J. (1987) Students' visualisation of a chemical reaction. *Educ. Chemistry*, **24** (4), 117-120.
- BEN-ZVI, R., EYLON, B. and SILBERSTEIN, J. (1988) Theories, principles and laws. *Educ. Chemistry*, **25** (3), 89-92.
- BLISS, J., MONK, M. and OGBORN, J. (1983) *Qualitative Data Analysis for Educational Research – A guide to uses of systemic networks*. London and Canberra: Croom Helm.

- BLISS, J. and OGBORN, J. (1979) The analysis of qualitative data. *Eur. J. Sci. Educ.*, **1** (4), 427-440.
- BOGDAN, R. and TAYLOR, S. J. (1975) *Introduction to Qualitative Research Methods*. New York: John Wiley.
- BOJCZUK, M. (1982) Topic difficulties in O- and A-level chemistry. *S.S.R.*, **63** (224), 545-551.
- BOULTON, M. F. (1982) Pupils' conceptions of the nature of matter and their interpretation of its behaviour. Unpublished M. Sc. Thesis, University of East Anglia, Norwich, U. K.
- BROOK, A., BRIGGS, H. and DRIVER, R. (1984) Aspects of secondary students' understanding of the particulate nature of matter. *CLIS Project*, Leeds: The University.
- BROOK, A. and DRIVER, R. (1984) Aspects of secondary students' understanding of energy: summary report. *CLIS Project*, Leeds: The University.
- BROWN, G. and DESFORGES, C. (1979) *Piaget's Theory – A Psychological Critique*. London, Boston and Henley: Routledge & Kegan Paul.
- CACHAPUZ, A. F. C. (1984) Word meaning and chemistry learning: An investigation of the use of word association tests in chemistry lessons. Unpublished PhD Thesis, University of East Anglia, U. K.
- CACHAPUZ, A. (1987) Articulação investigação educacional/práticas educativas: problemática e perspectivas. *Actas do Colóquio Luso-Francês: As Ciências da Educação e a Formação de Professores*, G. E. P., 69-80.
- CACHAPUZ, A., MALAQUIAS, I., MARTINS, I. P., THOMAZ, M. F. e VASCONCELOS, N. (1989) Objectivos do ensino da Física e Química nos Ensinos Básico e Secundário (Parte I): Perspectivas dos professores sobre a sua relevância. Artigo submetido para publicação no *Boletim SPQ*.
- CACHAPUZ, A. F. and MARTINS, I. P. (1987) High school students' ideas about energy of chemical reactions. In Novak, J. (ed.) *Proceedings of The*

Sec. Int. Seminar Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics, vol. III, Ithaca, N.Y.: Cornell University, 60-68.

- CACHAPUZ, A. F. and MARTINS, I. P. (1988a) Learning chemical thermodynamics at school: the use of non-interactive views to interpret energy changes. Paper presented at *The 10th Biennial Conference on Chemical Education*, Purdue University, West Lafayette (Paper 027, Conference Abstracts, p. 12).
- CACHAPUZ, A. F. and MARTINS, I. P. (1988b) Misconceptions in high school chemistry: how in a chemical reaction some reactants may be more important than others. Paper presented at *The 10th Biennial Conference on Chemical Education*, Purdue University, West Lafayette (Paper 129, Conference Abstracts, p. 58-59).
- CACHAPUZ, A. F. and MARTINS, I. P. (1989) Language in chemistry: a study of its influence in the learning of elementary acid/base reactions. Paper presented at the *10th ICCE*, University of Waterloo, Ontario, Aug. 20 - 25, 1989.
- CACHAPUZ, A. F. C. and MASKILL, R. (1987) Detecting changes with learning in the organization of knowledge: Use of word association tests to follow the learning of collision theory. *Int. J. Sci. Educ.*, **9** (4), 491-504.
- CACHAPUZ, A. F. C. and RIBEIRO, M. G. (1986) Identificação de versões privadas de conceitos de Química no ensino secundário. *Boletim SPQ*, **23**, 21-36.
- CAMPBELL, J. A. (1979) What thermodynamics should be taught to freshmen, or what is the goal? *J. Chem. Educ.*, **56** (8), 520-522.
- CASSELS, J. R. T. and JOHNSTONE, A. H. (1980) The understanding of non-technical words in science. London: The Chemical Society.
- CASSELS, J. R. T. and JOHNSTONE, A. H. (1983) The meaning of words and the teaching of chemistry. *Educ. Chemistry*, **20** (1), 10-11.

- CAUZINILLE-MARMÈCHE, E., MÉHEUT, M., SÉRÉ, M. G. and WEIL-BARAIS, A. (1985) The influence of "a priori" ideas on the experimental approach. *Sci. Educ.*, **69** (2), 201-211.
- CERVELLATI, R., CONCIALINI, V., INNORTA, G. and PERUGINI, D. (1984) Chemical knowledge of students entering a first-year university chemistry course in Italy. *Eur. J. Sci. Educ.*, **6** (3), 263-270.
- CHAMPAGNE, A., HALBWACHS, F. and MÉHEUT, M. (1984) Representations and their role in learning in the fields of mechanics and transformations of matter. *Research on physics education: proceedings of the first international workshop*, La Londe Les Maures, 1983, Paris: Éditions du CNRS, 629-634.
- CHAMPAGNE, A. B., KLOPFER, L. E. and ANDERSON, J. H. (1979) Factors influencing the learning of classical mechanics. Learning Research and Development Center, Pittsburgh: The University.
- CHAMPAGNE, A. B., KLOPFER, L. E., SOLOMON, C. A. and CAHN, A. D. (1980) Interactions of students' knowledge with their comprehension and design of science experiments. Learning Research and Development Center, Pittsburgh: The University.
- CLAXTON, G. (1986) The alternative conceivers' conceptions. *Studies in Sci. Educ.*, **13**, 123-130.
- CLEMENT, J. (1982) Student preconceptions of introductory mechanics. *Amer. J. Phys.*, **50** (1), 66-71.
- CLEMENT, J. (1987) Overcoming students' misconceptions in physics: the role of anchoring intuitions and analogical validity. In Novak, J. (ed.) *Proceedings of The Sec. Int. Seminar Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, vol III, Ithaca, N. Y.: Cornell University, 84-97.

- CLOSSET, J-L. (1984) Sequential reasoning in electricity. *Research on physics education: proceedings of the first international workshop*, La Londe Les Maures, 1983, Paris: Éditions du CNRS, 313-319.
- CNRS (1984) *Research on physics education: proceedings of the first international workshop*, La Londe Les Maures, 1983. Paris: Éditions du CNRS.
- COSGROVE, M. and OSBORNE, R. (1981) Physical Change. *Learning in Science Project*, Working Paper N^o 26, Hamilton, N. Z.: University of Waikato.
- COSTA, A. M. A. (1988) De Stahl a Lavoisier em Portugal Setecentista. *Boletim SPQ*, 32-33, 8-10.
- CROS, D., CHASTRETTE, M. and FAYOL, M. (1988) Conceptions of second year university students of some fundamental notions in chemistry. *Int. J. Sci. Educ.*, 10 (3), 331-336.
- CROS, D., MAURIN, M., AMOUROUX, R., CHASTRETTE, M. and LEBER, J. (1986) Conceptions of first-year university students of the constituents of matter and the notions of acids and bases. *Eur. J. Sci. Educ.*, 8 (3), 305-313.
- DONALDSON, M. (1984) *Children's minds*. London: Fontana Paperbacks, Flamingo edition.
- DONNELLY, J. F. and WELFORD, J. F. (1988) Children's performance in chemistry. *Educ. Chemistry*, 25 (1), 7-10.
- DRIVER, R. (1977) When is a stage not a stage? A critique of Piaget's theory of cognitive development and its application to science education. *Educ. Res.*, 21 (1), 54-61.
- DRIVER, R. (1981) Pupils' alternative frameworks in science. *Eur. J. Sci. Educ.*, 3 (1), 93-101.
- DRIVER, R. (1983) *The Pupil as Scientist?*. Milton Keynes: Open Univ. Press.
- DRIVER, R. (1984) An approach to documenting the understanding of 15 years old british children about the particulate theory of matter. *Research on*

physics education: proceedings of the first international workshop, La Londe Les Maures, 1983, Paris: Éditions du CNRS, 339-346.

- DRIVER, R. (1985) Beyond appearances: The conservation of matter under physical and chemical transformations. In Driver et al. (ed.) *Children's Ideas in Science*, Milton Keynes: Open Univ. Press, 145 - 169.
- DRIVER, R. (1986) Reconstructing the science curriculum: the approach of Children's Learning in Science Project. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, San Francisco, 1986.
- DRIVER, R. (1987) Restructuring the science curriculum: some implications of studies on learning for curriculum development. Em Sequeira, M. et al. (eds.) *Actas do I Encontro sobre Educação em Ciências*, Universidade do Minho, Braga, 27-30 Maio 87, 89-105.
- DRIVER, R., CHILD, D., GOTT, R., HEAD, J., JOHNSON, S., WORSLEY, C. and WYLIE, F. (1984) Science in schools: age 15. *Assessment of Performance Unit*, Research Report N^o2, Department of Education and Science, London.
- DRIVER, R. and EASLEY, J. (1978) Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Sci. Educ.*, 5, 61-84.
- DRIVER, R. and ERICKSON, G. (1983) Theories - in - action : some theoretical and empirical issues in the study of students' conceptual frameworks in science. *Studies in Sci. Educ.* , 10, 37 - 60.
- DRIVER, R., GUESNE, E. and TIBERGHIEEN, A. (eds.) (1985) *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open Univ. Press.
- DRIVER, R. and MILLAR, R. (eds.) (1986) *Energy Matters*, Proceedings of an Invited Conference: " Teaching about energy within the secondary science curriculum", University of Leeds, March 1985. Leeds : The University.

- DRIVER, R. and OLDHAM, V. (1986) A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Sci. Educ.*, **13**, 105-122.
- DUIT, R. (1981) Understanding energy as a conserved quantity - remarks on the article by R.U. Sexl. *Eur. J. Sci. Educ.*, **3** (3), 291-301.
- DUIT, R. (1987) Research on students' alternative frameworks in science – topics, theoretical frameworks, consequences for science teaching. In Novak, J. (ed.) *Proceedings of The Sec. Int. Seminar Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, vol. I, Ithaca, N. Y.: Cornell University, 151-162.
- DUIT, R., JUNG, W. and von RHÖNECK, C. (eds.) (1985) *Aspects of understanding electricity – Proceedings of an International Workshop*, Ludwigsburg, Sept. 10-14, 1984. Kiel: IPN.
- ENGEL, E. and DRIVER, R. (1981) Investigating pupils' understanding of aspects of pressure. Paper presented at the Workshop *Problems concerning students' representation of physics and chemistry*, Ludwigsburg, Germany, September 1981.
- ENGEL CLOUGH, E. and DRIVER, R. (1985) Secondary students' conceptions of the conduction of heat: bringing together personal and scientific views. *Phys. Educ.*, **20**, 176-182.
- ENGEL CLOUGH, E. and DRIVER, R. (1986) A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts. *Sci. Educ.*, **70** (4), 473-496.
- ENGEL CLOUGH, E., DRIVER, R. and WOOD-ROBINSON, C. (1987) How do children's scientific ideas change over time?. *S.S.R.*, **69** (247), 255-267.
- ERICKSON, G. L. (1979) Children's conceptions of heat and temperature. *Sci. Educ.*, **63** (2), 221-230.
- ERICKSON, G. L. (1980) Children's viewpoints of heat: a second look. *Sci. Educ.*, **64** (3), 323-336.

- ERICKSON, G. L. (1981) Students beliefs about science concepts: A missing ingredient in the instructional process. Paper presented at the symposium *Early Adolescence: A critical stage for science*, AAAS Meeting, Toronto, Ontario.
- ERICKSON, G. L. (1985) An overview of pupils' ideas. In Driver, R. et al. (eds.) *Children's ideas in science*, Milton Keynes: Open Univ. Press., 55-66.
- ERICKSON, G. L. and TIBERGHEN, A. (1985) Heat and temperature. In Driver, R. et al. (eds.) *Children's ideas in science*, Milton Keynes: Open Univ. Press, 52-54.
- ESPER, E. A. (1973) *Analogy and association in linguistics and psychology*. Athens: Georgia University Press.
- FARIA, A. M. e RIBEIRO, M. I. (1988) *Química 11*, Manual de Química do 11º ano de escolaridade. Lisboa: Didáctica Editora.
- FENSHAM, P. J. (1983) A research base for new objectives of science teaching. *Sci. Educ.*, **67** (1), 3-12.
- FENSHAM, P. J. (1984) Conceptions, misconceptions, and alternative frameworks in chemical education. *Chem. Soc. Reviews*, **13** (2), 199-217.
- FENSHAM, P. J. (1985) Science for all: a reflective essay. *J. Curriculum Studies*, **17**, 415-435.
- FENSHAM, P. J. and KASS, H. (1988) Inconsistent or discrepant events in science instruction. *Studies in Sci. Educ.*, **15**, 1-16.
- FINLEY, F. N. (1984) Using propositions from clinical interviews as variables to compare student knowledge. *J. Res. Sci. Teach.*, **21** (8), 809-818.
- FINLEY, F. N. (1985) Variations in prior knowledge. *Sci. Educ.*, **69** (5), 697-705.
- FINLEY, F. N. (1986) Evaluation instruction: the complementary use of clinical interviews. *J. Res. Sci. Teach.*, **23** (7), 635-650.
- FINLEY, F. N., STEWART, J. and YARROCH, W. L. (1982) Teachers' perceptions of important and difficult science content. *Sci. Educ.*, **66** (4), 531-538.

- FISHER, K. M. and LIPSON, J. I. (1986) Twenty questions about student errors. *J. Res. Sci. Teach.*, **23** (9), 783-803.
- FRAZER, M. J. (1984) The future of science education. Paper presented at the annual meeting of the British Association for the Advancement of Science, Univ. East Anglia, Norwich.
- FUCHS, H. U. (1987) Thermodynamics: a "misconceived" theory. In Novak, J. (ed.) *Proceedings of The Sec. Int. Seminar Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, vol. III, Ithaca, N. Y.: Cornell University, 160-167.
- GAGNÉ, R. M. (1965) *The conditions of learning*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- GILBERT, J. K., OSBORNE, R. J. and FENSHAM, P. J. (1982) Children's science and its consequences for teaching. *Sci. Educ.*, **66** (4), 623-633.
- GILBERT, J. K. and WATTS, D. M. (1983) Concepts, misconceptions and alternative conceptions: changing perspectives in science education. *Studies in Sci. Educ.*, **10**, 61-98.
- GILBERT, J. K., WATTS, D. M. and OSBORNE, R. J. (1982) Students' conceptions of ideas in mechanics. *Phys. Educ.*, **17**, 62-66.
- GILBERT, J. K. and ZYLBERSZTAJN, A. (1985) A conceptual framework for science education: The case study of force and movement. *Eur. J. Sci. Educ.*, **7** (2), 107-120.
- GLASER, B. G. and STRAUSS, A. L. (1967) *The Discovery of Grounded Theory – Strategies for Qualitative Research*. New York: Aldine Publishing Company.
- GOETZ, J. P. and LeCOMPTE, M. D. (1984) *Ethnography and Qualitative Design in Educational Research*. New York, London and Sydney: Academic Press, Inc.
- GRANVILLE, M. F. (1985) Student misconceptions in thermodynamics. *J. Chem. Educ.*, **62** (10), 847-848.

- GUESNE, E. (1985) Light. In Driver, R. et al. (eds.) *Children's ideas in science*, Milton Keynes: Open Univ. Press, 10-32.
- GUNSTONE, R. F. (1980) Structural outcomes of physics instruction. Unpublished PhD Thesis, Monash University, Melbourne, Australia (citado por White, R. T. and Tisher, R. P. (1986) Research on natural sciences. In Wittrock, M. C. (ed.) *Handbook of Research on Teaching*, Third edition, N. Y.: Macmillan Publishing Company, 874-905).
- GUNSTONE, R. F., WHITE, R. T. and FENSHAM, P. J. (1988) Developments in style and purpose of research on the learning of science. *J. Res. Sci. Teach.*, **25** (7), 513-529.
- GUSSARSKY, E. and GORODETSKY, M. (1988) On the chemical equilibrium concept: constrained word associations and conception. *J. Res. Sci. Teach.*, **25** (5), 319-333.
- HACKLING, M. W. and GARNETT, P. J. (1985) Misconceptions of chemical equilibrium. *Eur. J. Sci. Educ.*, **7** (2), 205-214.
- HAMMERSLEY, M. (1987) Some notes on the terms "validity" and "reliability". *Brit. Educ. Res. Journal*, **13** (1), 73-81.
- HAND, B. (1988) Is conceptual conflict a viable teaching strategy?: The students' view point. *The Aust. Sci. Teachers Journal*, **34** (4), 22-26.
- HAPPS, J. (1980) Particles. *Learning in Science Project*, Working Paper N^o 18, Hamilton, N. Z.: University of Waikato.
- HASHWEH, M. Z. (1986) Toward an explanation of conceptual change. *Eur. J. Sci. Educ.*, **8** (3), 229-249.
- HASHWEH, M. (1988) Descriptive studies of students' conceptions in science. *J. Res. Sci. Teach.*, **25** (2), 121-134.
- HELM, H. and NOVAK, J. (eds.) (1983) *Proceedings of the International Seminar Misconceptions in Science and Mathematics*, June 20-22, 1983. Ithaca, N. Y.: Cornell University.

- HENLE, M. (1962) On the relation between logic and thinking. *Psychological Review*, **69** (4), 366-378.
- HEWSON, M. G. A'B. (1986) The acquisition of scientific knowledge: Analysis and representation of student conceptions concerning density. *Sci. Educ.*, **70** (2), 159-170.
- HEWSON, M. G. A'B. and HAMLYN, D. (1984) The influence of intellectual environment on conceptions of heat. *Eur. J. Sci. Educ.*, **6** (3), 245-262.
- HEWSON, P. W. (1981) A conceptual change approach to learning science. *Eur. J. Sci. Educ.*, **3** (4), 383-396.
- HEWSON, P. W. and HEWSON, M. G. A'B. (1984) The role of conceptual conflict in conceptual change and the design of science instruction. *Instruct. Sci.*, **13** (1), 1-13.
- HEWSON, P. W. and HEWSON, M. G. A'B. (1988) An appropriate conception of teaching science: A view from studies of science learning. *Sci. Educ.*, **72** (5), 597-614.
- HODSON, D. and REID, D. J. (1988a) Science for all — Motives, meanings and implications. *S. S. R.*, **69** (249), 653-661.
- HODSON, D. and REID, D. J. (1988b) Changing priorities in science education, Part II. *S. S. R.*, **70** (251), 159-165.
- HOLDING, B. (1985) Aspects of secondary students' understanding of elementary ideas in chemistry: summary report. *CLIS Project*, Leeds: The University.
- HORWOOD, R. H. (1988) Explanation and description in science teaching. *Sci. Educ.*, **72** (1), 41-49.
- HUME, D. (edição de 1966) *A treatise of human nature* (publicado em 1739, L. A. Selby-Bigge, Ed.). Oxford: Oxford Univ. Press.
- ISA, A. M. and MASKILL, R. (1982) A comparison of science word meaning in the classrooms of two different countries: Scottish integrated science in Scotland and Malasya. *Brit. J. Educ. Phycol.*, **52**, 188-198.

- JOHNSTONE, A. H. (1980) Chemical education research: facts, findings, and consequences. *Chem. Soc. Reviews*, **9** (3), 365-380.
- JOHNSTONE, A. H. (1982) Macro and microchemistry. *S. S. R.*, **64** (227), 377-379.
- JOHNSTONE, A. H., MacDONALD, J. J. and WEBB, G. (1977) Misconceptions in school thermodynamics. *Phys. Educ.*, **12**, 248-250.
- JOHNSTONE, A. H., MacDONALD, J. J. and WEBB, G. (1977) Chemical equilibrium and its conceptual difficulties. *Educ. Chemistry*, **14**, 169-171.
- JOHNSTONE, A. H. and MOYNIHAN, T. F. (1985) The relationship between performances in word association tests and achievement in chemistry. *Eur. J. Sci. Educ.*, **7** (1), 57-66.
- JONES, B. L., LYNCH, P. P. and REESINK, C. (1987) Children's conceptions of the earth, sun and moon. *Int. J. Sci. Educ.*, **9** (1), 43-53.
- KEEVES, J. P. (1988) Towards a unified approach. In Keeves, J. P. (ed.) *Educational Research, Methodology, and Measurement: An International Handbook*, Oxford and N. Y.: Pergamon Press, Advances in Education, 3-8.
- KELLY, G. A. (1955) *The psychology of personal constructs*. New York: Norton.
- van KIRK, J. (1979) Content analysis using cognitive science techniques. Paper presented at the annual meeting of NARST, Atlanta, G. A.
- KIRK, J. and MILLER, M. L. (1986) *Reliability and Validity in Qualitative Research*, Sage Univ. Paper series on Qualitative Research Methods (vol. 1). Beverly Hills, CA: Sage.
- KLEIN, C. A. (1982) Children's concepts of the earth and the sun: a cross-cultural study. *Sci. Educ.*, **65** (1), 95-107.
- KUHN, T. S. (1970) *The structure of scientific revolutions*, 2nd ed. Chicago: University of Chicago Press.
- LANDSHEERE, G. (1988) History of educational research. In Keeves, J. P. (ed.) *Educational Research, Methodology, and Measurement: An International*

- Handbook*, Oxford and N. Y.: Pergamon Press, *Advances in Education*, 9-16.
- LAWRENZ, F. (1986) Misconceptions of physical science concepts among elementary school teachers. *Sch. Sci. and Mathematics*, 86 (8), 654-660.
- LAWRENZ, F. (1987) Evaluation of a teacher inservice training program in physical science. *Sci. Educ.*, 71 (2), 251-258.
- LICHT, P. (1987) A strategy to deal with conceptual and reasoning problems in introductory electricity education. In Novak, J. (ed.) *Proceedings of The Sec. Int. Seminar Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, vol. II, Ithaca, N. Y.: Cornell University.
- LINDSAY, P. H. and NORMAN, D. A. (1977) *Human information processing: An introduction to psychology*. New York: Academic Press.
- LINN, M. C. (1987) Establishing a research base for science education: challenges, trends, and recommendations. *J. Res. Sci. Teach.*, 24 (3), 191-216.
- LYNCH, P. P. , CHIPMAN, H. H. and PACHAURY, A. C. (1985) The language of science and the high school student: the recognition of concept definitions: a comparison between hindi speaking students in India and english speaking students in Australia. *J. Res. Sci. Teach.*, 22 (7), 675-686.
- MARTIN, N., WILLIAMS, P., WILDING, J., HEMMINGS, S. and MEDWAY, P. (1976) *Understanding Children Talking*. Middlesex: Penguin Books Ltd.
- MARTINS, I. P. e CACHAPUZ, A. F. (1988) O uso de testes diagnósticos e a identificação de dificuldades na aprendizagem do tema Energia e Reacções Químicas (8º ano de escolaridade). *Boletim SPQ*, 34, 8-9.
- MARTINS, I. P. and CACHAPUZ, A. F. (1989) A simple experiment for teachers to identify how pupils use the notions of energy and temperature in chemistry lessons. Paper accepted for publication in *The School Science Review*.

- MAS, C. J. F., PEREZ, J. H. and HARRIS, H. H. (1987) Parallels between adolescents' conception of gases and the history of chemistry. *J. Chem. Educ.*, **64** (7), 616-618.
- MASKILL, R. (1988) Logical language, natural strategies and the teaching of science. *Int. J. Sci. Educ.*, **10** (5), 485-495.
- MASKILL, R. and CACHAPUZ, A. F. C. (1989) Learning about the chemistry topic of equilibrium: the use of word association tests to detect developing conceptualizations. *Int. J. Sci. Educ.*, **11** (1), 57-69.
- MASKILL, R. and PEREIRA, D. (1980) Cognitive structure from diagraph analysis of language. In Archenold, W. F. et al. (eds.) *Cognitive Development Research in Science and Mathematics*, Proceedings of an Int. Seminar 1979, Leeds: The University.
- MASKILL, R. and WALLIS, K. G. (1982) Scientific thinking in the classroom. *S. S. R.*, **63** (224), 551-554.
- McCLELLAND, J. A. G. (1984) Alternative frameworks: interpretation of evidence. *Eur. J. Sci. Educ.*, **6** (1), 1-6.
- McDERMOTT, L. C. (1984) Research in conceptual understanding of mechanics. *Phys. Today*, **37**, 23-32.
- MÉHEUT, M., SALTIEL, E. and TIBERGHIE, A. (1983) Students' conceptions about combustion (11-12 years old). L.I.R.E.S.P.T., University Paris VII.
- MÉHEUT, M., SALTIEL, E. and TIBERGHIE, A. (1985) Pupils' (11 - 12 year olds) conceptions of combustion. *Eur. J. Sci. Educ.*, **7** (1), 83 - 93.
- MORIN, E. (1982) *Ciência com consciência* (tradução de M. G. Bragança, a partir da edição francesa, Librairie Arthème Fayard). Mem Martins: Publicações Europa-América, Biblioteca Universitária.
- NISBETT, R. E. and WILSON, T. D. C. (1977) Telling more than we can know: verbal reports on mental processes. *Psychological Review*, **84** (3), 231-259.

- NOVAK, J. D. (1977) *A theory of education*. Ithaca, N. Y.: Cornell Univ. Press.
- NOVAK, J. (ed.) (1987) *Proceedings of The Second International Seminar Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, July 26-29, 1987, vol. I, II, III. Ithaca, N. Y.: Cornell University.
- NOVICK, S. and NUSSBAUM, J. (1978) Junior high school pupils understanding of the particulate nature of matter: an interview study. *Sci. Educ.*, **62** (3), 273-281.
- NOVICK, S. and NUSSBAUM, J. (1981) Pupils' understanding of the particulate nature of matter: a cross-age study. *Sci. Educ.*, **65** (2), 187-196.
- NUSSBAUM, J. (1979) Children's conceptions of earth as a cosmic body: A cross-age study. *Sci. Educ.*, **63** (1), 83-93.
- NUSSBAUM, J. (1985) The particulate nature of matter in the gaseous state. In Driver, R. et al. (eds.) *Children's ideas in science*, Milton Keynes: Open Univ. Press, 124-144.
- NUSSBAUM, J. and NOVICK, S. (1981) Brainstorming in the classroom to invent a model: a case study. *S. S. R.*, **62** (221), 771-778.
- NUSSBAUM, J. and SHARONI-DAGAN, N. (1983) Changes in second grade children's preconceptions about the earth as a cosmic body resulting from a short series of audio-tutorial lessons. *Sci. Educ.*, **67** (1), 99-114.
- OGBORN, J. and WEIL-BARAIS, A. (1984) Analysis of qualitative data. In *Research on physics education: proceedings of the first international workshop*, La Londe Les Maures, 1983, Paris: Éditions du CNRS, 557-562.
- OSBORNE, R. J. (1981) Children's ideas about electric current. *N. Z. Science Teacher*, **29**, 12-19.
- OSBORNE, R. J., BELL, B. F. and GILBERT, J. K. (1983) Science teaching and children's views of the world. *Eur. J. Sci. Educ.*, **5** (1), 1-14.
- OSBORNE, R. J. and COSGROVE, M. M. (1983) Children's conceptions of the changes of state of water. *J. Res. Sci. Teach.*, **20** (9), 825-838.

- OSBORNE, R. and FREYBERG, P. (1985) *Learning in Science: The implications of children's science*. Auckland and London: Heinemann.
- OSBORNE, R. and FREYBERG, P. (1985) Children's science. In Osborne, R. and Freyberg, P. *Learning in science: The implications of children's science*, Auckland and London: Heinemann, 5-14.
- OSBORNE, R. J. and WITTRICK, M. C. (1983) Learning science: a generative process. *Sci. Educ.*, **67** (4), 489-504.
- OSBORNE, R. J. and WITTRICK, M. C. (1985) The generative learning model and its implications for science education. *Studies in Sci. Educ.*, **12**, 59-87.
- PALAVRA, A. M. F. e CASTRO, C. A. N. (1988) Termodinâmica, suas leis e história. *Boletim SPQ*, **31**, 11-21.
- PEDROSA, M. A. (1988) The use of oral assessment in chemistry. Unpublished PhD Thesis, University of East Anglia, Norwich, U. K.
- PERALTA, C. R. e CALHAU, M. B. (1984) *Investigar e Aprender*, Ciências da Natureza, 5^o ano de escolaridade. Porto: Porto Editora.
- PEREIRA, M. P. B. A. (1981) Teaching and learning difficulties in chemical equilibrium in secondary schools in Portugal. Unpublished PhD Thesis, University of East Anglia, Norwich, U. K.
- PESTANA, M. E. M. (1986) Students' difficulties with chemical problem solving. Unpublished PhD Thesis, University of East Anglia, Norwich, U. K.
- PFUNDT, H. (1982) Preinstructional conceptions about substances and transformations of substances. In Jung, W. et al. (eds.) *Problems concerning student's representation of physics and chemistry knowledge*, Proceedings of a workshop, Ludwigsburg, Germany, 320-341.
- PFUNDT, H. and DUIT, R. (1988) *Bibliography Students' alternative frameworks and Science education*, 2nd Edition. Kiel: IPN.
- PIAGET, J. (1972) *Psicologia e Epistemologia — para uma teoria do conhecimento* (tradução de M. F. Bastos e J. G. Bastos, a partir da edição francesa,

Paris: Éditions Gonthier, 1972). Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1984.

- PIAGET, J. and INHELDER, B. (1971) *O desenvolvimento das quantidades físicas na criança: conservação e atomismo* (tradução de C. M. Oiticica, a partir da edição de 1962, Delachaux et Niestlé, Neuchâtel). Rio de Janeiro: Zahar Editores.
- PINES, L. (1980) Protocols as indicators of cognitive structure: A cautionary note. *J. Res. Sci. Teach.*, **17** (4), 361-362.
- PINES, A. L. and NOVAK, J. D. (1985) The interaction of audio-tutorial instruction with student prior knowledge: a proposed qualitative, case-study methodology. *Sci. Educ.*, **69** (2), 213-228.
- PINES, A. L., NOVAK, J. D., POSNER, G. J. and van KIRK, J. (1978) The Clinical Interview: A method for evaluating cognitive structure. *Curriculum Series*, Research Report Nº 6, Ithaca, NY: Cornell University.
- POPE, M. and DENICOLO, P. (1986) Intuitive theories — a researcher's dilemma: some practical methodological implications. *Brit. Educ. Res. Journal*, **12** (2), 153-166.
- POPE, M. L. and GILBERT, J. K. (1983) Personal experience and the construction of knowledge in science. *Sci. Educ.*, **67** (2), 193-203.
- POSNER, G. J. and GERTZOG, W. A. (1982) The clinical interview and the measurement of conceptual change. *Sci. Educ.*, **66** (2), 195-209.
- PREECE, P. F. W. (1976) Associative structure of science concepts. *Brit. J. Educ. Psychology*, **46**, 174-183.
- RENSTRÖM, L. (1987) Pupils conception of matter – A phenomenographic approach. In Novak, J. (ed.) *Proceedings of The Sec. Int. Seminar Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, vol. III, Ithaca, N. Y.: Cornell University, 400-414.
- ROSS, K. A. and SUTTON, C. R. (1982) Concept profiles and cultural context. *Eur. J. Sci. Educ.*, **4** (3), 311-323.

- ROWELL, J. A. and DAWSON, C. J. (1983) Laboratory counter-examples and the growth of understanding in science. *Eur. J. Sci. Educ.*, **5**, 203-215.
- RUMELHART, D. E. and NORMAN, D. A. (1975) *Explorations in cognition*. San Francisco: Freeman.
- SANTOS, B. de S. (1987) *Um Discurso sobre as Ciências*. Porto: Edições Afrontamento.
- SANTOS, B. de S. (1989) *Introdução a uma Ciência Pós-Moderna*. Porto: Edições Afrontamento, Biblioteca das Ciências do Homem.
- SANTOS, M. E. N. V. M. (1989) *Para uma pedagogia da mudança conceptual – Estudo de orientação epistemológica*. Tese de Mestrado em Educação, não publicada, Universidade de Lisboa, Dep. Educação da Faculdade de Ciências, Lisboa.
- SCHAEFER, G. (1979) Concept formation in biology: the concept of "growth". *Eur. J. Sci. Educ.*, **1** (1), 87-101.
- SCHOLLUM, B. (1981) Chemical change. *Learning in Science Project*, Working Paper N^o27, Hamilton, N. Z.: University of Waikato.
- SCHOLLUM, B. (1982) Reactions. *Learning in Science Project*, Working Paper N^o 37, Hamilton, N. Z.: University of Waikato.
- SCHOLLUM, B. and OSBORNE, R. (1985) Relating the new to the familiar. In Osborne, R. and Freyberg, P. *Learning in Science: The implications of children's science*, Auckland and London: Heinemann, 51-65.
- SÉRÉ, M. G. (1982) A study of some frameworks used by pupils aged 11 to 13 years in the interpretation of air pressure. *Eur. J. Sci. Educ.*, **4** (3), 299-309.
- SÉRÉ, M. G. (1985) The gaseous state. In Driver, R. et al. (eds.) *Children's ideas in science*, Milton Keynes: Open Univ. Press, 105-123.
- SÉRÉ, M. G. (1986) Children's conceptions of the gaseous state, prior to teaching. *Eur. J. Sci. Educ.*, **8** (4), 413-425.
- SHAIBU, A. A. M. (1988) Topics difficulties in A - level chemistry: students' and teachers' perception. *S. S. R.*, **70** (251), 118-120.

- SHIPSTONE, D. M. (1984) A study of children's understanding of electricity in simple D.C. circuits. *Eur. J. Sci. Educ.*, 6, 185-198.
- SHIPSTONE, D. M. (1985) Electricity in simple circuits. In Driver, R. et al. (eds.) *Children's ideas in science*, Milton Keynes: Open Univ. Press, 33-51.
- SHYMANSKY, J. A. and KYLE, W. C. (1988) A summary of research in science education – 1986: Teaching and the teacher; Learning and the learner. *Sci. Educ.*, 72 (3), 254-340.
- SIEGEL, S. (1977) *Estatística não-paramétrica* (tradução de A. A. Farias). São Paulo: Editora McGraw-Hill do Brasil, Ltd.
- SMITH, E. L. (1987) What besides conceptions needs to change in conceptual change learning?. In Novak, J. (ed.) *Proceedings of The Sec. Int. Seminar Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, vol. I, Ithaca, N. Y.: Cornell University, 424-433.
- SMITH, M. L. (1987) Publishing qualitative research. *Amer. Educ. Res. Journal*, 24 (2), 173-183.
- SOLOMON, J. (1980) *Teaching children in the laboratory*. London: Croom Helm.
- SOLOMON, J. (1983) Learning about energy: how pupils think in two domains. *Eur. J. Sci. Educ.*, 5 (1), 49-59.
- SOLOMON, J. (1986) Energy for the citizen. In Driver, R. and Millar, R. (eds.) *Energy Matters*, Proceedings of an Invited Conference: Teaching about energy within the secondary science curriculum, March 1985, Leeds: The University, 25-31.
- SOLOMON, J. (1987) Social influences on the construction of pupil's understanding of science. *Studies in Sci. Educ.*, 14, 63-82.
- SOWDEN, S. and KEEVES, J. P. (1988) Analysis of evidence in humanistic studies. In Keeves, J. P. (ed.) *Educational Research, Methodology, and Measurement: An International Handbook*, Oxford and N. Y.: Pergamon Press, Advances in Education, 513-526.

- SPECTOR, B. S. (1984) Qualitative research: data analysis framework generating grounded theory applicable to the crisis in science education. *J. Res. Sci. Teach.*, **21** (5), 459-467.
- STAVY, R. (1987) Acquisition of conservation of matter. In Novak, J. (ed.) *Proceedings of The Sec. Int. Seminar Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, vol. I, Ithaca, N. Y.: Cornell University, 456-465.
- STAVY, R. (1988) Children's conceptions of gas. *Int. J. Sci. Educ.*, **10** (5), 553-560.
- STAVY, R. and BERKOWITZ, B. (1980) Cognitive conflict as a basis for teaching quantitative aspects of the concept of temperature. *Sci. Educ.*, **64**, 679-692.
- STAVY, R., EISEN, Y. and YAAKOBI, D. (1987) How students aged 13-15 understand photosynthesis. *Int. J. Sci. Educ.*, **9** (1), 105-115.
- STEAD, B. (1980) Energy. *Learning in Science Project*, Working Paper N^o18, Hamilton, N. Z.: University of Waikato.
- STEWART, J. (1980) Techniques for assessing and representing information in cognitive structure. *Sci. Educ.*, **64** (2), 223-235.
- STEWART, J. and van KIRK, J. (1981) Content analysis in science education. *Eur. J. Sci. Educ.*, **3** (2), 171-182.
- STRAUSS, S. (1981) Cognitive development in school and out. *Cognition*, **10**, 259-300.
- STUBBS, M. (1984) *Discourse Analysis: The sociolinguistic analysis of natural language*. Oxford: Basil Blackwell.
- SUMMERS, M. K. (1983) Teaching heat - an analysis of misconceptions. *S.S.R.*, **64** (229), 670 - 676.
- SUTTON, C. R. (1980) The learner's prior knowledge: a critical review of techniques for probing its organization. *Eur. J. Sci. Educ.*, **2** (2), 107-120.

- SUTTON, C. (1982) The language of science. In Sutton, C. and West, L. (eds.) *Investigating children's existing ideas about science*, A research seminar, April 1982, 14.
- SUTTON, C. and WEST, L. (1982) *Investigating children's existing ideas about science*, A research seminar, Report and analysis. Leicester University, U. K., April 1982.
- TEODORO, V. D. (1988) *Química Básica (reações químicas)*, Manual para o 11º ano de escolaridade. Lisboa: Publicações Dom Quixote.
- THIJS, G. D., BOER, H. H., MACFARLANE, I. G. and STOLL, C. J. (eds.) (1988) *Learning difficulties and teaching strategies in secondary school science and mathematics*, Proceedings Regional Conference Botswana, December 8-11, 1987. Amsterdam: Free Univ. Press.
- TIBERGHIEEN, A. (1984a) Critical review of the research aimed at elucidating the sense that the notion of temperature and heat have for students aged 10 to 16 years. In *Research on physics education: proceeding of the first international workshop*, La Londe Les Maures, 1983, Paris: Éditions du CNRS, 75-90.
- TIBERGHIEEN, A. (1984b) Critical review of the research aimed at elucidating the sense that the notion of electric circuits have for students aged 8 to 20 years. In *Research on physics education: proceedings of the first international workshop*, La Londe Les Maures, 1983, Paris: Éditions du CNRS, 109-123.
- TIBERGHIEEN, A. (1984c) Revue critique sur les recherches visant a elucider le sens de la notion de lumière pour les élèves de 10 a 16 ans. In *Research on physics education: proceeding of the first international workshop*, La Londe Les Maures, 1983, Paris: Éditions du CNRS, 125-134.
- TOBIN, K. (1988) Improving science teaching practices. *Int. J. Sci. Educ.*, 10 (5), 175-184.

- TREAGUST, D. F. (1985) Diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. Paper presented at the 58th Annual Meeting of the NARST, Indiana, April 15-18, 1985.
- TREAGUST, D. F. (1988) Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *Int. J. Sci. Educ.*, 10 (2), 159-169.
- VEIGA, M. L. F. C. S. (1988) A study of the scientific and everyday versions of some fundamental science concepts. Unpublished PhD Thesis, University of East Anglia, Norwich, U. K.
- VIDAL, B. (1986) *História da Química* (tradução de A. F. Marques, a partir de *Histoire de la Chimie*, PUF). Lisboa: Edições 70, Lda.
- VIENNOT, L. (1979) Spontaneous learning in elementary dynamics. *Eur. J. Sci. Educ.*, 1 (2), 205-221.
- VOGELEZANG, M. J. (1987) Development of the concept "chemical substance" – some thoughts and arguments. *Int. J. Sci. Educ.*, 9 (5), 519-528.
- WALKER, J. C. and EVERS, C. W. (1988) The epistemological unity of educational research. In Keeves, J. P. (ed.) *Educational Research, Methodology, and Measurement: An International Handbook*, Oxford and N. Y.: Pergamon Press, Advances in Education, 28-36.
- WASON, P. C. (1977) The theory of formal operations – a critique. In Gerber, B. A. (ed.) *Piaget and Knowing*, London: Routledge & Kegan Paul.
- WATTS, D. M. (1982) In Gilbert, J. K. and Pope, M. *School children discussing energy*, IED mimeograph, Guildford, Department of Educational Studies, University of Surrey, 14.
- WATTS, D. M. (1983) Some alternative views of energy. *Phys. Educ.*, 18, 213-216.
- WATTS, D. M., HARRISON, G. and GILBERT, J. K. (1982) Maximising research data in the analysis of unstructured interviews. Paper presented to the Conference of British Educational Research Association, St Andrew's, Scotland.

- WELCH, W. W. (1985) Research in science education: review and recommendations. *Sci. Educ.*, **69** (3), 421-448.
- WELLS, G. (1981) Describing Children's Linguistic Development at Home and at School. In Adelman, C. (ed.) *Uttering, Muttering – Collecting, Using and Reporting Talk for Social and Educacional Research*, London: Grant McIntyre Ltd, 134-162.
- WEST, L. H. T. and FENSHAM, P. J. (1974) Prior knowledge and the learning of science – A review of Ausubel's theory of this process. *Studies in Sci. Educ.*, **1**, 61-81.
- WRIGHT, P. G. (1974) *Educ. Chemistry*, **11**, 9.
- WRIGHT, P. G. (1986) When not to teach thermodynamics. *Educ. Chemistry*, **23** (3), 96.
- YAGER, R. E. and YAGER, S. O. (1984) The effect of schooling upon understanding of selected science terms. *J. Res. Sci. Teach.*, **22** (4), 359-364.
- YARROCH, W. L. (1985) Student understanding of chemical equation balancing, *J. Res. Sci. Teach.*, **22** (5), 449-459.
- 2073 YEOMAN, G. D. (1980) Science: breadth, balance and potencial in the 11-16 curriculum. *S. S. R.*, **62** (218), 147-152.

ANEXOS

ANEXO I

Protocolo com anotações: um exemplo

Aluno 11-17-E32

Na combustão, o papel muda de forma, toma outra cor (A1) fica quebradiço (A2) deita fumo (A3)

Ea causativo!

Substâncias que intervêm: ar (A6), calor, não sei se é substância, mas é fundamental (A6), papel que é combustível (A7)

Substâncias resultantes: CO₂ (A8; A11) que saiu (A9; A11) e aqui no papel preto talvez também seja CO₂ (A10), cinza (A11), i.e., o papel queimado, preto, ressequido (A12)

- E1 - Por favor Alfredo, diz-me o que acontece ao papel durante a combustão
- A1 - durante? muda de forma . toma outra cor . . . ao papel?
- E2 - o que é que tu vês acontecer?
- A2 - - - - fica quebradiço
- E3 - uhm
- A3 - . vermelho onde o fogo está . em acção ficou ficou vermelho e deita fumo
- E4 - uhm . e como é que tu explicas o que acontece?
- A4 - acho que o calor que também altera aqui a constituição do papel . as moléculas
- E5 - qual calor?
- E5 - bem . um fósforo começou o coiso . o fogo e (t = 18 s)
- E6 - e que substâncias achas que intervêm na combustão do papel?
- A6 - substâncias? o ar . e o calor não sei se é uma substância mas que é fundamental é
- E7 - uhm . e mais o quê? mais alguma coisa?
- A7 - e o próprio papel que . também que é combustível
- E8 - e que substâncias resultam da combustão do papel ?
- A8 - que substâncias? dióxido de carbono fundamentalmente não é
- E9 - onde é que está o dióxido de carbono?
- A9 - saiu
- E10 - para onde?

- Quererá isto dizer que microscopicamente já não é papel?
- "pista"!
- O O₂ interfere na combustão porque estava presente (A15)
- Procura de um mecanismo!
- Não sei o que acontece entre o papel e o O₂ (A16), sempre ouvi dizer que o O₂ é combustível (A16), i.e., é um meio propício à combustão (A17)
- A10 - acho que era o fumo . teria saído na forma de fumo . e aqui no papel preto talvez também seja dióxido de carbono
- E11 - então repete-me por favor qual é a tua ideia . que substâncias resultam da combustão de papel?
- A11 - . acho que dióxido de carbono . que saía aqui . é um gás acho . e via-se na forma de fumo e cinza (ri-se)
- E12 - a que é que tu chamas "cinza"?
- A12 - ao papel queimado preto ressequido
- E13 - e a cinza . esse papel queimado ainda é papel?
- A13 - . bem . o papel não é . o papel é o que nós chamamos uma folha branca . papel já não é
- E14 - olha Alfredo . tu disseste que interferia na combustão do papel o ar . como é que o ar interfere na combustão do papel? é alguma coisa do ar ou é o ar todo . como é?
- A14 - acho que é o oxigénio que está no ar
- E15 - uhm
- A15 - . . . e interfere na combustão porque a combustão foi feita ao ar livre . ao ar livre portanto o ar tem que intervir . o oxigénio do ar
- E16 - então agora por favor explica-me o que é que tu achas que aconteceu entre o papel e o oxigénio que está no ar durante a combustão do papel
- A16 - entre o papel e o oxigénio não sei . só sei que sempre ouvi dizer que . que o oxigénio era combustível
- E17 - "o oxigénio é combustível"? o que é que isso significa?

O O₂ transforma-se em CO₂
(A18)

Procura de mecanismo!

O CO₂ forma-se por associação
de oxigénio com carbono (A20)

O carbono estava no papel (A21)

Formação de CO₂:
carbono + ar + calor →
CO₂ (A22)

moléculas de carbono no papel (A24) alteram-se
moléculas de oxigénio alteram-se
unem-se formando
uma única molécula (A23)

A17 - que ele é combustível? . que ele é um meio sei lá propício à combustão . . .

E18 - então o que é que acontece ao oxigénio durante a combustão?

A18 - ao oxigénio? . . . acho que transforma-se em dióxido de carbono

E19 - como?

A19 - \ como / . . .

E20 - como é que tu imaginas o processo de transformação do oxigénio em dióxido de carbono . na combustão do papel?

A20 - deve haver aqui uma . uma associação de . de oxigénio com o carbono durante a combustão

E21 - e onde é que está o carbono?

A21 - deve estar aqui não temos aqui deve ser só o papel não é? lógico temos o papel com . que fizemos arder penso que é o papel que tem . que tem o carbono

E22 - então como é que tu explicas que haja formação do dióxido de carbono? repete-me a tua ideia por favor

A22 - como é que eu explico? . acho que o ar o ar se for com o carbono . se estiver em contacto com . com ar e . e lhe for fornecido calor reage e liberta o dióxido de carbono . . .

E23 - e o que é que isso quer dizer "reage"? para ti o que é que isso significa?

A23 - . sei lá . altera constituição das moléculas do carbono e do oxigénio independentemente de maneira a que eles se possam unir formando uma única

E24 - e onde é que existe carbono?

A24 - no papel

E25 - e que substâncias existem no papel sabes? qual é a tua ideia?

<p>Não sei que substâncias existem no papel, mas como o papel liberta CO₂, deve ter carbono (A25)</p>	<p>A25 - não . o carbono tem que existir talvez . ele liberta dióxido de carbono deve ter carbono agora mais outras não sei . . .</p>
<p>Na combustão há libertação de energia (A26)</p>	<p>E26 - olha . e o processo da combustão do papel é um processo que ocorre com absorção de energia ou com libertação de energia?</p>
<p>Acção descontínua de Ea!</p>	<p>A26 - (t = 29 s) talvez libertação</p>
<p>Reacção em cadeia (A28)</p>	<p>E27 - porquê?</p>
<p>Reacção em cadeia (A28)</p>	<p>A27 - \ porquê / . porque o próprio papel ajuda a combustão . também liberta? energia . nós só lhe demos a energia com o fósforo . depois o fósforo apagou-se e no entanto o papel continuou a combustão . talvez ele forneça energia . para continuar a combustão</p>
<p>Reacção em cadeia (A28)</p>	<p>E28 - e onde é que o papel tem energia?</p>
<p>Reacção em cadeia (A28)</p>	<p>A28 - onde? (sorri) (t = 16 s) vai ser uma reacção em cadeia não é . o fósforo começa a reacção e depois continua é uma reacção descontrolada que enquanto houver papel arde . . .</p>
<p>Reacção em cadeia (A28)</p>	<p>E29 - és capaz de me explicar como é que essa reacção continua?</p>
<p>Reacção em cadeia (A28)</p>	<p>A29 - como é que a reacção continua?</p>
<p>Reacção em cadeia (A28)</p>	<p>E30 - pois . porque é que só é preciso ter o fósforo no início e depois enquanto houver papel ele arde?</p>
<p>Ea actua sobre o papel!</p>	<p>A30 - . (suspira) acho que o papel quando pegamos na folha tinha a sua constituição . as moléculas estavam . eu sei lá . estáveis . estabilizadas (sorri) e quando lhe pegámos com o fósforo . quando lhe fizemos lume o fósforo alterou a . a constituição das moléculas e eu acho que o papel não podia ficar sei lá . sei lá . como a molécula faz parte de um todo que é o papel e a matéria tende a estabilizar . tende a ficar . ser uniforme . e a molécula não podia estar num meio . sei lá queimada . queimada quer dizer do . do resto à</p>
<p>Interpretação analógica baseada em ideias de equilíbrio: o fósforo fornece energia que vai excitar uma molécula do papel, o que vai obrigar as outras moléculas à volta a serem também excitadas (A30; A31) e, em seguida, serem transformadas (A31)</p>	

sua volta . portanto tem que . ou ela tem que mudar ou as outras à sua volta têm que mudar . eu acho que como ela foi . os seus átomos foram excitados . os electrões dos seus átomos . eu sei lá . obrigam as outras também a mudar a sua constituição . acho que o fósforo deu energia suficiente para isso tudo .

E31 - então por que razão nós temos aqui uma folha de papel branco e oxigénio aqui no ar e ele não está em combustão?

A31 - porque . não foi . não foi fornecido o calor suficiente para . para . para os seus átomos se excitarem e . e fazerem uma transformação total no papel

E32 - átomos de quê?

A32 - de quê?

E33 - de átomos . estás a falar de átomos que existem onde?

O fósforo é a primeira causa da combustão (A33), mas a reacção continua depois devido ao carbono (o papel) e ao oxigénio (A33)

A33 - no papel . acho que primeiro o que reage . o que reage não . o que faz os átomos do papel se excitarem é o fósforo mas depois a reacção continua por causa da influência do carbono e do oxigénio

E34 - então és capaz de me recapitular qual é a tua ideia sobre o que acontece ao oxigénio durante a combustão?

O O₂ só intervém depois da reacção ter começado (A34)

A34 - o que acontece? bem o oxigénio só entra . só entra . na cena mais ou menos não é? (ri-se) depois da reacção ter começado . o oxigénio . . . o que é que acontece ao oxigénio? (t = 24 s)

E35 - olha se nós medíssemos . se fosse possível arranjarmos um processo de medir a quantidade de oxigénio que há nesta sala antes de termos feito arder o papel e a quantidade de oxigénio que há agora depois do papel ter ardido tu achas que agora há mais ou menos ou o mesmo oxigénio?

Conservação do O₂:
O₂+ moléculas de carbono →
CO₂(A36)

- A35 - acho que há menos
E36 - bom . então eu pergunto o que é que achas que aconteceu ao oxigénio durante a combustão?
A36 - / ah o que é que aconteceu \ . eu já disse . associou-se com as moléculas de carbono e formaram o dióxido de carbono .
E37 - mais alguma coisa, Alfredo, em relação à combustão do papel?
A37 - . . . acho que não .
E38 - bom . eu creio que entendi as tuas ideias, Alfredo.

Resumo das principais ideias sobre a "Combustão do papel"

Não sabe o que acontece entre o papel e o oxigénio (A16), mas pensa que o oxigénio é indispensável (A16; A17); o oxigénio é combustível (A16), é um meio para a combustão ocorrer (A17).

oxigénio → dióxido de carbono (A18)

moléculas de carbono + moléculas de oxigénio → CO ₂ (A22; A23)		
(do papel)	(do ar)	uma única
↑		molécula
calor		(A23)

Não sabe que substâncias existem no papel mas como há libertação de CO₂, o papel deve ter carbono (A25).

Na combustão liberta-se energia (A26). A combustão é iniciada pelo fósforo. Depois de se apagar o fósforo a reacção continua porque o próprio papel fornece energia para continuar a combustão: ideia de que a reacção é exotérmica, mas precisou de energia (para haver excitação dos átomos de papel).

1ª excitação das moléculas do papel à custa da chama do fósforo;

2ª combinação das moléculas excitadas com o oxigénio do ar, formando-se dióxido de carbono.

ANEXO II

Instruções aos juízes

I - FUNÇÃO DOS JUÍZES

Objectivo da presente tarefa

Inserido no trabalho de investigação em curso é metodologicamente necessário, através de um painel de juízes seleccionados para o efeito, validar (com vista a eventual reformulação e / ou reclassificação) :

- a) As ideias dos alunos, inferidas pelo investigador a partir dos comportamentos registados (respostas às perguntas dirigidas durante a entrevista);
- b) A classificação de tais ideias em diferentes categorias de respostas (CR), definidas pelo investigador.

II - INFORMAÇÃO AOS JUÍZES

- A. Para facilitar a organização das ideias dos alunos sobre a tarefa apresentada, considerou-se que as suas explicações poderiam envolver dois aspectos distintos de conteúdo, i.e., duas categorias de conteúdo (embora em termos de aprendizagem as duas categorias se possam, eventualmente, fundir):
- A categoria de conteúdo abrangendo os aspectos estruturais da transformação, i.e., o processo de formação do sistema final;
 - A categoria de conteúdo abrangendo os aspectos energéticos da transformação, i.e., o processo de variação da energia do sistema.
- B. As ideias dos alunos classificadas em diversas Categorias de resposta (designadas por CR), foram definidas, para cada categoria de conteúdo, a partir dos atributos criteriosais alternativos àqueles que deveriam constar na resposta adequada (designada por R.A.), no pressuposto de que houve aprendizagem, para cada um dos anos de escolaridade (9^º e 11^º).

De todas as Categorias de resposta bem como da resposta adequada, se apresentam as correspondentes definições.

Foram identificados casos de ideias de alunos que não se encaixavam em nenhuma das Categorias de resposta definidas por serem idiossincrasias. Tais ideias foram classificadas em "Outras".

Outros alunos foram classificados em "Não Identificadas", por ausência de evidência, ou por as evidências terem feito pressupor ideias contraditórias.

III - O QUE SE PRETENDE DOS JUÍZES

1. Concorda (ou não) que os comportamentos assinalados possam ser evidência das ideias inferidas (à luz dos elementos fornecidos) ?
2. Concorda (ou não) com a classificação feita sobre as ideias de cada aluno (à luz dos elementos fornecidos) ?

Tome em atenção que

3. Caso sinta dúvidas em se pronunciar sobre os aspectos referidos em 1.e/ou em 2., indique o tipo de dúvida existente.
4. Peça sempre esclarecimento sobre qualquer aspecto que lhe pareça menos claro.
5. Pode consultar os protocolos completos caso entenda ter necessidade de o fazer.
6. Assinale todos os casos que lhe mereçam dúvidas sobre a classificação de ideias, como, por exemplo,
 - não ter elementos, evidências, suficientes para classificar as ideias;
 - não ter evidências sobre as ideias (resposta tipo "não sei");
 - apresentarem ideias contraditórias.

ANEXO III

Meta-ideias: Distribuição dos alunos

Tabela A9.1 - Alunos com a meta-idade "Reagente Principal", em cada uma das tarefas

Categoria de Conteúdo	Ano de Escolaridade	TAREFAS		
		"Papel"	"Sódio"	"Cl. Amônio"
Componente Estrutural	9º	09-03	09-02	09-05 09-06
		09-05	09-03	
		09-06	09-05	
		09-07	09-06	
		09-08		
		09-09		
		09-10	09-10	09-12
		09-11	09-11	
		09-12	09-12	
	09-14	09-14		
	09-15	09-15		
	09-18	09-18		
	09-19	09-19		
	09-21			
	11º	11-01	11-01	11-01
		11-04		11-05
		11-06		11-07
		11-07	11-07	
11-09				
11-13		11-12	11-12	
11-14		11-13	11-13	
11-15		11-15	11-17	
11-16		11-16		
11-17	11-17			
11-18	11-18			
Componente Energética	9º	09-02	09-02	09-05 09-07
		09-03	09-03	
		09-05	09-05	
		09-06	09-06	
		09-07	09-07	
		09-08	09-08	
		09-09	09-09	09-11
		09-10	09-10	
		09-11	09-11	
	09-12	09-12		
	09-14	09-14		
	09-15			
	09-18	09-18		
	09-19	09-19		
	09-21	09-21		
	11º	11-01		11-07
		11-09		
		11-11		
11-12		11-12		
11-13		11-13		
11-14		11-14		
11-15		11-15		
11-16				
11-17		11-17		
11-18				

Tabela A 9.2 - Alunos com a meta-ideia "Modelos Sequenciais", em cada uma das tarefas

		TAREFAS			
Categoria de Conteúdo	Ano de Escolaridade	"Ovo"	"Papel"	"Sódio"	"Cl. Amônio"
Componente Estrutural	9º	0	09-02	0	0
	11º	11-05 11-09 11-11	11-05 11-10 11-11 11-12	11-05 11-06 11-09 11-10 11-14	11-06 11-10 11-15
Componente Energética	9º	0	0	0	0
	11º	11-09 11-11	11-05 11-06 11-07 11-10	11-01 11-05 11-06 11-09 11-10 11-11 11-18	11-06 11-10

Tabela A9.3 - Alunos com a meta-ideia "Modelos de Ativação", em cada uma das tarefas

"MA"	Ano de Escolaridade	TAREFAS		
		"Ovo"	"Papel"	"Sódio"
MA-Acumulação	9º	09-02 09-08 09-11 09-12	09-12 09-18	0
	11º	11-10 11-13 11-14 11-17 11-18	11-05 11-09 11-10 11-12 11-14 11-15	0
MA-Circulação	9º	09-05 09-07 09-10 09-18	09-02 09-03 09-05 09-06 09-08 09-09 09-10 09-11 09-15	09-02 09-06 09-14
	11º	11-07	11-01 11-06 11-07 11-18	11-12

Tabela A9.4 - Alunos com a meta-ideia "Modelo Estado Físico-Energia", em cada uma das tarefas

TAREFAS				
Ano de Escolaridade	"Ovo"	"Papel"	"Sódio"	"Cl. Amônio"
9º	09-14 09-19 09-21	09-03 09-08	09-03	09-06
11º	11-01 11-06 11-10 11-12 11-15 11-18	11-09 11-13 11-18	11-13 11-14 11-17	11-04 11-05 11-13

ANEXO IV

Meta-ideias: Coeficientes de consistência

Tabela A9.5 - Coeficientes de consistência individual e de grupo para a meta-ideia "Reagente Principal"

	Ano de escolaridade	C1, coeficiente de consistência individual, parcial, de grau 1				Ci, total	C1, coeficiente de consistência de grupo, parcial, de grau 1				Cg, total
		Papel Sódio	Sódio Amônio	Papel Amônio	C1 médio		Papel Sódio	Sódio Amônio	Papel Amônio	Cg1 médio	
Componente estrutural	9º +11º	0,59	0,40	0,27	0,42	0,25	0,70	0,45	0,35	0,50	0,32
	9º	0,60	0,27	0,23	0,37	0,20	0,73	0,27	0,23	0,41	0,20
	11º	0,58	0,56	0,31	0,48	0,31	0,67	0,67	0,46	0,60	0,46
Componente energética	9º +11º	0,73	0,15	0,12	0,33	0,12	0,77	0,15	0,12	0,35	0,12
	9º	0,93	0,21	0,20	0,45	0,21	0,93	0,21	0,20	0,45	0,20
	11º	0,45	0,00	0,00	0,15	0,00	0,54	0,00	0,00	0,18	0,00

Tabela A9.6 - Coeficientes de consistência individual e de grupo para a meta-ideia "Modelos Sequenciais"

Ano de escolar.	C1, coeficiente de consistência individual parcial, de grau 1							C2, coeficiente consistência indiv., parcial, de grau 2					Ci total	Cg1, coef. de consistência de grupo, parcial, de grau 1							Cg2, coef. consistência de grupo, parcial, de grau 2					Cg total	
	Ovo Papel	Ovo Sódio	Ovo Amônio	Papel Sódio	Papel Amônio	Sódio Amônio	C1, médio	Ovo Papel Sódio	Ovo Papel Amônio	Papel Sódio Amônio	Ovo Sódio Amônio	C2, médio		Ovo Papel Sódio Amônio	Ovo Papel Sódio	Ovo Papel Amônio	Ovo Sódio Amônio	Papel Sódio Amônio	Papel Sódio Amônio	Sódio Amônio	Cg1, médio	Ovo Papel Sódio Amônio	Ovo Papel Amônio	Papel Sódio Amônio	Ovo Sódio Amônio		Cg2, médio
Componente Estrutural	9º + 11º	0,33	0,33	0,00	0,25	0,14	0,33	0,23	0,13	0,00	0,11	0,00	0,06	0,00	0,50	0,50	0,50	0,63	0,43	0,50	0,51	0,38	0,38	0,33	0,43	0,38	0,33
	9º	0,00	-	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0	-	-	0	0	-	0	0	0	0	0	-	0	0
	11º	0,40	0,33	0,00	0,29	0,17	0,33	0,25	0,14	0,00	0,13	0,00	0,07	0,00	0,60	0,50	0,50	0,57	0,50	0,50	0,53	0,43	0,43	0,38	0,43	0,42	0,38
Componente Energética	9º + 11º	0,00	0,29	0,00	0,25	0,50	0,29	0,22	0,00	0,00	0,25	0,00	0,06	0,00	0,33	0,29	0,50	0,50	0,50	0,29	0,40	0,25	0,33	0,25	0,29	0,28	0,25
	9º	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	11º	0,00	0,29	0,00	0,25	0,50	0,29	0,22	0,00	0,00	0,25	0,00	0,06	0,00	0,33	0,29	0,50	0,50	0,50	0,29	0,40	0,25	0,33	0,25	0,29	0,28	0,25

Tabela A9.7 - Coeficientes de consistência individual e de grupo para a meta-ideia "Modelos de Ativação"

	Ano de escolaridade	C1, coef. consistência individual, parcial, de grau 1				Ci, total	Cg1, coef. consistência de grupo, parcial, de grau 1				Cg, total
		Ovo Papel	Ovo Sódio	Papel Sódio	Ci médio		Ovo Papel Sódio	Ovo Papel	Ovo Sódio	Papel Sódio	
MA-Acumulação	9º + 11º	0,20	0,00	0,00	0,07	0,00	0,57	0,00	0,00	0,19	0,00
	9º	0,20	0,00	0,00	0,07	0,00	0,40	0,00	0,00	0,13	0,00
	11º	0,22	0,00	0,00	0,07	0,00	0,56	0,00	0,00	0,19	0,00
MA-Circulação	9º + 11º	0,20	0,00	0,13	0,11	0,00	0,33	0,44	0,27	0,35	0,24
	9º	0,18	0,00	0,20	0,13	0,00	0,36	0,43	0,30	0,36	0,25
	11º	0,25	0,00	0,00	0,08	0,00	0,25	0,50	0,20	0,32	0,20

Tabela A9.8 - Coeficientes de consistência individual e de grupo para a meta-ideia "Modelo Estado Físico-Energia"

Ano de escolaridade	Ci, coeficiente de consistência individual, parcial, de grau 1							C2, coeficiente consistência individual, parcial, de grau 2					Ci total	
	Ovo Papel	Ovo Sódio	Ovo Amônio	Papel Sódio	Papel Amônio	Sódio Amônio	C1, médio	Ovo Papel Sódio	Ovo Papel Amônio	Papel Sódio Amônio	Ovo Sódio Amônio	C2, médio	Ovo Papel Sódio Amônio	
9º + 11º	0,00	0,00	0,00	0,29	0,13	0,14	0,09	0,00	0,00	0,10	0,00	0,03	0,00	
9º	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
11º	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,10	0,00	0,00	0,14	0,00	0,04	0,00	
	Cg1, coeficiente de consistência grupo, parcial, de grau 1							Cg1 médio	Cg2, coeficiente consistência grupo, parcial, de grau 2				Cg2, médio	Cg total
9º + 11º	0,38	0,31	0,31	0,57	0,50	0,57	0,44	0,27	0,25	0,40	0,25	0,29	0,22	
9º	0,40	0,25	0,25	0,50	0,33	0,50	0,37	0,20	0,17	0,33	0,20	0,23	0,17	
11º	0,38	0,33	0,33	0,60	0,60	0,60	0,47	0,30	0,30	0,43	0,27	0,33	0,25	

ANEXO V

Questionário-Piloto
e
Resultados

QUESTIONÁRIO

Identificação do aluno

Escola.....

Idade (anos).....

Objectivo do questionário:

Com este questionário pretende-se detectar dificuldades na compreensão de alguns conceitos da química tendo em vista ajudar algumas pessoas interessadas em estudar a compreensão que sobre eles tens neste momento. No final da tua resposta ao questionário far-se-á a sua correcção.

Instruções:

- O questionário é anónimo e não se destina a classificar-te.
- Por favor responde por ti pois é a tua resposta que é importante.
- Mantém-te calmo porque o questionário é simples e tens a aula inteira para responder.
- No questionário são-te descritos três fenómenos e apresentadas algumas afirmações com eles relacionadas; pede-se-te para dizeres quais delas são "verdadeiras" ou "falsas". Repara que, dado tais afirmações dizerem respeito a diferentes aspectos do fenómeno descrito, podes entender que mais do que uma das afirmações é "verdadeira" ou "falsa".

Desde já OBRIGADA pela tua colaboração.

Universidade de Aveiro

Maio 1988

Como sabes, quando se introduz um ovo cru inteiro (com a casca) em água a ferver, após alguns minutos, o ovo fica cozido.

Indica no quadrado respectivo a validade de cada uma das afirmações que se seguem relativas ao fenómeno acima descrito utilizando a chave: verdadeira (V); falsa (F); não sei se é verdadeira ou falsa (NS). Caso consideres que nenhuma afirmação é verdadeira escreve no espaço em branco de "Outra" uma que o seja.

- A) No estado sólido as partículas estão mais ligadas pelo que têm mais energia do que no estado líquido; por isso, o ovo cozido tem mais energia do que o ovo cru
- B) O calor faz com que as partículas do ovo cru se movimentem aproximando-se entre si ficando, por isso, mais ligadas umas às outras; assim, o ovo cozido fica sólido
- C) Há ruptura de ligações nas moléculas constituintes do ovo cru e os átomos separam-se; em seguida, esses átomos formam novas (outras) moléculas no ovo cozido.....
- D) A temperatura do ovo cru e do ovo cozido (após arrefecimento) é a mesma, porque a energia que foi fornecida durante a cozedura volta a sair quando o ovo cozido arrefece
- E) Devido ao calor fornecido, aumentam as forças de ligação entre as partículas constituintes do ovo cru e por isso o ovo depois de cozido fica sólido
- F) No estado sólido as partículas estão mais empacotadas e portanto têm menos mobilidade; movimentando-se menos as partículas terão menor energia e, por isso, o ovo cozido tem menos energia do que o ovo cru

OUTRA
.....
.....

Quando ocorre a combustão de um papel em contacto com o ar, iniciada pela chama de um fósforo, formam-se cinzas e fumo o qual se liberta para a atmosfera; durante a combustão sente-se calor no exterior próximo.

Indica no quadrado respectivo a validade de cada uma das afirmações que se seguem relativas ao fenómeno acima descrito utilizando a chave: verdadeira (V); falsa (F); não sei se é verdadeira ou falsa (NS). Caso consideres que nenhuma afirmação é verdadeira escreve no espaço em branco de "Outra" uma que o seja.

- A) No decorrer da reacção, primeiro há ruptura de ligações no oxigénio do ar e no papel com separação de átomos de carbono; em seguida há formação de novas ligações entre átomos de carbono e de oxigénio e resulta dióxido de carbono
- B) O calor que se sente quando o papel está a arder vem do papel e não do oxigénio do ar porque o papel é sólido e os sólidos têm mais energia que os gases
- C) No decorrer da reacção há separação de átomos de carbono do papel os quais se vão juntar com o O₂ do ar e forma-se o dióxido de carbono
- D) A combustão do papel é uma reacção em parte endotérmica e em parte exotérmica, porque teve de se fornecer energia ao papel (pelo fósforo) e em seguida essa energia foi libertada sob a forma de calor que se sente .
.....
- E) Durante a reacção, primeiro liberta-se energia (E₁) quando se rompem ligações no oxigénio e no papel; em seguida, há absorção de energia (E₂) para formar novas ligações nos produtos da reacção. Como E₁ é maior que E₂ sente-se calor no exterior próximo
- F) As cinzas resultantes são constituídas pelas partículas que existiam no papel, as quais arderam e por isso ficaram pretas.....

G) No decorrer da reacção, primeiro há absorção de energia (E_1) para romper ligações no oxigénio e no papel; em seguida, há libertação de energia (E_2) quando se formam as novas ligações nos produtos da reacção. Como E_2 é maior que E_1 sente-se calor no exterior próximo

H) A chama do fósforo provoca a ruptura de ligações com separação de átomos no papel. Nessa separação de átomos liberta-se a energia que existia nas ligações e por isso se sente calor no exterior próximo

I) O papel é combustível. Os combustíveis quando ardem libertam energia. O calor que se sente é a energia libertada pelo papel em combustão.....

J) A chama do fósforo só actuou directamente sobre o papel porque este é o combustível; não actuou sobre o oxigénio porque se trata do comburente

OUTRA
.....
.....

Quando se coloca um pedacinho de sódio sobre a água contida numa tina, verifica-se que o sódio rodopia à superfície da água, se liberta um fumo e se observa de vez em quando o aparecimento de uma chama amarelada junto ao pedacinho de sódio. O sódio vai diminuindo de tamanho até desaparecer completamente. Na tina fica uma solução com temperatura superior à temperatura da água inicial.

Indica no quadrado respectivo a validade de cada uma das afirmações que se seguem relativas ao fenómeno acima descrito utilizando a chave: verdadeira (V); falsa (F); não sei se é verdadeira ou falsa (NS). Caso consideres que nenhuma afirmação é verdadeira escreve no espaço em branco de "Outra" uma que o seja.

- A) As partículas constituintes do sódio separam-se umas das outras e depois distribuem-se entre as moléculas da água ocupando os espaços que estas têm entre si
- B) O sódio tem mais energia do que a água visto ser um sólido; por isso, quando é posto em contacto com a água alguma da sua energia passa para a água e a temperatura desta aumenta.....
- C) Primeiro há separação entre os átomos de sódio e entre os átomosconstituintes das moléculas de água; em seguida os átomos de sódio ligam-se com os átomos de oxigénio e há libertação de átomos de hidrogénio da água para o exterior
- D) Para que o sódio comece a reagir a água fornece alguma energia ao sódio; no entanto, o sódio depois liberta mais energia para a água e, por isso, a temperatura aumenta
- E) As partículas constituintes do sódio separam-se e depois juntam-se com as moléculas de água formando novas moléculas as quais existem no conteúdo final da tina

OUTRA
.....
.....

INSTRUÇÕES AO PROFESSOR

1º - Esclarecer os alunos apenas sobre o sentido da 4ª instrução ao aluno, referida na folha de apresentação:

- i) Para cada uma das afirmações apresentadas o aluno deve indicar se a considera ou "Verdadeira", ou "Falsa", ou se "Não sabe se é verdadeira ou falsa".
- ii) O aluno deve responder a todas as afirmações.
- iii) O aluno pode considerar várias verdadeiras e/ou várias falsas para o mesmo fenómeno.
- iv) Se para um dado fenómeno não houver nenhuma afirmação que o aluno considere verdadeira, então deverá indicar em "Outra" uma que o seja.

2º - Não fazer correcção do Questionário enquanto todos os alunos da Escola envolvidos no estudo não tiverem respondido.

Tabela A9.9 - Resultados globais (em %) do questionário-piloto

TAREFA	TIPO DE RESPOSTA	ANO DE ESCOLARIDADE	ITEM DO QUESTIONÁRIO											
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Outra	
COZEDURA DO OVO	V	9º	32,2	72,9	23,3	57,2	56,5	48,8						1,1
		11º	41,7	61,5	38,5	59,7	62,9	34,2						2,2
	F	9º	54,4	18,3	44,6	29,8	21,7	30,9						
		11º	42,2	27,8	40,6	32,2	25,8	48,1						
	NS	9º	13,4	8,8	32,1	13,0	21,8	20,3						
		11º	16,1	10,7	20,9	8,1	11,3	17,7						
COMBUSTÃO DO PAPEL	V	9º	56,3	28,7	71,4	76,3	35,8	70,2	34,7	57,3	86,6	53,6	1,9	
		11º	71,1	18,7	76,0	68,9	24,6	59,9	59,6	44,5	75,5	43,2	1,1	
	F	9º	17,6	55,3	18,3	14,5	31,7	21,0	34,0	21,0	8,0	33,7		
		11º	16,9	64,8	19,1	25,1	60,7	30,2	24,0	43,4	20,1	45,9		
	NS	9º	26,1	16,0	10,3	9,2	32,5	8,8	31,3	21,7	5,4	12,7		
		11º	12,0	16,5	4,9	6,0	14,7	9,9	16,4	12,1	4,4	10,9		
REACÇÃO ENTRE O SÓDIO E A ÁGUA	V	9º	65,9	51,1	58,6	42,4	57,6						1,5	
		11º	54,3	46,8	54,8	38,7	65,6						3,2	
	F	9º	27,2	35,1	17,6	34,3	26,7							
		11º	37,1	39,8	25,8	43,0	28,5							
	NS	9º	6,9	13,8	23,8	23,3	15,7							
		11º	8,6	13,4	19,4	18,3	5,9							

Publicação subsidiada pelo
Instituto Nacional de Investigação Científica

Composto e impresso na:
LASERpress – Processamento e Artes Gráficas, Lda.
Al. Calouste Gulbenkian, L 5 – E2 e 6 – Tel. (039) 34973/24120
3000 COIMBRA

UA/8D
N: 55271
Date 12 JAN. 1998
Cote CC 52-83

RIA – Repositório Institucional da Universidade de Aveiro

<http://ria.ua.pt>

O Apêndice A (Entrevistas clínicas) está disponível para consulta/requisição na Mediateca da UA com a localização CF-22-84 e CF-22-84.1.

Serviços de Biblioteca, Informação Documental e Museologia
Universidade de Aveiro