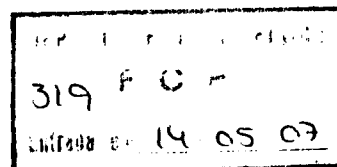


OFERTA

CIENT

Joaquim Manuel Moutinho Morgado



APRENDER CONCEITOS DE FISICA

Das dificuldades de aprendizagem ao estudo e aplicação
de algumas estratégias em contexto de sala de aula

U. PORTO

FC

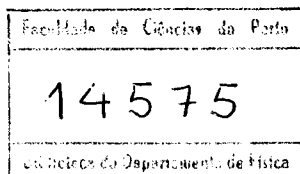
**FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO**

Biblioteca
Faculdade de Ciências
Universidade do Porto

FC



0000109104



Tese de Mestrado em Física para o Ensino
Departamento de Física
17 de Abril de 2007

QC 29 MOR; A 2007

Handwritten signature
07.05.07

*Não sei o que se passa com as pessoas:
não aprendem compreendendo; aprendem de
qualquer outro modo – decorando, ou qualquer
coisa assim. O seu conhecimento é tão frágil!*

R. FEYNMAN, in *"Está a Brincar, Sr Feynman"*

*À Glória, à Daniela e à
Catarina.*

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero muito agradecer ao Professor Doutor Paulo Simeão de Carvalho, meu orientador da tese de dissertação, por todos os contributos dados e o estímulo que sempre me transmitiu. Na verdade, foi incansável no apoio concedido.

Agradeço também aos Professores Nilza Costa e Adriano Sampaio pela colaboração prestada na validação do questionário aplicado.

À professora Elsa Canelas Alves fico muito reconhecido pelo contributo dado na realização da intervenção efectuada em três turmas de 9.º ano da Escola EB 2,3 Manoel de Oliveira, em Aldoar.

Depois à professora Liliana Monteiro e ao professor Carlos Azevedo, dado que foram os nossos interlocutores na Escola EB 2,3 de Baguim do Monte e do Colégio Luso-Francês do Porto, respectivamente.

Uma palavra de agradecimento, também, aos alunos das turmas em que ocorreu a intervenção, fazendo votos de que a aprendizagem que realizaram lhes permita começar ver a FÍSICA com outros olhos.

Gostaria ainda de recordar aos muitos alunos que ao longo destes anos me têm mostrado que vale pena ensinar FÍSICA.

Por último, a outro nível, um agradecimento à minha mãe e ao meu pai (a título póstumo).

Resumo

A prática diária dos professores que leccionam conteúdos de Física a alunos do ensino básico e do ensino secundário e os resultados do PISA 2000, revelam a dificuldade de ensinar conceitos de Física a alunos daqueles graus de ensino.

Se os programas actualmente em vigor se orientam numa perspectiva em que os conteúdos abordados são, na globalidade, de grande interesse para os alunos, por que motivo não há uma aprendizagem efectiva dos conceitos?

Com base nestas preocupações, delineámos uma intervenção em contexto de sala de aula, ao nível do 9.º ano, na qual dávamos grande importância à construção de mapas conceptuais, apoiados pela elaboração de glossários feitos pelos alunos. Nestes, deveriam ser integrados atributos de cada conceito que tivesse sido leccionado, quer nas aulas de Física e Química, quer noutras disciplinas, de modo a criar um campo conceptual mais alargado.

A intervenção realizou-se na Escola EB 2,3 Manoel de Oliveira, em Aldoar, Porto, durante a leccionação do subtema “Em trânsito”. Antes daquela ser iniciada, passou-se um questionário (pré-teste) e no final da intervenção, voltou a ser passado o mesmo questionário (pós-teste). Para elemento de comparação, este mesmo questionário foi passado a duas turmas do mesmo ano, mas de escolas com meio cultural e sócio-económico distinto: a Escola EB 2,3 de Baguim do Monte e o Colégio Luso-Francês do Porto.

Numa primeira fase, fizemos a análise comparativa entre o pré-teste e o pós-teste na escola de intervenção e numa fase posterior, comparámos os resultados do pós-teste nas três escolas. Da análise realizada, parece-nos claro que a linguagem do dia-a-dia contribui de forma muito significativa para as dificuldades sentidas na formulação e reformulação da construção dos conceitos, podendo estes ser aprendidos mais eficazmente se se utilizarem instrumentos metacognitivos, como os mapas conceptuais e os glossários.

Recomenda-se, assim, que instrumentos com esse cariz sejam integrados em contexto de sala de aula, de modo a que possa ocorrer aprendizagem significativa dos conceitos.

Indice

Capítulo 1 – Introdução	1
 - Justificação do tema da tese de dissertação	3
 - Estrutura da dissertação	6
Capítulo 2 – Currículo de Física e literacia científica	9
 - A Física no Currículo Nacional	11
2.1.1 – Breve introdução histórica do ensino da Física nos liceus	11
2.1.2 – A Física no currículo actual	15
 - A Física e a literacia científica	18
2.2.1 – Literacia científica: evolução do conceito	18
2.2.2 – Literacia científica: estudo internacional PISA	21
2.2.3 – Resultado dos alunos portugueses no PISA 2000	23
2.2.4 – A literacia científica nos programas actuais de Física	25
Capítulo 3 – Ensino e aprendizagem da Física	27
 - Linguagem e aprendizagem da Física	29
3.3.1 – Conceitos, definições e linguagem	29
3.1.2 – Linguagem e aprendizagem significativa	32
3.1.3 – Aprendizagem através da interacção social	34
3.1.4 – Subjectividade e linguagem usada em Ciência	35
 - Campos conceptuais e modelos mentais	38
3.2.1 – Campos conceptuais de Vergnaud	38
3.2.2 – Modelos mentais	41
 - Teoria da aprendizagem significativa	44
3.3.1 – Introdução	44
3.3.2 – Aprendizagem significativa: tipos de aprendizagem	45
3.3.3 – Teoria da assimilação: aprendizagem subordinada e aprendizagem superordenada	49
3.3.4 – Conteúdos programáticos e aprendizagem significativa	51
3.3.5 – O papel do aluno na aprendizagem significativa	52
3.3.6 – A teoria de Ausubel em contexto de sala de aula	53
 - Mapas conceptuais e glossários	54
3.4.1 – Mapas de conceitos	54
3.4.1.1 – Significado geral dos mapas de conceitos	54
3.4.1.2 – Construção de mapas de conceitos	55
3.4.1.3 – Características dos mapas conceptuais	56
3.4.1.4 – Mapas conceptuais na sala de aula	58
3.4.2 – Glossários	61
Capítulo 4 – Instrumento de diagnóstico e conceitos abordados	63
 - Construção do instrumento de diagnóstico	65
4.1.1 – Introdução	65
4.1.2 – Metodologia de construção	65
 - Os conceitos abordados no estudo	71
4.2.1 – Movimento	71
4.2.2 – Rapidez média	80
4.2.3 – Aceleração	83
4.2.4 – Força	87
4.2.5 – Massa e peso	99
4.2.5.1 – Massa	99
4.2.5.2 – Peso	111
4.2.6 – Pressão	119

Capítulo 5 – Estudo empírico	125
- Aplicação do questionário	127
5.1.1 – Introdução	127
5.1.2 – Caracterização da escola de intervenção	127
5.1.3 – Metodologia na intervenção	128
5.2 – Tratamento e análise da informação	131
5.2.1 – Categorização das respostas	131
5.2.2 – Análise do pré-teste e do pós-teste	135
5.2.2.1 – Conceito: aceleração	135
5.2.2.2 – Conceito: rapidez	140
5.2.2.3 – Conceitos: peso e massa	147
5.2.2.4 – Conceito: movimento	150
5.2.2.5 – Conceito: pressão	153
5.2.2.6 – Conceito: força	156
5.3 – Comparação de respostas em mais duas escolas	164
5.3.1 – Introdução	164
5.3.2 – Caracterização das escolas	164
5.3.3 – Tratamento e análise da informação recolhida	166
5.3.3.1 – Conceito: aceleração	166
5.3.3.2 – Conceitos: peso e massa	171
5.3.3.3 – Conceito: movimento	174
5.3.3.4 – Conceito: pressão	178
5.3.3.5 – Conceito: força	181
Capítulo 6 – Conclusões	189
- Principais conclusões	191
- Principais dificuldades	204
- Limitações do estudo	204
- Recomendações para estudos posteriores	205
Anexos	207
Anexo 1 – Questionário	I
Anexo 2 – Questionário final	v
Anexo 3 – Diálogo entre Salviati e Simplicio	ix
Anexo 4 – Mapas de conceito de apoio	xiii
Anexo 5 – Mapas de conceitos	xxi
Anexo 6 – Glossário	xxvii
Bibliografia	xxxix

Índice das tabelas

Capítulo 2 – Currículo de Física e literacia científica	9
Tabela 1 – Organização curricular do Curso Geral na reforma de 1918	12
Tabela 2 – Organização curricular do Curso Complementar na reforma de 1918	13
Tabela 3 – Carga horária da disciplina de Físico-Química no 3.º Ciclo do Ensino básico	15
Tabela 4 – Matriz curricular do Curso de Ciências e Tecnologias do Ensino Secundário	16
Tabela 5 – Definição das três dimensões fundamentais para estudar a literacia científica	22
 Capítulo 3 – Ensino e aprendizagem da Física	 27
Tabela 1 – Algumas diferenças entre a linguagem comum e a linguagem científica	37
 Capítulo 4 – Instrumento de diagnóstico e conceitos abordados	 63
Tabela 1 – Conceitos de Física seleccionados das Orientações Curriculares das Ciências Físicas e Naturais para o 3.º Ciclo	65
Tabela 2 – Frases escritas pelos alunos relativamente a alguns conceitos	66
Tabela 3 – Principais conceitos identificados no subtema “Em trânsito” do tema “Viver melhor na Terra”	68
Tabela 4 – Conceitos de Física, revisitados no tema “Em trânsito”, cuja primeira abordagem é realizada no tema “Terra no Espaço”	68
Tabela 5 – Conceitos utilizados no questionário final	69
Tabela 6 – Direcção da aceleração	85
Tabela 7 – Relação entre o tipo de movimento e as componentes da aceleração	87
Tabela 8 – Relação entre o sentido da velocidade e a componente tangencial da aceleração	87
Tabela 9 – Síntese comparativa da massa inercial e da massa gravitacional	105
Tabela 10 – Unidade SI da pressão e das grandezas de que depende	120
 Capítulo 5 – Estudo empírico	 125
Tabela 1 – Categorização das respostas para o conceito de aceleração	131
Tabela 2 – Categorização das respostas para o conceito de rapidez	132
Tabela 3 – Categorização das respostas para os conceitos de peso e massa	132
Tabela 4 – Categorização das respostas para o conceito de movimento	133
Tabela 5 – Categorização das respostas para o conceito de pressão	133
Tabela 6 – Categorização das respostas para o conceito de força	134
Tabela 7A – Opção vs Justificação no pré-teste	137
Tabela 7B – Opção vs Justificação no pós-teste	137
Tabela 8A – Opção vs Situação no pré-teste	138
Tabela 8B – Opção vs Situação no pós-teste	139
Tabela 9A – Afirmação escolhida vs Justificação no pré-teste	143
Tabela 9B – Afirmação escolhida vs Justificação no pós-teste	143
Tabela 10A – Opção vs Justificação no pré-teste	146
Tabela 10B – Opção vs Justificação no pós-teste	146
Tabela 11A – Opção escolhida vs Justificação no pré-teste	155
Tabela 11B – Opção escolhida vs Justificação no pós-teste	156
Tabela 12A – Opção 1 vs Justificação no pré-teste	159
Tabela 12B – Opção 1 vs Justificação no pós-teste	160
Tabela 13A – Opção 2 vs Justificação no pré-teste	161
Tabela 13B – Opção 2 vs Justificação no pós-teste	161

Índice dos gráficos

Capítulo 5 – Estudo empírico	125
Gráfico 1A e 1B – Opção escolhida no pré-teste e no pós-teste	135
Gráfico 2A e 2B – Justificação no pré-teste e no pós-teste	136
Gráfico 3A e 3B – Contexto no pré-teste e no pós-teste	140
Gráfico 4A e 4B – Opção 1 no pré-teste e no pós-teste	141
Gráfico 5A e 5B – Frase escolhida no pré-teste e no pós-teste	141
Gráfico 6A e 6B – Justificação no pré-teste e no pós-teste	142
Gráfico 7A e 7B – Não: justificação no pré-teste e no pós-teste	144
Gráfico 8A e 8B – Opção 2 no pré-teste e no pós-teste	145
Gráfico 9A e 9B – Justificação 2 no pré-teste e no pós-teste	145
Gráfico 10A e 10 B – Opção no pré-teste e no pós-teste	148
Gráfico 11A e 11B – Frase no pré-teste e no pós-teste	148
Gráfico 12A e 12B – Frase no pré-teste e no pós-teste	149
Gráfico 13A e 13B – Opção no pré-teste e no pós-teste	151
Gráfico 14A e 14 B – Desenho no pré-teste e no pós-teste	151
Gráfico 15A e 15 B – Contexto no pré-teste e no pós-teste	152
Gráfico 16A e 16B – Frase no pré-teste e no pós-teste	153
Gráfico 17A e 17 B – Opção escolhida no pré-teste e no pós-teste	154
Gráfico 18A e 18 B – Justificação no pré-teste e no pós-teste	154
Gráfico 19A e 19 B – Opção 1 no pré-teste e no pós-teste	157
Gráfico 20A e 20 B – Opção 2 no pré-teste e no pós-teste	158
Gráfico 21A e 21 B – Justificação no pré-teste e no pós-teste	158
Gráfico 22A e 22 B – Desenho no pré-teste e no pós-teste	162
Gráfico 23A e 23B – Contexto no pré-teste e no pós-teste	163
Gráfico 24A e 24B – Opção escolhida na escola 1 e na escola 2	166
Gráfico 24C – Opção escolhida na escola de intervenção	167
Gráfico 25A e 25B – Justificação na escola 1 e na escola 2	167
Gráfico 25C – Justificação na escola de intervenção	168
Gráfico 26A e 26B – Situação descrita na escola 1 e na escola 2	168
Gráfico 26C – Situação descrita na escola de intervenção	169
Gráfico 27A e 27B – Contexto na escola 1 e na escola 2	170
Gráfico 27C – Contexto na escola de intervenção	170
Gráfico 28A e 28B – Opção escolhida na escola 1	171
Gráfico 28C – Opção escolhida na escola de intervenção	171
Gráfico 29A e 29B – Frase sobre massa na escola 1 e na escola 2	172
Gráfico 29C – Frase sobre massa na escola de intervenção	173
Gráfico 30A e 30 B – Frase sobre peso na escola 1 e na escola 2	173
Gráfico 30C – Frase sobre massa na escola de intervenção	174
Gráfico 31A e 31B – Opção na escola 1 e na escola 2	174
Gráfico 31C – Opção na escola de intervenção	175
Gráfico 32A e 32B – Desenho na escola 1 e na escola 2	175
Gráfico 32C – Desenho na escola de intervenção	176
Gráfico 33A e 33B – Contexto na escola 1 e na escola 2	177
Gráfico 33C – Contexto na escola de intervenção	177
Gráfico 34A – Frase sobre pressão na escola 2	178
Gráfico 34B – Frase sobre pressão na escola de intervenção	178
Gráfico 35A – Opção na escola 2	179
Gráfico 35B – Opção na escola de intervenção	179
Gráfico 36A – Justificação na escola 2	180
Gráfico 36B – Justificação na escola de intervenção	180
Gráfico 37A e 37B – Opção 1 na escola 1 e na escola 2	181
Gráfico 37C – Opção 1 na escola de intervenção	182
Gráfico 38A e 38B – Opção 2 na escola 1 e na escola 2	183
Gráfico 38C – Opção 2 na escola de intervenção	184
Gráfico 39A e 39B – Justificação na escola 1 e na escola 2	184
Gráfico 39C – Justificação na escola de intervenção	185
Gráfico 40A e 40B – Desenho na escola 1 e na escola 2	186
Gráfico 40C – Desenho na escola de intervenção	186
Gráfico 41A e 41B – Contexto na escola 1 e na escola 2	187
Gráfico 41C – Contexto na escola de intervenção	187

Índice das figuras

Capítulo 2 – Currículo de Física e literacia científica	9
Figura 1 – Componentes essenciais à formação de um indivíduo com perspectiva crítica, segundo Hodson	20
Figura 2 – Dimensões da literacia científica, de acordo com a OCDE	21
Figura 3 – Processos científicos que são avaliados no PISA	22
Figura 4 – Desempenho médio dos alunos em literacia científica no PISA 2000	24
Capítulo 3 – Ensino e aprendizagem da Física	27
Figura 1 – Linguagem e aprendizagem significativa	32
Figura 2 – Aprendizagem e Zona de Desenvolvimento Próximo	34
Figura 3 – Aprendizagem por recepção e por descoberta num <i>continuum</i> distinto entre aprendizagem mecânica e significativa	46
Figura 4 – O <i>continuum</i> aprendizagem mecânica – aprendizagem significativa	47
Figura 5 – Representação esquemática da assimilação-obliteração de um novo subsunçor s através de um subsunçor S já existente, resultando um subsunçor modificado S'	50
Figura 6 – Organização de um mapa conceptual	57
Capítulo 4 – Instrumento de diagnóstico e conceitos abordados	63
Figura 1 – Referencial para uma partícula que se move em linha recta	71
Figura 2 – Movimento da mosca sobre o tampo da mesa	72
Figura 3 – Movimento de um referencial em relação a outro	75
Figura 4 – Transformadas de Galileu	76
Figura 5 – Pêndulo de Foucault no panteão de Paris	78
Figura 6 – Pêndulo de Foucault na Universidade de Chicago	78
Figura 7 – Rotação do plano de oscilação do pêndulo no Hemisfério Norte	79
Figura 8 – Rotação do plano de oscilação do pêndulo no Hemisfério Sul	79
Figura 9 – Determinação do deslocamento de uma partícula entre duas posições	80
Figura 10 – Determinação gráfica da aceleração	84
Figura 11 – Componentes do vector aceleração	85
Figura 12 – Galileu e o "Diálogo sobre os dois sistemas do Mundo	89
Figura 13 – Experiência pensada de Galileu	90
Figura 14 – Isaac Newton e o livro <i>Philosophie Naturalis Principia Mathematica</i>	91
Figura 15 – Ao chutar a bola há uma interacção entre o pé e a bola. Essa interacção traduz-se por uma força	94
Figura 16A e B – Representação da força gravítica a que está sujeito um corpo rígido num campo gravítico uniforme	96
Figura 17 – Representação das forças que actuam no bloco em repouso sobre um plano inclinado. A linha de acção da força normal não pode coincidir com a normal ao plano que passa pelo centro de gravidade	97
Figura 18 – Balança de dois pratos	100
Figura 19 – À superfície da Terra, quando o "elevador" está em repouso, a bola cai com aceleração de $9,8 \text{ m s}^{-2}$	103
Figura 20 – O "elevador" é levado para o espaço sideral com aceleração $9,8 \text{ m s}^{-2}$. Quando o homem larga a bola, esta "cai" com uma aceleração de $9,8 \text{ m s}^{-2}$	103
Figura 21 – Interpretação de um observador exterior à Terra	113
Figura 22 – Interpretação de um observador solidário com a Terra	114
Figura 23 – Observador no interior de um elevador	116
Figura 24 – Força oblíqua à superfície	120
Figura 25 – Força perpendicular à superfície	120
Figura 26 – O corpúsculo, ao colidir com a parede do recipiente, sobre variação do momento linear	122

CAPÍTULO 1

Introdução



Justificação do tema da tese de dissertação



Estrutura da dissertação

1 - Introdução

1.1 – Justificação do tema da tese de dissertação

A Física é um ramo da Ciência, fundamental para a estruturação da formação dos indivíduos, dado que permite desenvolver uma grande variedade de competências, sendo algumas destas fundamentais para a sua inclusão sadia na sociedade.

Na verdade, quando por exemplo são observados alguns fenómenos naturais que ocorrem à nossa volta, logo nos apercebemos que é necessário ter conhecimentos adequados para os poder compreender e explicar.

Por outro lado, actualmente, em cada instante, estamos a utilizar produtos resultantes da evolução da tecnologia, sendo muitos desses produtos consequência de avanços científicos no âmbito da Física. De realçar que a utilização desses artefactos contribui para que possamos ter melhor qualidade de vida. Assim, um indivíduo só poderá ter uma vivência em equilíbrio na sociedade, se tiver adquiridos conhecimentos que lhe permitam compreender e utilizar a linguagem científica utilizada em discursos informais.

No livro “Uma análise do currículo da escolaridade básica na perspectiva da educação em ciências”, (Martins *et al*, 1999) destacam uma série de argumentos a favor da importância do conhecimento científico-tecnológico. De entre outros, realçamos:

- a Ciência esclarece as múltiplas relações dos seres vivos entre si e com a Natureza, orientando para uma intervenção da Tecnologia que respeite esta Natureza;
- a Ciência fornece as bases que permitem avaliar os efeitos da Tecnologia no ambiente;
- os processos próprios do pensamento científico ajudam na elaboração de juízos sobre situações do quotidiano.

Estes argumentos e muitos outros que poderíamos mencionar, mostram como é fundamental a aprendizagem de Ciência, onde se inclui a Física.

Também no documento “Currículo Nacional do Ensino Básico – competências essenciais” (DEB, 2001), se advoga o ensino da Ciência como fundamental, referindo que, por exemplo, deverá proporcionar a possibilidade de adquirir uma compreensão geral e alargada das ideias importantes e das estruturas explicativas da Ciência, bem como dos procedimentos da investigação científica, de modo a sentir confiança na abordagem de questões científicas e tecnológicas.

Apesar de no referido documento estarem definidas orientações programáticas para o 1.º ciclo e para do 2.º ciclo do ensino básico, onde se incluem experiências de aprendizagem em torno das Ciências, incluindo conteúdos de Física (DEB, 2001), só no 3.º ciclo se inicia a disciplina que efectivamente aborda de modo mais formal a Física.

Não podemos deixar de referir que, para uma percentagem considerável de alunos, este é o único ciclo de aprendizagem de uma Ciência fundamental para a compreensão de uma infinidade de acontecimentos que ocorrem à nossa volta. Deste modo, os professores que leccionam a disciplina de Física e Química deverão estar conscientes de que as experiências de aprendizagem que realizarem com os seus alunos serão, para muitos deles, determinantes para a visão que criam do mundo que está à sua volta.

Nesta perspectiva, muitas têm sido as alterações ocorridas ao nível do currículo, nomeadamente ao nível dos programas das disciplinas. Contudo, verifica-se que tardam em chegar resultados que permitam concluir, que as alterações introduzidas proporcionaram uma aprendizagem efectiva dos conteúdos e dos conceitos leccionados em Física. A título meramente pessoal, não podemos deixar de referir que as orientações programáticas para o ensino básico e os novos programas de Física e de Química do secundário, têm conseguido criar maior interesse dos alunos pelos conteúdos que são abordados. Contudo, ao nível das aprendizagens, ainda não se perspectivam resultados muito significativos.

Assim, se os programas são mais interessantes, por que motivo não se notam melhorias substanciais nos resultados dos alunos, ou seja, por que motivo parece ser tão difícil APRENDER CONCEITOS DE FÍSICA?

As respostas mais rápidas e mais fáceis de dar à questão colocada são do tipo:

- “os alunos estudam pouco”;
- “estão pouco atentos”;
- “revelam dificuldades de concentração”;
- “não se interessam por nada”;
- “desistem à primeira dificuldade que lhes surge”;
- “vêm mal preparados dos anos anteriores”.

Apesar de haver uma percentagem significativa de alunos que correspondem ao modelo referido, há, também, aqueles que demonstram interesse e empenho e obtêm resultados aceitáveis ou bons nos testes que realizam. Contudo, mesmo estes, quando são solicitados a explicar o significado de um conceito ou a referir os factores com que varia uma dada grandeza física, ou a controlar variáveis de modo a proporem

uma explicação para um facto, revelam muitas dificuldades dado que, em geral, não fizeram uma aprendizagem significativa do conceito, mas, provavelmente uma aprendizagem memorística daquele.

Na verdade, parece-nos que estão nos factos acabados de mencionar, os motivos que levaram à escolha deste tema para tese de dissertação. Algo com que sempre nos interrogamos é: quais as estratégias a criar, que promovam uma aprendizagem mais efectiva, atendendo às dificuldades que geralmente os alunos apresentam?

A definição de estratégias adequadas poderá levar a que, alunos ditos com dificuldades, e mesmo aqueles que atingem bons resultados em questões tradicionais, consigam ter uma aprendizagem mais eficaz. Assim, definimos alguns instrumentos de trabalho e desenhámos um plano de intervenção em contexto de sala de aula, para estudar se a utilização desses instrumentos, na qual os alunos tiveram uma participação activa, favorecia a aprendizagem significativa dos conceitos.

Como instrumentos de trabalho, escolhemos a construção de **mapas de conceitos** e de **glossários**, sendo estes de apoio à elaboração dos primeiros. Na nossa perspectiva, os alunos construiriam um glossário de termos, conceitos e expressões com significado (usando linguagem científica e, tanto quanto possível, as suas próprias palavras) e depois dar-lhe-iam, dentro do possível, um organização sequencial sob a forma de mapa de conceitos. Deste modo criariam uma visão mais alargada dos conceitos, já que lhes conseguiam ligar vários atributos, até aí pouco relevantes na sua compreensão.

A intervenção decorreu durante cerca de um período lectivo em três turmas de 9.º ano, da Escola EB 2,3 Manuel de Oliveira, na freguesia de Aldoar, concelho do Porto, enquanto estavam a ser leccionados os conteúdos do subtema “Em trânsito”.

Em termos de metodologia do estudo empírico, elaborámos um primeiro questionário que foi passado em turmas de várias escolas, de modo a observarmos tipos de respostas padronizadas dadas pelos alunos. Com base neste questionário e na pesquisa bibliográfica que realizámos, construimos um outro, que passámos a designar de QUESTIONÁRIO FINAL e que foi aplicado às turmas de intervenção, antes e depois daquela ocorrer. O mesmo questionário foi também aplicado em duas turmas de escolas com características sócio-económicas distintas (Colégio Luso-Francês do Porto e Escola EB 2,3 de Baguim do Monte), de modo a podermos comparar os seus resultados com os da escola de intervenção, após esta ter decorrido.

Depois, comparámos os resultados do questionário final na escola de intervenção, antes e depois deste ter ocorrido, e os resultados das duas escolas de comparação com a de intervenção.

Com base nos resultados do estudo empírico, pretendemos verificar se, por exemplo:

- a utilização, em contexto de sala de aula, de instrumentos com características fundamentalmente metacognitivas, favorecem uma aprendizagem mais eficaz dos conceitos estudados;

- a introdução de um ensino mais centrado na análise conceptual contribui para uma maior literacia científica dos nossos alunos.

Por último, não podemos deixar de realçar que a realização deste trabalho irá com certeza contribuir para uma melhoria do desempenho profissional do seu autor, nomeadamente a nível científico, onde teve a oportunidade de explorar conteúdos e conceitos de Física nos quais sentia desconhecimento e/ou dificuldades, e a nível didáctico, pois permitiu-lhe fazer uma revisão bibliográfica de alguns conteúdos com este carácter.

1.2 – Estrutura da dissertação

A dissertação foi estruturada em seis capítulos, estando cada um deles dividido em dois ou mais sub-capítulos. Em cada um desses capítulos, são desenvolvidos os temas seguintes:

CAPÍTULO I – Introdução

Neste capítulo faz-se uma breve justificação da pertinência do tema escolhido, assim como da forma como está organizada esta tese de dissertação.

CAPÍTULO II – O currículo de Física e a literacia científica

Neste capítulo é feita uma abordagem sucinta da evolução da introdução das Ciências, em especial da Física, no currículo Nacional, assim como, da importância que esta área do saber foi adquirindo na formação dos alunos portugueses.

Além disso, faz-se uma análise do estudo PISA na avaliação da literacia científica dos alunos portugueses de 15 anos, realizada em 2000.

CAPÍTULO III – Ensino e aprendizagem da Física

Neste capítulo, constituído por quatro partes, faz-se uma revisão de algumas “ferramentas” fundamentais para quem pretende ensinar.

Na primeira parte, reflecte-se sobre a importância da linguagem na aprendizagem da Física. De seguida faz-se uma incursão pelos campos conceptuais de Gérard Vergnaud, assim como pela importância dos modelos mentais na aprendizagem. Na terceira parte, é feita uma abordagem à teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, aos mapas de conceitos e aos glossários.

CAPÍTULO IV – Instrumento de diagnóstico e conceitos abordados

Este capítulo começa com a descrição das etapas que levaram à construção do instrumento de diagnóstico. De seguida é feita uma abordagem científica, relativamente profunda, do significado dos conceitos físicos incluídos no questionário construído.

CAPÍTULO V – Estudo empírico

Na primeira parte deste capítulo, descreve-se a metodologia seguida na aplicação do instrumento de diagnóstico. O tratamento e análise da informação recolhida na escola de intervenção constituem a segunda parte deste capítulo. Na terceira parte faz-se uma análise comparativa do resultado da aplicação do questionário, em duas escolas com características sócio-económicas e culturais distintas, após os conteúdos terem sido leccionados, com os resultados dos alunos da escola de intervenção.

CAPÍTULO VI – Conclusões

Este é o capítulo onde se encontram as conclusões deste estudo, assim como as suas limitações, as questões que ficaram por resolver e pistas que poderão ser úteis para dar continuidade a este trabalho de investigação.

CAPÍTULO 2

Currículo de Física e literacia científica

- 2.1** A Física no currículo nacional
- 2.2** A Física e literacia científica

2.1 - A Física no currículo nacional

2.1.1 - Breve evolução histórica do ensino da Física nos liceus

O ensino da Física nos liceus surge no currículo com a Reforma do ensino realizada por Passos Manuel, em 1836.

De acordo com Adão (2001), esta reforma “teria como objectivo principal não só uma preparação básica e indispensável para o ingresso nos cursos superiores e de formação do clero como até então, mas também contribuir para o desenvolvimento intelectual dos alunos e proporcionar conhecimentos científicos e técnicos necessários aos “usos da vida”, ...”.

Atendendo a esta finalidade, foi então criada a disciplina de *Princípios de Física, de Química, e de Mecânica aplicados às Artes e Ofícios*, considerada como 7.ª prioridade, logo seguida da Geografia, Cronologia e História. De referir que a criação dessa nova disciplina foi um dos elementos inovadores da reforma preconizada por Passos Manuel.

Contudo, esta nova disciplina manteve-se em vigor durante menos de uma década. Na Reforma de 1844, realizada por Costa Cabral, as disciplinas de carácter científico tornaram-se facultativas. Era, no entanto, dada a possibilidade ao governo de criar, quando o julgasse conveniente e segundo as necessidades locais, as cadeiras de Introdução à História Natural dos Três Reinos¹, com as suas usuais aplicações à Indústria e Noções Gerais de Física; Economia Industrial e Escrituração; Química Aplicada às Artes, etc.

Por exemplo, em 1854, as Cortes Gerais decretaram a criação da Cadeira de Princípios de Física e Química e Introdução à história natural dos três reinos nos liceus de Coimbra e Porto, tendo os alunos que pretendessem frequentar a referida cadeira, de pagar mil reis pela matrícula e outra quantia igual quando terminasse a sua regência. É curioso notar que, no mesmo documento em que é criada a referida cadeira, se diz que a quantia paga seria “aplicada para prover às despesas que se fizessem com as demonstrações necessárias para o ensino daquela Cadeira.”

No mesmo decreto, o governo autorizara a possibilidade de abertura da mesma Cadeira nos Liceus das capitais de distrito.

Com a Reforma de Fontes Pereira de Melo, em 1860, volta novamente a ser obrigatória a aprendizagem das ciências, tendo sido criada a cadeira de Química e Física elementares – introdução à história natural dos três reinos, sendo a 6.ª prioridade

¹ <http://phoenix.scc.fct.unl.pt/jmmatos/CLIVROS/CLVRSHTM/RFL12/RFL12C.HTM>

na formação dos alunos e leccionada no 4.º ano, com uma carga horária de 2 horas semanais.

Em 1880, com a Reforma do Ensino Liceal de Luciano Castro, que Rómulo de Carvalho classifica de “desastrada legislação”, o ensino nos liceus passa a ser constituído por seis anos: quatro correspondentes ao Curso Geral e dois ao Curso Complementar. Neste havia a formação em Letras e a formação em Ciências. No Curso Geral passou a haver uma disciplina de Elementos de Física, Química e de Economia Política e no Curso Complementar de Ciências passou a existir a disciplina de Física e Química.

Logo de seguida, em 1883, Tomás Ribeiro reformulou a organização curricular e regenerou o currículo escolar para um curso único de seis anos, onde era leccionada a disciplina de Ciências Físicas e Naturais. De notar que esta é a designação actualmente utilizada para a área disciplinar constituída pela Física e Química e Ciências Naturais, no 3.º Ciclo do Ensino Básico.

Na justificação desta nova organização do ensino nos liceus, é referido que aquela proposta teve em conta a «razoável combinação do ensino literário e científico para aqueles que queiram seguir cursos superiores, a constituição de cursos especiais para aqueles que se destinem às carreiras profissionais, e uma educação geral, que habilite para todos os empregos e usos da vida» (Adão, 2001).

A reforma de 1894, realizada por Jaime Moniz, fez com que o curso, que era de seis anos, passasse a ser de sete, sem bifurcação entre Letras e Ciências, sendo cinco anos de Curso Geral e dois de Curso Complementar.

Com a Reforma do ensino liceal de Alfredo de Magalhães, realizada em 1918, continuou a existir o Curso Geral e o Complementar, sendo este desdobrado na área das Letras e das Ciências.

As matrizes curriculares das tabelas I e II mostram as disciplinas leccionadas em cada um dos Cursos, assim como a carga horária, expressa em horas, disponibilizada para cada uma delas.

Tabela 1 – Organização curricular do Curso Geral na reforma de 1918 (Carvalho, 1996)

Disciplinas	1ª Secção		2ª Secção		
	I	II	III	IV	V
Português	-	-	3	3	3
Narrativas históricas	5	5	-	-	-
Latim	-	-	4	3	3
Francês	4	3	3	3	3
Inglês	-	3	3	3	3
Geografia	3	2	1	1	1
História	-	-	2	2	2
Matemática	5	4	3	3	3
Ciências físico-químicas	-	-	2	3	3
Ciências naturais	3	3	1	1	1
Ginástica	2	2	2	2	2

	Total	22	22	24	24	24
Desenho	3	3	3	3	3	3
Trabalhos manuais educativos	3	3	3	2	2	2
Canto Coral	2	2	2	1	1	1

Tabela 2 – Organização curricular do Curso Complementar na reforma de 1918 (Carvalho, 1996)

	Letras		Ciências	
	VI	VII	VI	VII
Português e literatura portuguesa	4	4	3	3
Latim e literatura latina	5	5	-	-
Inglês	3	3	3	3
Alemão	4	4	-	-
Geografia	2	2	-	-
História	3	3	-	-
Matemática	-	-	4	4
Ciências Físico-Naturais	-	-	2	2
Ciências naturais	-	-	3	3
Física	-	-	3	3
Química	-	-	3	3
Propedêutica filosófica	2	2	2	2
Ginástica	1	1	1	1
Total	23, 24	23,24	23,24	23,24
Desenho	-	-	2	2
Trabalhos práticos	1,5	1,5	6	6
Aulas práticas de línguas	6	6	-	-

Da análise do currículo do Curso Geral podemos verificar que as Ciências Físico-Químicas ganham autonomia em relação às Ciências Naturais e, ao contrário desta, só começam a ser leccionadas a partir do III ano, ou seja, quando os alunos atingem a idade próxima dos 12/13 anos. Em relação à matriz do Curso Complementar é de realçar o facto de:

- as disciplinas de Física e de Química serem autónomas logo a partir do VI ano, tendo cada uma a carga horária semanal de 3 horas;
- os alunos de Letras terem semanalmente 1,5 horas de Trabalhos Práticos e os de Ciências 6 horas.

Com a última reforma da I República, realizada por Leonardo Coimbra em 1921, as Ciências Físico-Naturais deixam de fazer parte do currículo do Curso Completar de Letras, passando a ser a Matemática a única disciplina de Ciências a ser leccionada a esses alunos. Assim, com esta reforma as Ciências, enquanto área do saber fundamental à formação dos indivíduos, perdem importância.

Em 1936, a organização do ensino liceal sofre nova reformulação, passando este a ser caracterizado por três ciclos:

- 1.º Ciclo, essencialmente prático e descritivo (três anos);
- 2.º Ciclo, teórico e experimental (três anos);
- 3.º Ciclo único (um ano).

Por decisão de Mário Figueiredo, em 1941 passou novamente a fazer-se a distinção entre Letras e Ciências.

A reforma de 1947, realizada por Pires de Lima, divide o Curso Geral em dois ciclos (2 + 3 anos). O Curso Complementar (um 3.º Ciclo) tinha a duração de dois anos e era constituído por várias "alíneas" que davam acesso aos cursos universitários. A Física só se iniciava no 1.º ano do 2.º Ciclo do Curso Geral e estava integrada na disciplina de Ciências Físico-Químicas, tendo esta uma carga horária semanal de 3 horas. No Curso Complementar, aos alunos das chamadas alíneas² *c*, *f* e *h*, era leccionada a disciplina de Ciências Físico-Químicas, com 4 horas semanais. De realçar que na organização curricular desta reforma não é feita qualquer referência à actividade laboratorial.

Depois desta Reforma, outras foram sendo realizadas, verificando-se alguns ajustes tanto quanto às disciplinas a serem leccionadas como à carga horária disponível.

A partir do 25 de Abril de 1974 continuaram a fazer-se ajustes / alterações ao currículo dos alunos do Ensino Básico e Secundário. Contudo, na nossa opinião, a reforma levada a cabo por Roberto Carneiro, onde foram criados os Cursos Secundários Predominantemente Orientados para o Prosseguimento de Estudos (CSPOPE), e os Cursos Secundários Predominantemente Orientados para a Vida Activa (CSPOVA), vulgarmente designados como Cursos Tecnológicos, realizada ao abrigo do Decreto-Lei n.º 286/89, de 29 de Agosto, continha matrizes curriculares que favoreciam (ou poderiam favorecer) uma efectiva aprendizagem da Física (e da Química), devido:

- à carga horária disponível para as Ciências Físico-Químicas;
- ao facto de serem introduzidos os desdobramentos nas turmas dos Ensinos Básico e Secundário;
- a terem sido criadas nos CPOPES as disciplinas, opcionais, designadas "Técnicas Laboratoriais", nomeadamente, as Técnicas Laboratoriais de Física, com uma carga horária semanal de 3 horas.

Diríamos que, a par com a reforma realizada por Alfredo de Magalhães em 1918, nunca, em qualquer outro momento, foi dada tanta relevância ao ensino das Ciências, nomeadamente, ao ensino da Física (e da Química).

² <http://phoenix.sce.fct.unl.pt/jmmatos/CLIVROS/CLVRSHTM/RFL09/RFL09C.HTM>

2.1.2 - A Física no currículo actual

No currículo actual, a Física (em conjunto com a Química), enquanto disciplina, começa a ser leccionada no 7.º ano de escolaridade, integradas na área disciplinar de Ciências Físicas e Naturais, juntamente com as Ciências Naturais, de acordo com o Decreto-Lei n.º 6/2001. A distribuição da disciplina no 3.º ciclo, assim como a carga horária disponível para as Ciências Físicas e Naturais encontra-se na tabela 3.

Tabela 3 – Carga horária da disciplina de Físico-Química no 3.º Ciclo do Ensino básico

Área curricular disciplinar	Carga horária semanal			
	(x 90 min.)			
Ciências Físicas e Naturais	7.º ano	8.º ano	9.º ano	Total ciclo
Ciências Naturais				
Físico-Química	2	2	2,5	6.5

Dado que a gestão dos tempos disponíveis para as Ciências Físicas e Naturais tem de ser feita entre a Físico-Química e as Ciências Naturais, a quase totalidade das escolas optou por atribuir um bloco de 90 minutos a cada uma das disciplinas, em cada um dos anos, enquanto que a utilização dos 45 minutos sobrantes no 9.º ano varia de escola para escola.

Num breve balanço entre a carga horária disponível para a disciplina de Físico-Química no 3.º Ciclo e a diversidade de experiências de aprendizagem definidas nas Orientações Curriculares para as Ciências Físicas e Naturais (DEB, 2001), onde há um leque alargado de conteúdos e competências a desenvolver, podemos considerar que se torna efectivamente bastante difícil a abordagem de todos os conteúdos definidos pelos programas.

No Ensino Secundário, a Física e Química A é uma das três disciplinas do tronco comum da componente de Formação Específica do Curso Geral de Ciências e Tecnologias e de Artes Visuais do Ensino Secundário e é leccionada durante dois anos, com uma carga horária semanal de 4,5 horas. O ano 1 desta disciplina pode ocorrer no 10.º ou no 11.º anos. Se se iniciar no 10.º ano, os alunos que a frequentarem poderão escolher a disciplina de Física no 12.º ano. Aos que fizerem o ano 1 no 11.º ano está-lhes impedida a matrícula na referida disciplina no 12.º ano, dado que não podem iniciar esta sem terem frequentado os dois anos de Física e Química A.

Na tabela 4 refere-se a actual matriz do Curso de Ciências e Tecnologias do Ensino Secundário.

Tabela 4 – Matriz curricular do Curso de Ciências e Tecnologias do Ensino Secundário (DES, 2004).

Componentes de Formação	Disciplinas		Carga Horária Semanal (x 90 minutos)		
			10.º	11.º	12.º
Geral	Português		2	2	2
	Língua Estrangeira I ou II a)		2	2	-
	Filosofia		2	2	-
	Educação Física		2 b)	2 b)	2 b)
	Tecnologias da Informação e comunicação		2	-	-
Subtotal			10	8	4
Específica	Matemática A		3	3	3
	Opções c)	Física e Química A Biologia e Geologia	3	3	-
	Opções d)	Física e Química A Biologia e Geologia Geometria Descritiva A Aplicações Informáticas B f) Economia A f)	3	3	-
	Opções d)	Biologia Física Química Geologia Clássicos da Literatura f) Ciência Política f) Psicologia B f)	-	-	3
Subtotal			6(9)	9	9(6)
		Área de Projecto g)	-	-	2
		Educação Moral e Religiosa h)	(1)	(1)	(1)
Total			16 a 20	17 a 18	12 a 16

Opções c) – disciplinas que bienais que podem ser iniciadas no 10º ano. Os alunos podem escolher uma ou as duas;

Opções d) – Disciplinas que podem ser iniciadas no 11º ano, caso o aluno só tenha optado por iniciar uma disciplina no 10º ano. Nessa situação, escolherá uma das disciplinas que constam nestas opções e terá duração de dois anos.

Opções d – De entre este grupo de opções, os alunos escolherão uma disciplina.

No Ensino Secundário também há disciplinas de Física, para o 12.º ano, e de Física e Química nos Cursos Tecnológicos e nos Cursos Profissionais. Contudo, a carga horária em que são leccionadas é inferior à dos Cursos Gerais.

Contudo, a aplicação da matriz curricular da tabela 4 cria no Curso de Ciências e Tecnologias, situações em que os alunos poderão terminar esta área sem terem qualquer disciplina de Física e Química no Ensino Secundário. Por outro lado, só os alunos que iniciem a disciplina de Física e Química A no 10.º ano poderão vir a ter a disciplina de Física no 12.º ano, mas, atendendo às opções que os alunos têm vindo a demonstrar fazer, apenas uma reduzidíssima percentagem de alunos a nível nacional virá a inscrever-se nessa disciplina. Assim, muitos alunos chegarão a cursos superiores na área das ciências e das engenharias com uma formação muito superficial em Física, facto de grande gravidade para quem ingressa nesse tipo de curso.

2.2 - A Física e a literacia científica

2.2.1 - Literacia científica: evolução do conceito

O nível de literacia científica dos cidadãos de um país tem sido utilizado, nos últimos tempos, como indicador do estado de desenvolvimento desse país. Elevados níveis de literacia científica estão na base não só da construção de uma cidadania informada, fundamental para a tomada de decisões sobre assuntos do nosso dia-a-dia, como também do aumento dos níveis de inovação científica e tecnológica, essenciais para o desenvolvimento de uma economia baseada no conhecimento.

A expressão “Literacia científica” é uma tradução literal do termo *scientific literacy*. Deve-se a Pella, O’Hear e Gale (1963) a primeira tentativa de encontrar o seu significado. Estes analisaram cerca de 100 documentos editados nos Estados Unidos da América, nas décadas de 50 e de 60 do século passado e concluíram que aquela expressão foi pela primeira vez utilizada em 1957, numa notícia de jornal (Bailey, 1957).

Com base nos documentos analisados, Pella, O’Hear e Gale criaram um modelo de indivíduo com literacia científica, onde consideram que este deverá:

- compreender conceitos básicos de ciência e a natureza da ciência;
- reconhecer as implicações de questões de ordem ética na actividade científica;
- ser capaz de discutir as inter-relações existentes entre a ciência, a sociedade e as humanidades e;
- estabelecer diferenças entre a ciência e a tecnologia.

A Ciência começa, assim, a ser considerada um pilar estruturante na formação de qualquer indivíduo, surgindo em diversos centros de investigação a discussão em torno de um programa de formação que contemple a vertente “Ciência para todos”. Por exemplo, defende-se que todas as pessoas, sejam elas ou não cientistas ou engenheiros, necessitam de saber algo sobre a ciência, as suas potencialidades e limitações. Melhorar esta vertente não é um luxo; é uma necessidade vital para o futuro bem-estar da sociedade (Royal Society, 1985).

Como consequência da discussão que se instalou acerca do que deveria ser o modelo de ensino das Ciências, surgem diversos programas que contemplam e reforçam as interligações Ciência – Tecnologia – Sociedade (CTS). Um dos projectos propostos é da American Association for the Advancement of Science (AAAS, 1989), que considera que um indivíduo é literato em ciência se:

- compreende que Ciência, Matemática e Tecnologia são interdependentes e que apresentam potencialidades e limitações;
- compreende conceitos básicos e princípios científicos;
- reconhece a diversidade e unidade do mundo material;
- utiliza conhecimentos e processos científicos na abordagem de questões individuais e sociais.

Na década de 90 é feita, em alguns países, uma avaliação das implicações introduzidas pelo facto de os currículos de ciências terem, também, como finalidade a promoção da literacia científica. Como resultado da discussão, nos Estados Unidos da América do Norte definiu-se, através dos "Padrões Nacionais para a Educação em Ciência", aquilo que todos os indivíduos deveriam compreender e serem capazes de fazer como resultado das aprendizagens que realizaram ao longo da sua escolaridade. De acordo com estes padrões, uma pessoa com literacia científica é aquela que (*National Academy Press*, 1995):

- consegue perguntar, descobrir e responder a aspectos do dia-a-dia que a curiosidade lhe despertou;
- consegue descrever, explicar e prever fenómenos naturais;
- interpreta artigos científicos publicados na imprensa e em revistas de divulgação da ciência e discute a validade das conclusões aí apresentadas;
- identifica questões científicas que estão subjacentes a decisões nacionais e locais;
- assume posições fundamentadas em princípios científicos e tecnológicos;
- avalia a qualidade de informação científica com base nas fontes utilizadas e nas metodologias seguidas;
- propõe, avalia e aplica argumentos fundamentados em factos;

Atendendo à grande diversidade acerca do conceito de "literacia científica", Hodson (1998) assume uma atitude crítica, tendo em conta que cada autor tem a sua definição. Por outro lado, considera que os currículos que privilegiam a literacia em ciências são relativamente fechados, dado que não levam o aluno à tomada de decisões e a agir em conformidade com essas decisões.

Hodson propõe, então, que o aluno deverá ter uma perspectiva crítica, sendo necessário para tal: *aprender ciência, aprender acerca de ciência e fazer ciência*.

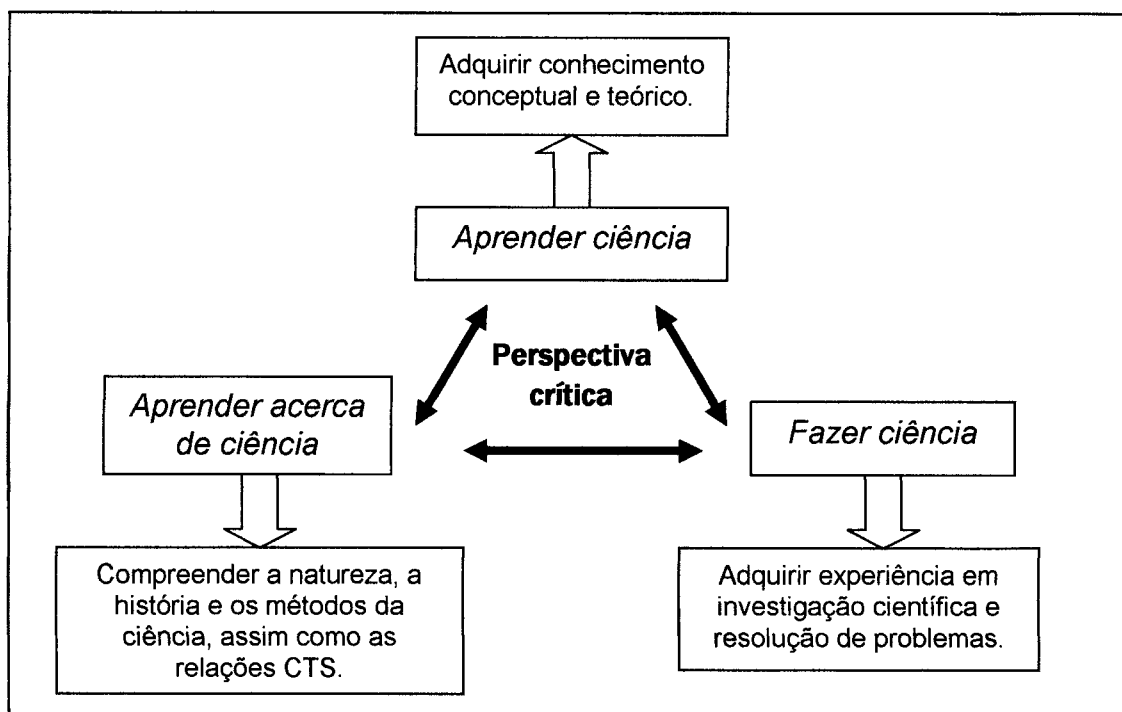


Figura 1 – Componentes essenciais à formação de um indivíduo com *perspectiva crítica*, segundo Hodson (Adaptado de Chagas, 1999).

Ainda segundo Hodson, um cidadão com perspectiva crítica é capaz de empreender acções apropriadas, responsáveis e fundamentadas, relativamente a questões sociais, económicas, ambientais, éticas e morais.

Hurd, que foi um dos primeiros autores a escrever sobre literacia científica, em 1998 volta a interessar-se sobre esta temática, tendo em atenção as alterações que a ciência sofreu até então. Para este autor, um programa de literacia científica deverá ter em atenção as transformações que a sociedade tem vindo a sofrer, pelo que, por exemplo, deverá:

- promover competências de ordem cívica (educação para a cidadania), conduzindo a uma abordagem racional da ciência no que diz respeito a problemas pessoais, económicos e a assuntos que cada um poderá ter de enfrentar ao longo da vida;
- considerar competências cognitivas que permitam a utilização do conhecimento científico e tecnológico nos assuntos humanos e no progresso social e económico;
- permitir aos cidadãos adaptarem-se a um mundo da ciência e da tecnologia em mudança e ao seu impacto nas actividades pessoais, sociais e económicas.

A análise da evolução do conceito de literacia científica permite verificar que, promover um ensino que favoreça a formação de um cidadão preparado para os

desafios que lhe vão surgir é muito mais do que apenas ensinar ciência. Para Chagas (1999), a formação só poderá ser feita de forma integral se se tiver em conta um conjunto alargado de competências, capacidades, atitudes e valores acerca dos produtos e processo actuais de ciência e as suas implicações na vida pessoal e na sociedade.

2.2.2 - Literacia científica: estudo Internacional PISA

Em 1997, a *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OCDE), lançou o estudo PISA (*Programme for International Student Assessment*), cuja finalidade é monitorizar, de forma regular, os resultados dos sistemas educativos em termos de desempenho dos alunos, no contexto de um enquadramento aceite internacionalmente. Este estudo procura medir a capacidade dos jovens de 15 anos para usarem os conhecimentos que têm, de forma a enfrentarem os desafios da vida real, em vez de simplesmente avaliar o domínio que detêm sobre o conteúdo do seu currículo escolar específico (GAVE, 2003).

O PISA 2003 envolveu mais de 250 000 alunos de 15 anos, de 41 países, onde se incluíam jovens dos 30 países que constituem a OCDE. O estudo efectuado nesse ano deu maior relevância à literacia matemática e teve como componentes secundárias as literacias de leitura, científica e de resolução de problemas. No PISA 2006 será dada grande relevo à avaliação da literacia em ciência (GAVE).

De acordo com a publicação *Sample Tasks from the PISA 2000 Assessment* (OCDE, 2002), a literacia científica é a capacidade de reconhecer questões científicas, de usar conhecimentos científicos e de retirar conclusões baseadas em evidências, de forma a compreender e a apoiar a tomada de decisões acerca do mundo natural e das mudanças nele efectuadas através da actividade humana.

De forma a concretizar esta definição, foram identificadas três dimensões fundamentais para estudar a literacia científica: os Processos, os Conteúdos e os Contextos.

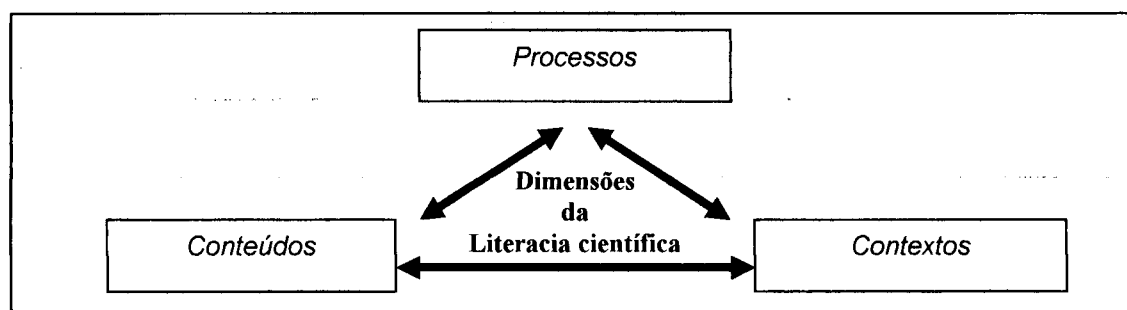


Figura 2 – Dimensões da literacia científica, de acordo com a OCDE (2002).

Cada uma destas dimensões foi definida como:

Tabela 5 – Definição das três dimensões fundamentais para estudar a literacia científica.

Processos	Conteúdos	Contextos
Processos mentais envolvidos na resposta a um item (tal como a identificação de evidência ou a explicação de conclusões).	Conhecimento científico e a compreensão conceptual que é requerida no uso dos processos.	Situações nas quais os processos são aplicados – como o contexto de saúde e de nutrição de uma pessoa ou o contexto global do clima.

Para cada dimensão, foram definidas as componentes a incluir, como por exemplo, os tipos de processos científicos que se consideram mais relevantes na formação de um cidadão.

A nível dos **processos científicos**, o estudo PISA dá grande importância à capacidade de fazer uso do conhecimento científico e do saber acerca da ciência (GAVE, 2003). Assim, os alunos deverão estar aptos a:

- compreender a natureza da ciência, os seus procedimentos, os pontos fortes e as suas limitações e os tipos de questões a que ela pode, e aqueles a que não pode, dar resposta;
- reconhecer o tipo de evidência requerida numa investigação científica e de avaliar a possibilidade de retirar conclusões fiáveis dessa evidência;
- comunicar os seus argumentos de uma forma efectiva a públicos específicos, dado que, de outra forma não terão voz nos assuntos debatidos na sociedade. (GAVE, 2003).

Perante as competências que se admite que os alunos devem adquirir em ciência, foram identificados os seguintes processos científicos a avaliar no PISA.

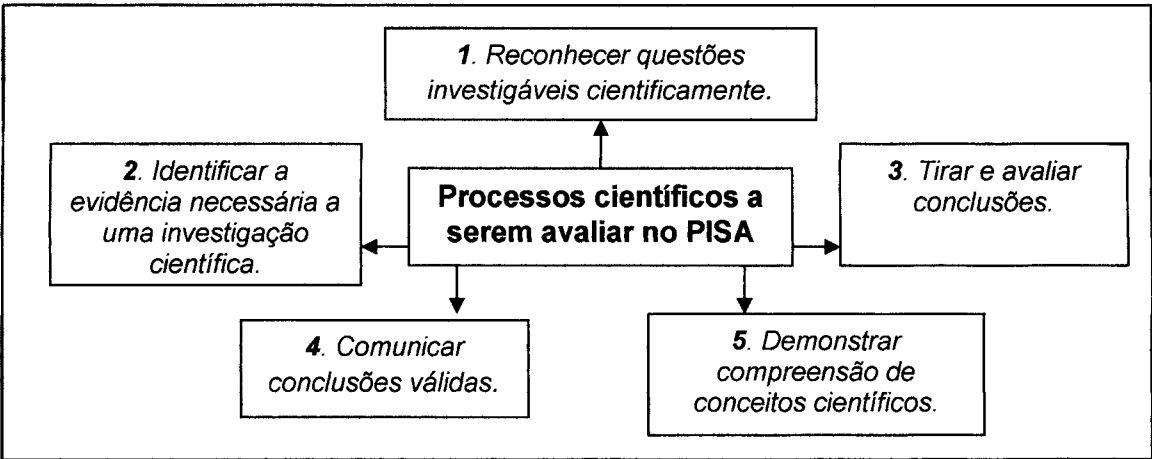


Figura 3 – Processos científicos que são avaliados no PISA

Os **conceitos científicos** seleccionados para o PISA são expressos em termos de ideias integradoras amplas que ajudam a explicar aspectos do nosso ambiente físico. O enquadramento conceptual do PISA não tem por finalidade avaliar todos os conceitos, dado que tal seria impossível num teste de tempo limitado.

Quanto às **situações científicas** (contextos), os estudantes literatos em ciência deverão estar nas condições de aplicar o que aprenderam em situações escolares e não escolares, ou seja, deverão conseguir aplicar processos e conceitos relativos a problemas e situações do mundo real.

Os domínios de aplicação da ciência foram agrupados em três grandes áreas:

1. Ciência, vida e saúde;
2. Ciência, Terra e ambiente;
3. Ciência e tecnologia.

2.2.3 - Resultados dos alunos portugueses no PISA 2000

No estudo PISA, a avaliação da maior ou menor literacia é feita numa escala única. Esta foi construída de tal modo que a média nos países da OCDE correspondesse a 500 pontos e que dois terços dos avaliados tivessem uma classificação compreendida entre 400 e 600 pontos (GAVE, 2003).

Em 2003, o Gabinete de Avaliação Educacional (Ramalho, G. (Coord), 2001) publicou um relatório com o desempenho dos alunos no PISA 2000. No estudo realizado, as questões foram categorizadas de acordo com o grau de dificuldade. Assim, foram definidas as seguintes categoriais gerais:

1. As tarefas mais difíceis requerem capacidades cognitivas complexas – Com uma classificação elevada, cerca de 690 pontos, os alunos são capazes de, por exemplo:

- criar ou de usar modelos conceptuais para fazer previsões ou apresentar explicações;
- analisar investigações científicas, de forma a entender, por exemplo, o plano de uma experimentação ou a identificar uma ideia que está a ser testada;
- comparar dados de forma a avaliar pontos.

2. As tarefas de dificuldade intermédia requerem dos estudantes um pensamento científico consistente – Com uma classificação de 550 pontos os alunos são capazes de, por exemplo:

- usar conceitos científicos e de fazer previsões ou providenciar explicações;
- reconhecer questões que podem ser respondidas pela investigação científica e/ou identificar pormenores do que está envolvido numa investigação científica;
- seleccionar informação relevante a partir de dados variados ou de cadeias de raciocínio, ao tirar conclusões ou ao fazer a sua avaliação.

3. As tarefas mais fáceis requerem apenas a evocação e o uso de conhecimento científico simples – Na zona mais baixa da escala, os alunos são capazes de, por exemplo:

- evocar conhecimento científico factual simples (por exemplo, nomes factos, terminologia, regras simples);
- usar conhecimento científico trivial para tirarem conclusões ou para as avaliarem (OCDE,2001).

Na figura 4 mostra-se o resultado da avaliação em literacia científica dos alunos dos países participantes.

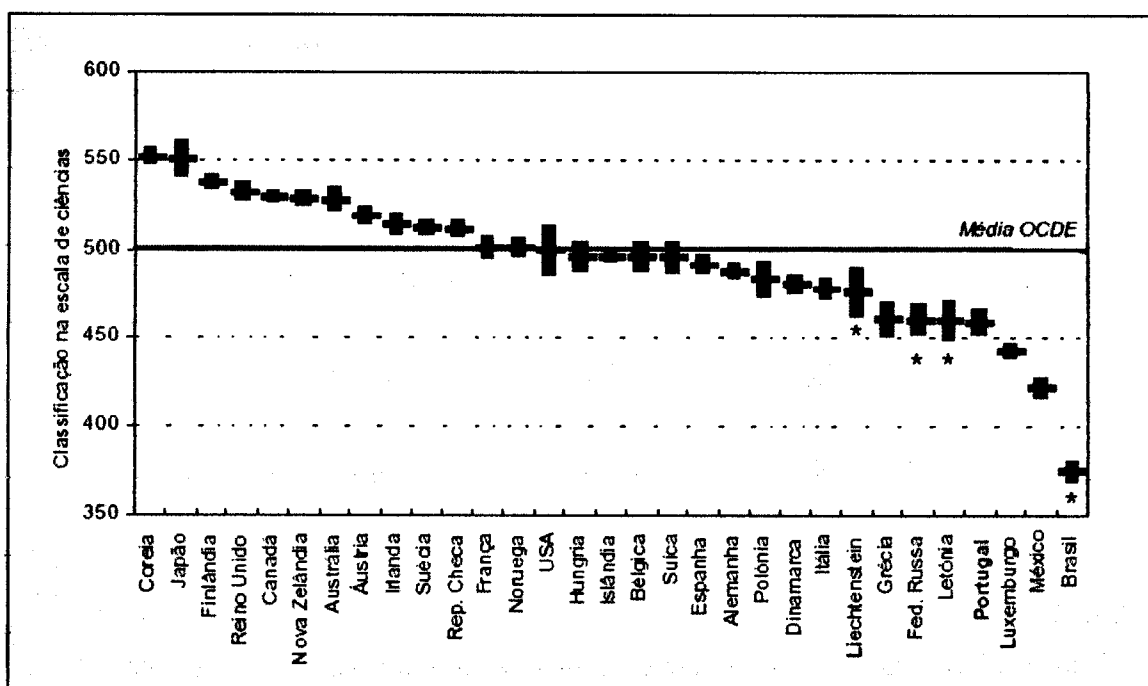


Figura 4 – Desempenho médio dos alunos em literacia científica no PISA 2000³.

Uma análise cuidada dos resultados do desempenho médio dos alunos em literacia científica no PISA 2000, figura 4, permite concluir que, em média, nem os alunos dos países como a Coreia ou o Japão – países cujos alunos apresentaram

³ Retirado de <http://www.gave.pt/pisa.htm> (Terceiro Relatório Nacional - Conceitos de literacia científica)

melhores resultados – apresentam capacidades cognitivas complexas (categoria 1), pelo que, em média, apresentarão, por exemplo:

- dificuldade em criar ou usar modelos conceptuais para fazer previsões ou apresentar explicações;
- comunicar argumentos científicos e/ou descrições em detalhe e com precisão.

Quanto à prestação dos alunos portugueses, verifica-se que estão consideravelmente abaixo da média OCDE, tendo obtido uma classificação ligeiramente superior a 450 pontos.

Estes resultados permitem inferir que, em média, os nossos alunos de 15 anos, ou seja, à saída do terceiro ciclo do Ensino Básico, apenas conseguem fazer a evocação e o uso de conhecimentos científicos simples (categorização 3).

Perante este cenário dos alunos portugueses, cuja divulgação coincidiu numa época em que se discutia uma revisão curricular em Portugal, foram então elaborados programas disciplinares que, de algum modo, tentam dar resposta às lacunas científicas evidenciadas neste estudo pelos nossos alunos.

2.2.4 - A literacia científica nos programas actuais de Física

Uma análise detalhada do documento “Ciências Físicas e Naturais – Orientações Curriculares para o 3.º ciclo do Ensino Básico” (DEB, 2001), mostra que os seus mentores tiveram como base de trabalho a criação de experiências de aprendizagem que favorecessem o desenvolvimento da literacia científica.

Logo na introdução (página 3), é referido que, com a área disciplinar Ciências Físicas e Naturais, se pretende o desenvolvimento de competências várias, de modo a contribuir para o desenvolvimento da literacia científica. Mais à frente, na página 5 do mesmo documento, definem-se as competências essenciais para a literacia científica, a desenvolver ao longo do 3.º ciclo do Ensino Básico, onde é realçado que “a literacia científica é fundamental para o exercício pleno da cidadania”.

É, aqui, também de salientar:

- a importância dada à História da Ciência, à interdisciplinaridade e ao facto das experiências de aprendizagem para as Ciências Naturais e para a Física e Química serem apresentadas em paralelo, onde se preconiza, dentro do possível, uma abordagem “simultânea” dos conteúdos, nas duas disciplinas;
- a relevância dada ao desenvolvimento de competências na área da comunicação e da autonomia, realizado no âmbito do trabalho cooperativo.

Também os novos programas de Física e Química A e B (DES, 2001 e 2003) estão estruturados de forma a privilegiar o desenvolvimento da literacia científica, dado que estão organizados numa perspectiva “Ciência, Tecnologia e Sociedade”.

Nestes programas, tal como no de Física de 12.º ano (DES, 2004) é dada grande importância ao trabalho prático de cariz experimental, cujo desenvolvimento é feito a partir de questões-problema ou questões motivadoras. Por outro lado, não são, propositadamente, fornecidos protocolos das actividades que se vão realizar, de forma a promover a discussão científica em torno do problema experimental, dando espaço aos alunos para definirem os procedimentos que deverão ter presentes aquando da realização da experiência. Assim, se os alunos demonstrarem empenho, os momentos de preparação da actividade poderão ser muitos ricos na sua formação, já que têm a possibilidade de discutir a planificação com os colegas e com o professor. É nestes momentos que, por vezes, se identificam concepções erróneas que impedem que efectivamente ocorra aprendizagem.

Por outro lado, o uso de novas tecnologias, tais como, sensores, interfaces, simulações computacionais, *internet* e máquinas de calcular gráficas – recursos recomendados nos programas actualmente em vigor –, incentivam o contacto com métodos computacionais que se tornam importantes no processo de ensino, facilitando a utilização de algoritmos de cálculo e a análise de resultados.

CAPÍTULO 3

Ensino e aprendizagem da Física

-  - Linguagem e aprendizagem da Física
-  - Campos conceptuais e modelos mentais
-  - Teoria da aprendizagem significativa
-  - Mapas conceptuais e glossários

3.1 - Linguagem e aprendizagem da Física

3.1.1 - Conceitos, definições e linguagem

Um dos temas que tem levantado grande interesse de pesquisa no âmbito da aprendizagem das ciências é o da formação de conceitos científicos pelos estudantes.

A prática mais ou menos corrente e tradicional no ensino das ciências, consiste em desenvolver os conteúdos propostos no programa ou orientações curriculares, dando ênfase a um conjunto de definições, seguida de alguns exemplos e da realização de exercícios de aplicação onde intervêm alguns dos conceitos tratados.

O modelo de ensino que orienta este tipo de práticas baseia-se na lógica da explicação acabada, que não admite discussão, ou seja, que em geral pouco contribui para a efectiva compreensão. Contudo, conceitos não são definições.

Segundo as normas terminológicas, o conceito é a unidade abstracta criada a partir de uma combinação de características ou atributos. Os conceitos são representados pelos termos, que são designações verbais, sendo os termos considerados a unidade mínima da terminologia. Mais especificamente, o termo é uma designação que corresponde a um conceito numa linguagem de especialidade. É um signo linguístico que difere da palavra, unidade da língua geral, por ser qualificado no interior de um discurso de especialidade. Um termo é uma palavra contextualizada no discurso, tendo, conseqüentemente, um referente de interpretação. Le Guern sugere que a palavra, unidade do léxico, constitui um predicado livre, e o termo, enquanto unidade do discurso, um predicado vinculado (Le Guern, 1989). Dito de um outro modo, a palavra no discurso – o termo – associa-se a uma classe de objectos, às coisas do mundo real, tendo, dessa forma, uma extensão.

Já a definição é um enunciado que descreve um conceito permitindo diferenciá-lo de outros conceitos associados, podendo ser formulada por compreensão ou por extensão.

Mas, memorizar uma definição, só por si, em nada contribui para a compreensão das muitas relações que estão nela presentes. Assim, a aprendizagem de conceitos é algo muito mais complexo do que o simples estabelecimento de definições consagradas em textos de referência. Nesse sentido, as definições não devem ser o ponto de partida no processo de ensino.

Sendo a aprendizagem de conceitos um elemento fundamental na educação em Física e nas outras ciências, devem ser vistos como os elementos de assimilação através dos quais interpretamos e interagimos com a realidade que nos cerca. Por

outras palavras, os conceitos podem ser considerados as ferramentas que utilizamos para:

- Pensar no mundo e em nós mesmos;
- Agir no mundo;
- Interagir com os outros.

Mas, a permanente interacção com o mundo e com os outros obriga a uma constante revisão/reformulação dos conceitos aprendidos, ou seja, a acomodá-los às novas vivências e às novas circunstâncias em que nos aparecem. Assim, os conceitos vão-se modificando, tanto em compreensão como em profundidade, num processo que é lento e por vezes difícil.

Esta interpretação do processo de construção dos conceitos científicos baseia-se na interpretação de Vygotsky. Para este autor, a experiência prática mostra que o ensino directo de conceitos é impossível e infrutífero. Um professor que actue desse modo, geralmente não obtém qualquer resultado, excepto o verbalismo vazio, uma repetição de palavras pelo aluno, semelhante à de um papagaio, que simula um conhecimento dos conceitos correspondentes, mas que na realidade oculta um vácuo (Vygotsky, 1991).

Convém realçar que os conceitos científicos têm especificidade e natureza própria. Kohl, (citado por Oliveira, 1999), considera que a ciência trabalha com a construção de categorias formalizadas, de organização dos seus objectos e com processos deliberados de generalização, procurando leis e princípios universais, estruturados em sistemas teóricos com clara articulação interna. Assim, a esfera da ciência é claramente diferente da esfera da vida quotidiana e do senso comum na medida em que se afasta do que é particular, contextualizado, referente à experiência individual e às necessidades imediatas.

Assim, para cada um de nós, o processo de formação dos conceitos envolve a apropriação dos modos de falar e pensar o mundo, ou seja, a apropriação de um conceito resulta de um esforço em relacionar um signo, com a unicidade de outros signos que nos são apresentados no contexto social de uso e significados (Bakhtin/Volochinov, 1997). Deste modo conferimos sentidos às palavras, relacionando-as com outras palavras, significados e coisas.

No ensino e aprendizagem das ciências, a linguagem deve ser considerada um elemento fundamental do pensamento. Devem ser evitadas definições sem contexto e promover uma aprendizagem em que o aluno tem papel activo, fazendo com que seja introduzido um novo modo de falar e compreender o mundo. Mortimer (2000) defende a ideia de que aprender ciências implica entrar num mundo que apresenta um

linguagem própria, bem como tomar consciência das diferenças e das relações entre as linguagens da ciência e as outras formas de falar e compreender o mundo.

Analisemos um exemplo que fundamenta a ideia de que aprender conceitos é um processo lento, complexo e sempre inacabado, pois os conceitos vão sendo revistos e ampliados.

Como tem evoluído o conceito de átomo? Para Dalton, átomo significava a unidade indivisível. Este conceito foi retomado, adquirindo novos significados ao longo da história da química. Apesar das palavras permanecerem as mesmas, os sentidos sofrem modificação: o átomo deixou de ser indivisível, mas continuamos a utilizar a mesma palavras. Do mesmo modo que os conceitos mudam ao longo da história do pensamento científico, os sentidos que vamos construindo acerca deles também mudam.

Relativamente aos diferentes sentidos que os conceitos vão tendo, Bakhtin (1997), refere que “mesmo os sentidos passados, aqueles que nasceram do diálogo com os séculos passados, nunca estão estabilizados (encerrados, acabados de uma vez por todos). Sempre se modificarão – renovando-se – no desenrolar do diálogo subsequente, futuro. Em cada um dos pontos do diálogo que se estabelece, existe uma multiplicidade inumerável, ilimitada e de sentidos esquecidos, porém, num determinado ponto, no desenrolar do diálogo, ao sabor da sua evolução, eles serão rememorados e renascerão numa forma renovada, ou seja, num contexto novo”.

A sala de aula é um espaço privilegiado para a aprendizagem de conceitos. A dinâmica desse espaço deve, necessariamente, reunir condições que propiciem a participação, o diálogo e a construção compartilhada. O professor deve ver o aluno como alguém que tem experiências e ideias prévias sobre o mundo à sua volta e deve utilizar essas experiências como ponto de partida para a evolução conceptual e, conseqüentemente, criar situações e estratégias que permitam ao aluno reformular os conceitos, aproximando-os dos cientificamente aceites. Para tal, é necessário o envolvimento de professores e alunos como parceiros no processo de aprendizagem, a fim de desenvolverem entre si a capacidade de trabalho autónomo e colaborativo, a tomada de decisões e do espírito crítico. De acordo com Alarcão (2003), esse desenvolvimento faz-se no diálogo, no confronto de ideias e de práticas, na capacidade de se ouvir o outro, mas também de se ouvir a si próprio e de se auto-criticar.

Tendo em conta que a linguagem é o espaço onde construímos e expressamos as nossas ideias e no qual interagimos com os outros e com o mundo (Aragão e Schnetzler, 1995), é fundamental ter presente que a linguagem utilizada nos discursos

das aulas de ciências, quando pouco desenvolvida, pode ser um dos elementos inibidores de uma aprendizagem significativa.

3.1.2 – Linguagem e aprendizagem significativa

Na aprendizagem significativa estão envolvidos três conceitos fundamentais – *significado*, *interacção* e *conhecimento* –, e na conjugação destes está subjacente a *linguagem*. Moreira (2003) considera que:

- O significado está nas pessoas, não nas coisas ou eventos. É para as pessoas que sinais, gestos, ícones e, sobretudo, palavras (e outros símbolos) têm algum significado. Está aí a linguagem, seja ela verbal ou não verbal. Sem linguagem, o desenvolvimento e a transmissão de significados compartilhados seria praticamente impossível.

- A interacção é entre os novos conhecimentos e aqueles especificamente relevantes já existentes na estrutura cognitiva com um certo grau de clareza e estabilidade, mas essa interacção é usualmente mediada por outra, na qual a linguagem tem papel fundamental: a interacção pessoal.

- O conhecimento é linguagem. A chave da compreensão de um conceito, de um conteúdo, ou mesmo de uma disciplina, é conhecer a sua linguagem.

As inter-relações entre os conceitos anteriormente referidos estão representadas no esquema que se segue.

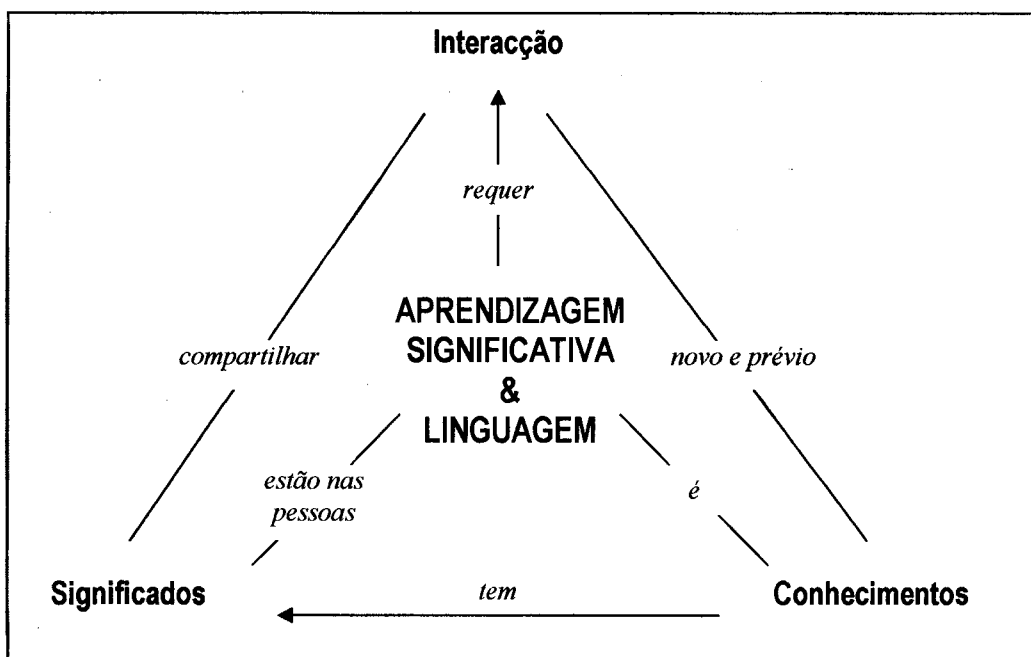


Figura 1 – Linguagem e aprendizagem significativa (Moreira, 2003)

Na base do pensamento humano, isto é, do raciocínio e do desenvolvimento cognitivo, estão os conceitos. Como já vimos, segundo Ausubel (1968), é a aquisição da linguagem que, em grande parte, permite aos seres humanos a aquisição, por aprendizagem significativa receptiva, de uma grande quantidade de conceitos e princípios que, por si sós, poderiam nunca descobrir. Por outro lado, a variedade e complexidade das ideias e conceitos adquiridos por aprendizagem significativa torna possível, e promove, um nível de desenvolvimento cognitivo que era impossível adquirir sem uso da linguagem.

No que concerne concretamente às palavras, Ausubel argumenta que é somente porque os significados complexos podem ser expressos por palavras isoladas, que são possíveis as operações combinatórias e transformistas como a de abstracção, categorização, diferenciação e generalização.

Para Vigotsky (2001), “generalização significa ao mesmo tempo tomada de consciência e sistematização de conceitos”. Na perspectiva histórico-cultural, “nos conceitos científicos que o aluno adquire na escola, a relação com um objecto é mediada, desde o início, por um outro conceito” (Vigotsky, 1999). Assim, podemos concluir que a linguagem é fundamental na aprendizagem dos conceitos.

Contudo, é na importante noção de Zona do Desenvolvimento Próximo (ZDP) que Vigotsky melhor resume e ilustra a sua perspectiva sobre o desenvolvimento intelectual da criança: *transformação* de um *processo interpessoal* (social) em *intrapessoal* (cognitivo e metacognitivo), sob a influência crucial dos adultos, nomeadamente do professor. Como o autor afirma: “ a zona do desenvolvimento próximo é a distância entre o nível real de desenvolvimento (da criança), determinado pela sua capacidade de resolver um problema autonomamente, e o nível de desenvolvimento potencial, determinado através da resolução de um problema sob a orientação de um adulto ou em colaboração com um colega mais competente (Vigotsky, 2001).

De acordo com Vigotsky, uma característica essencial da aprendizagem é que ela desperta vários processos de desenvolvimento internamente, os quais funcionam apenas quando a criança consegue interagir com o seu ambiente de convívio.

Na figura 2 esquematiza-se o significado de Zona de Desenvolvimento Próximo, de acordo com Vigotsky.

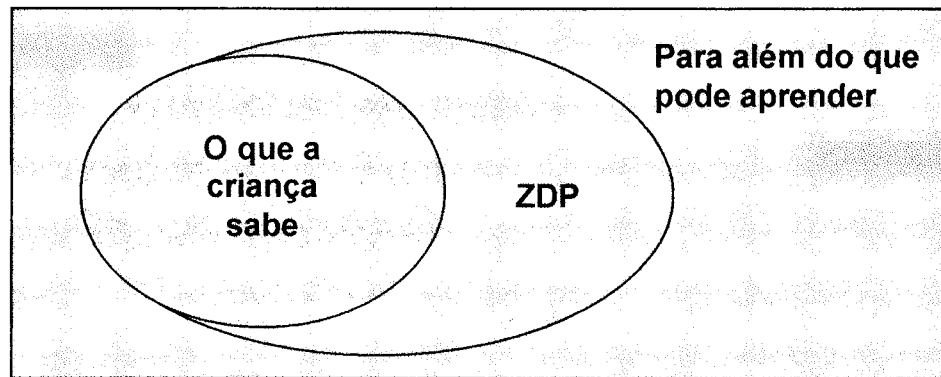


Figura 2 – Aprendizagem e a Zona de Desenvolvimento Próximo. (Vigotsky, 1991)

3.1.3 – Aprendizagem através da interacção social

Uma das funções da escola está relacionada com a socialização do conhecimento que vem sendo, ao longo dos tempos, elaborado pelo homem para procurar solucionar problemas e desenvolver potencialidades que contribuam para uma melhor qualidade de vida.

Apropriar-se dos sistemas de conhecimento implica mediação do conhecimento, o que se caracteriza como aprendizagem. Significa que o conhecimento como forma culturalmente construída, passa a ser internalizada à medida que ocorrem interacções sociais, que podem ocorrer tanto entre as pessoas, como entre as pessoas e os próprios objectos de conhecimento. A interacção à qual Vigotsky (1991) se refere produz modificações tanto no sujeito como no objecto/ambiente/natureza, sendo os elementos mediadores os signos e os instrumentos. O signo, estímulo criado artificialmente pelo homem, é utilizado como meio auxiliar para solucionar problemas psicológicos, como, por exemplo, lembrar (de factos, objectos, acções a serem desenvolvidas), comparar coisas (ideias, objectos, conceitos), escolher, relatar. Exemplos de signos são palavras, números, símbolos algébricos, sistemas de escrita, diagramas, mapas, plantas (Vigotsky, 1999).

No processo de desenvolvimento cognitivo, o ser humano vai reconstituindo internamente, ou seja, vai-se “aproximando” do que já foi desenvolvido e, eventualmente, passa a contribuir para a criação de novos instrumentos e signos. Este processo de interiorização / apropriação é mediado por interacções e intercomunicações sociais, nas quais a linguagem é fundamental.

Na mediação para a interiorização de signos, a palavra é o material privilegiado, ou seja, é o elemento comum entre locutor e interlocutor, é a amálgama de pensamento e linguagem e está sempre carregada de conteúdo ou de sentido

ideológico, é uma espécie de “molécula do pensamento verbal, isto é, da intersecção entre pensamento e fala.” (Tunes, 2000). “A palavra está presente em todos os actos de compreensão e em todos os actos de interpretação. Todos os signos não verbais, embora não possam ser substituídos por palavras, “banham-se no discurso”, apoiam-se nas palavras e são acompanhadas por elas. Assim, a palavra não é uma coisa que o indivíduo possui, mas é a mediação, elemento móvel e mutável na dinâmica das interacções verbais” (Smolka, 2000).

3.1.4 - Subjectividade e linguagem usada em Ciência

Uma linha de pesquisa no âmbito do ensino das Ciências que se tem vindo a desenvolver, focaliza de modo crescente a atenção nos aspectos linguísticos que ocorrem na sala de aula e na relação entre o processo de aprendizagem e as condições subjectivas do aprendiz.

Muitos autores têm referido tanto a importância do conhecimento do discurso, quanto a do conhecimento do conteúdo científico, salientando a grande dificuldade que os alunos têm em entender a metalinguagem da ciência, isto é, a linguagem que exprime a textura e estrutura do conhecimento científico e permite falar sobre a ciência e interpretar a sua estrutura argumentativa. Palavras tais como *lei*, *teoria*, *observação*, *hipótese*, *método*, *conclusão*, *justificação*, *evidência*, etc., integram a metalinguagem da ciência (Leite e Almeida, 2001).

Ainda segundo estas autoras, “ter conhecimento desta linguagem para falar de ciência é tão importante como ter conhecimento dos próprios conceitos científicos, porque ela constitui um suporte necessário para uma interpretação crítica dos textos de ciências”.

Carvalho e Sousa (2003) enfatizam, também, que, por vezes, a linguagem é um obstáculo à aprendizagem. Referem que “os alunos aprendem muitas vezes o mesmo conceito em contextos diferentes, criando esquemas cognitivos separados, ou aplicam muitas vezes o mesmo termo a fenómenos diferentes, criando duas definições paralelas”.

Como consequência desta constatação, concluem que “sendo a linguagem científica uma parte importante da literacia e verificando-se que pode ser um obstáculo à aprendizagem da Ciência pelos alunos, é necessário recorrer a novas estratégias de ensino que possam contribuir para minorar o problema (Carvalho e Sousa, 2003).

Como estratégias para minorar estas dificuldades, os referidos autores sugerem:

1. a construção e reconstrução, na sala de aula, de glossários com base na verbalização dos conceitos efectuada pelos alunos e corrigida pelo professor.
2. a elaboração de mapas conceptuais.

Para observar a importância da compreensão dos termos científicos no discurso da Ciência, Leite e Almeida (2001), realizam um estudo com alunos do 12.º ano que frequentaram a disciplina de Física e alunos do 1.º, 2.º e 3.º anos que frequentavam/frequentaram a disciplina de Física Geral na Universidade de Coimbra. Pretenderam investigar o grau de entendimento relativamente a um conjunto de 25 vocábulos que integram quer a linguagem comum, como a linguagem da Física, onde têm um significado muito específico.

Concluem que:

- Existe um elevado grau de desconhecimento da metalinguagem da Física, o que contribui para um acentuado insucesso escolar: não compreender o discurso científico oral ou escrito impede os alunos de entender os conceitos e até mesmo o conteúdo das questões apresentadas em testes de avaliação;
- O desconhecimento da linguagem específica é agravado pela elevada ausência de percepção desse mesmo desconhecimento, pois a familiaridade das palavras ilude sobre o seu entendimento;
- A atribuição de significados diferentes aos mesmos vocábulos pode levar o aluno a construir o seu próprio conhecimento de acordo com esquemas alternativos, eventualmente, incorrectos.

Sugerem que algumas estratégias que podem ser utilizadas para tentar colmatar estas dificuldades passará pela:

- escrita de resumos do que lê;
- escrita sobre um determinado conceito ou fenómeno;
- apresentação e discussão de relatórios de trabalhos laboratoriais;
- etc.

Como síntese podemos referir que a linguagem científica tem características próprias que a distingue da linguagem comum. São essas características específicas que, muitas vezes, tornam a linguagem utilizada em Ciência estranha e difícil para os alunos. Assim, é de realçar que, tal como referia R. Feynman, a aprendizagem da Ciência não pode ser inseparável da aprendizagem da linguagem científica.

Mas em que diferem a linguagem comum da linguagem científica? Na tabela 1, adaptada de um artigo de Mortimer, Chagas e Alvarenga (2001), procuramos resumir algumas das diferenças fundamentais.

Tabela 1 – Algumas diferenças entre a linguagem comum e a linguagem científica.
(Adaptado de Mortimer, Chagas e Alvarenga, 2001).

Linguagem comum	Linguagem científica
- Predomina um tipo de narrativa que relata sequências lineares de eventos; - É predominantemente linear. - Na maioria das vezes, o narrador está presente.	- Predominam grupos nominais que são ligados por verbos que exprimem relações entre processos; - É predominantemente estrutural. - Normalmente o agente está ausente, o que a torna subjectiva.

Assim, quando se pretende ensinar ciência é necessário ter muita atenção às questões de linguagem. Estas são fundamentais na formulação e reformulação dos conceitos tratados.

3.2 - Campos conceptuais e modelos mentais

3.2.1 - Campos conceptuais de Vergnaud

Gérard Vergnaud foi discípulo de Piaget, tendo chegado a director do Centro Nacional de Pesquisa Científica de França. Nos seus estudos, dá grande importância ao estudo do funcionamento cognitivo do “sujeito-em-acção”.

A teoria dos campos conceptuais de Gérard Vergnaud é fundamentalmente uma teoria psicológica de conceitos (Vergnaud, 1990), ou seja, tal como o próprio refere, é uma teoria cognitivista do processo de conceptualização do real. Pressupõe que a aquisição do conhecimento é resultado da interacção com situações, problemas e acções do sujeito nessas situações (Vergnaud, 1994). Assim, segundo ele, é através de situações e problemas a resolver que um conceito adquire significado para o aprendiz.

O objectivo da teoria dos campos conceptuais é o de fornecer um referencial que permita compreender as continuidades e as rupturas entre conhecimentos de quem está a aprender, entendendo-se como conhecimento tanto o saber fazer como o saber expresso (Vergnaud, 1990). De acordo com Franchi (1999), a teoria dos campos conceptuais visa a construção de princípios, que permitem articular competências e concepções constituídas em situação, e os problemas práticos e teóricos em que essas competências e concepções se constituem.

Nos inícios da década de 80 do século passado, Vergnaud definia campo conceptual como “um conjunto informal e heterogéneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, ligados uns aos outros e provavelmente entrelaçados no processo de aquisição. Por exemplo, os conceitos de multiplicação, divisão, fracção, razão, proporção, função linear, número racional, similaridade, espaço vectorial e análise dimensional, pertencem todos a um grande campo conceptual que é o das estruturas multiplicativas”.

A teoria de Vergnaud é, sobretudo, uma psicologia de conceitos e decorre do facto de acreditar que não se pode evidenciar e analisar as dificuldades encontradas pelos alunos se não se tiver em conta as especificidades dos conteúdos envolvidos e se não se tiver bem presente o processo de conceptualização do real, no qual o indivíduo está inserido (Vergnaud, 1983). Assim, considera que um conceito é um “elemento” que resulta de três conjuntos (1983, 1990):

S: conjunto de situações que dão sentido ao conceito – o referente;

I: conjunto de invariantes operatórios associados ao conceito – o significado;

L: conjunto de representações linguísticas e não linguísticas que permitem representar simbolicamente o conceito, as suas propriedades, as situações às quais ele se aplica e os procedimentos que dele se podem obter – o significante.

Deste modo, definir conceito como um “conjunto de invariantes utilizáveis na acção” não é suficiente para dar um significado globalizante, dado que a acção operatória não é suficiente quando se pretende conceptualizar o real. É também necessária a utilização de significantes (Vergnaud, 1990).

Com base nesta percepção, Vergnaud identifica três argumentos fundamentais que o levaram ao conceito de campo conceptual:

- 1) um conceito não se forma dentro de um único tipo de situações;
- 2) uma situação não se analisa a partir de um único conceito;
- 3) a compreensão e apropriação de todos os atributos de um conceito ou de todos os aspectos de uma situação é um processo lento que se desenrola ao longo dos anos, às vezes uma dezena de anos, com analogias e mal-entendidos entre situações, entre concepções, entre procedimentos, isto é, entre significantes.

Como se pode deduzir, Vergnaud deu muita importância aos conceitos. Contudo considera que, num campo conceptual, mais importante que os conceitos são as *situações*, ou seja, os contextos (1990).

A importância das *situações* na compreensão / construção de um campo conceptual é evidenciada ao longo das definições que foi dando:

- Campo conceptual é um conjunto de problemas e situações cujo tratamento inclui conceitos, procedimentos e representações de tipos distintos, mas estreitamente interligados – 1983;
- Campo conceptual é um conjunto de situações cuja abordagem requer o domínio de vários conceitos de naturezas diferentes – 1988;
- Campo conceptual pode ser considerado basicamente como um conjunto de situações – 1990.

Para Vergnaud, *situação* tem um sentido muito mais próximo daquilo que entendemos por tarefa do que de situação didáctica, tendo presente que toda a *situação* complexa pode ser trabalhada como uma combinação de tarefas cuja natureza e dificuldades implícitas é necessário ter presente. De realçar que, na análise de uma situação, a dificuldade de uma tarefa não é o resultado da soma ou da multiplicação das dificuldades inerentes a cada subtarefa, mas o insucesso que a

resolução de uma subtarefa poderá levar ao fracasso da resolução da tarefa (Vergnaud, 1990).

Em 1999, Franchi, considera que *situação* pode ser pensada como um dado conjunto complexo de objectos, propriedades e relações, com significado num espaço e tempo determinados, envolvendo o sujeito e suas acções.

Vergnaud esclarece que os processos cognitivos e as respostas do sujeito são função das situações com as quais se defronta. Para ele, são as situações que dão sentido aos conceitos, mas o sentido não está nas situações em si. Um conceito torna-se significativo para um sujeito através de uma variedade de situações e diferentes aspectos de um mesmo conceito quando estão envolvidos em distintas situações. Do mesmo modo, uma situação nunca pode ser analisada através de um só conceito, sendo esta a razão pela qual se deve estudar campos conceptuais e não situações isoladas ou conceitos isolados (Vergnaud, 1994).

Apesar da teoria de Vergnaud ter sido desenvolvida fundamentando-se nos campos conceptuais das estruturas aditivas e multiplicativas, a mesma não é apenas aplicável à matemática.

Na Física há muitos campos conceptuais que não podem ser ensinados e aprendidos de forma imediata. Por exemplo, a aprendizagem da Mecânica, da Electricidade ou da Termodinâmica requer, por parte dos alunos, de um domínio progressivo dos campos, ou subcampos, conceptuais correspondentes.

Segundo aquele autor, o factor fundamental na dificuldade dos alunos resolverem problemas em Ciências encontra-se nas operações de pensamento que têm de realizar, para estabelecer relações pertinentes entre os dados do problema, e não no tipo de operação que essa actividade requer.

Nos últimos tempos têm surgido algumas pesquisas relativas às dificuldades dos alunos, que têm sido realizadas à luz da teoria de Vergnaud. Por exemplo, Lemeignan e Weil-Barais (1994) realizaram um trabalho no qual pretendiam identificar quais as principais dificuldades dos alunos no âmbito das colisões. Por outro lado, Moreira e Sousa (2002) utilizaram o referencial de Vergnaud para interpretar as dificuldades dos alunos na aprendizagem significativa dos conceitos relacionados com potencial eléctrico.

De um modo genérico pode dizer-se que a teoria de Vergnaud é potencialmente útil na análise das dificuldades dos alunos na resolução de problemas, na aprendizagem de conceitos científicos e na mudança conceptual. Conhecidas e interpretadas essas dificuldades, essa mesma teoria pode ajudar a delinear estratégias que possam ajudar a progressivamente superar tais dificuldades.

3.2.2 – Modelos mentais

Nos últimos 20 a 30 anos tem-se assistido a um aumento considerável na utilização de recursos visuais e recursos não verbais como forma de tornar mais apelativo, interessante e efectivo o ensino da Física e das outras ciências.

Assim, desde os anos 90 do século passado, passou a haver uma utilização de conceitos da Psicologia Cognitiva, nomeadamente, a nível das representações internas dos alunos para incrementar estratégias educacionais mais eficazes. O interesse e a utilização da psicologia cognitiva, advém do facto de ser necessário compreender os processos mentais que antecedem à aprendizagem.

De entre muitas teorias sobre as representações internas, o conceito de “modelo mental” tem, nos últimos tempos, alcançado grande importância na pesquisa em ensino das ciências. Os seus defensores consideram que se poderá tratar de um referencial teórico para interpretar as concepções presentes nos alunos, assim como os seus modos de raciocínio e, recorrendo aos “modelos mentais”, é possível abordar com uma fundamentação mais consistente a didáctica da Física e das outras Ciências.

Ainda de acordo com os defensores dos “modelos mentais”, é possível estabelecer analogias entre os modelos usados em ciências – modelos científicos - e os modelos mentais.

Apesar da expressão “modelo mental” estar muito generalizada, não há uma definição geral ou única que traduza de forma clara o seu significado. Contudo, uma pesquisa bibliográfica sobre o tema permite encontrar diferentes contributos para a compreensão do seu significado.

Para Johnson-Laird (1983) e Gentner e Stevens (1983), *modelo mental* é o construto psicológico que o indivíduo forma na interacção com outras pessoas, com o meio ou com algum artefacto, de modo que lhes permita avaliar tal interpretação e prever o comportamento dos sistemas em relações futuras.

Para Vosniadou (1994), citado por Moreira, “modelos mentais são representações dinâmicas e generativas que podem ser manipuladas mentalmente para prover explicações causais de fenómenos físicos e fazer previsões sobre estados de coisas do mundo físico. Supõe-se que muitos modelos mentais são criados no momento de resolver questões de situações problemáticas específicas. Contudo, é possível que alguns modelos mentais, ou parte deles, que foram úteis uma vez, sejam armazenados como estruturas separadas e recuperadas da memória de longo prazo, quando necessitamos. (Moreira, 1997).

Galagovsky e Adúriz-Bravo (2001) consideram que “a apropriação de qualquer aspecto da realidade pressupõe que ele seja representado, ou seja, admite a construção de um modelo da realizada”.

Para Bao e Redish (2001), “modelos mentais são esquemas particularmente robustos e coerentes, que se moldados num conjunto de ideias consistentes e coerentes acerca dos objectos físicos e suas propriedades, é considerado como um modelo físico.”

Já Marco António Moreira (2002) afirma que “modelos mentais são estruturas cognitivas idiossincráticas, determinadas e concretas, que acontecem na memória de trabalho do indivíduo que quer compreender, explicar ou prever uma situação ou processo específico, actuando como análogos estruturais dessa situação ou processo.”

De forma genérica, podemos dizer que modelos mentais são representações internas construídas pelas pessoas para captar o mundo que nos rodeia. Assim, cada um de nós entende o mundo construindo modelos mentais, isto é, “modelos de trabalho” que predizem e explicam os acontecimentos.

Um princípio básico da teoria dos modelos mentais considera que as representações mentais do conteúdo de, por exemplo, um texto são similares, em forma, às representações derivadas da percepção do mundo, isto é, a compreensão é um processo construtivo não só a partir da informação que está explícita no texto, mas da combinação desta com a informação armazenada na memória (Bransford, citado por Garnham, 1997). Assim, pode dizer-se que ao construir-se o significado de um texto, o indivíduo desenvolve um processo interpretativo.

O processo mental que dá coerência a esta interpretação é designado por *inferência*. De acordo com Johnson-Laird (1983) há dois tipos de inferências. Estas podem ser:

- explícitas – exigem um esforço consciente e deliberado para integrar a informação – como os que ocorrem durante os processos dedutivos presentes na actividade científica;
- implícitas – sustentam os processos mais comuns e quotidianos de julgamentos como a compreensão do discurso, exigindo um conhecimento consciente mais superficial.

Um outro âmbito de aplicação da teoria dos modelos mentais está relacionado com o *pensamento* e o *raciocínio*. Neste domínio, dá-se grande importância às representações presentes nestas actividades como aos processos que manipulam as representações na memória de curto-prazo. Inclusive, a quantidade requerida de

processamento e armazenamento nesta memória tem sido usada para explicar a dificuldade que por vezes surge quando se pretende resolver problemas ou interpretar situações aparentemente similares. Estes equívocos poderão ser atribuídos à limitação da memória de trabalho, dado que, quanto mais modelos mentais se necessita para resolver um problema que exige raciocínio, mais difícil ele se torna.

Estes modelos podem, assim, serem considerados como os tijolos fundamentais na construção do conhecimento, mas eles só podem ser eficazmente utilizados se forem moldados pelo raciocínio.

Millar, no *International Journal of Science Education (IJSC)*, 1999, apresenta uma pesquisa sobre o desempenho dos alunos em questões que envolvem circuitos eléctricos simples. Concluiu que os alunos tendiam a cometer determinados erros devido ao uso mecânico da equação $V = R.I$, enfatizando que poucos alunos faziam uso de um modelo mental de diferença de potencial.

Williamson e Abraham (1995) estudavam os efeitos da animação em computador, sobre os modelos mentais dos alunos do ensino superior acerca da natureza corpuscular da matéria.

Muitas outras pesquisas têm sido feitas com base em modelos mentais. Basicamente, a teoria dos modelos mentais tem como uma das finalidades dar conta do raciocínio em geral, incluindo inferência na compreensão da linguagem, o raciocínio indutivo e, também, o raciocínio dedutivo.

Algumas pesquisas realizadas têm encontrado evidências que fazem acreditar, que a utilização de alguns instrumentos metacognitivos, como por exemplo, os mapas de conceitos, permitem “observar” os modelos mentais dos alunos relativos a uma dada temática ou assunto.

Num dos capítulos seguintes discutiremos a importância de trabalhar com esses mapas, para uma melhor compreensão da forma como os alunos constroem a informação e que, depois de processada pelo professor, servirá de ponto de referência à planificação das actividades que vai realizar na sala de aula.



- Teoria da Aprendizagem significativa

"Se eu tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um único princípio, diria isto: o factor singular mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra o que ele já sabe e baseie nisso os seus ensinamentos."

David Ausubel, 1980

3.3.1 - Introdução

David Ausubel é um psicólogo nosso contemporâneo que apresentou a sua Teoria da Aprendizagem Significativa Verbal Receptiva em 1963, no seu livro *The Psychology of Meaning Verbal Learning*. Posteriormente desenvolveu e fundamentou as suas ideias no livro *Education Psychology: A Cognitive View*, editado em 1968.

O conceito básico da teoria de Ausubel é o de aprendizagem significativa. A aprendizagem é considerada significativa quando a nova informação, que pode ser um conceito, uma ideia ou uma proposição, adquire significados para o aprendiz. O significado é conseguido através de uma espécie de ancoragem em aspectos relevantes da estrutura cognitiva do indivíduo, isto é, em conceitos, ideias, proposições já existentes na sua estrutura de conhecimentos com determinado grau de clareza, estabilidade e diferenciação. Estes aspectos relevantes da estrutura cognitiva, que vão funcionar como ancoradouros para a nova informação, são designados subsunçores, que é uma tradução literal da palavra inglesa "subsumers".

A teoria de Ausubel é também designada de verbal, dado que admite a linguagem como uma componente facilitadora da aprendizagem significativa, sendo esse o instrumento mais eficaz de fazer chegar informação ao aluno. Assim, a manipulação de conceitos e proposições é aumentada através das propriedades de representação das palavras, pelos signos linguísticos (Ausubel *et al*, 1980, Moreira e Masini, 1982).

A componente receptiva contida na teoria de Ausubel é suportada pelo facto de considerar que o processo de ensino-aprendizagem é programado, maioritariamente em termos receptivos, o que não implica, obrigatoriamente, que o indivíduo tenha uma atitude passiva perante a aprendizagem. Pelo contrario, a aprendizagem significativa tem de ser obrigatoriamente acompanhada de um processo dinâmico (Praia, 2000). Um outro argumento apresentado por Ausubel é o de que a aprendizagem significativa é um mecanismo associado ao ser humano, que permitirá adquirir e armazenar uma vasta quantidade de ideias e informações de um qualquer campo de conhecimentos (Ausubel, 1978, Moreira e Masini, 1982). Na sequência destes argumentos, ficou

célebre a frase: “O factor mais importante que influencia a aprendizagem é o que o aprendiz já conhece. Descubra o que ele já sabe e baseie-se nisso os seus ensinamentos.” (Ausubel, 1980)

No desenvolvimento da sua teoria sobre a aprendizagem significativa, Ausubel distinguiu os processos directamente relacionados com a formação de conceitos – aprendizagem por repetição/aprendizagem significativa – e que se encontra relacionada com a resolução de problemas – avaliação verbal/avaliação não-verbal.

3.3.2 - Aprendizagem significativa: tipos de aprendizagens

Façamos, então, uma breve distinção entre alguns processos de aprendizagem:

Aprendizagem por recepção – tipo de aprendizagem através do qual o conteúdo que se pretende que seja aprendido é apresentado de uma modo mais ou menos final, ou seja, como uma produto acabado. Assim, trata-se de um processo automático, mas que também deve revestir-se de carácter significativo para quem está a aprender.

Aprendizagem por descoberta – A principal característica baseia-se no facto de o conteúdo essencial que se pretende que seja aprendido não ser apresentado, mas dever ser descoberto pelo aluno antes que possa ser incorporado, significativamente, na sua estrutura cognitiva. Este é o tipo de aprendizagem que caracteriza as fases iniciais do desenvolvimento cognitivo.

Aprendizagem repetitiva ou mecânica – Moreira e Masini, 1982, caracterizam este tipo e aprendizagem do seguinte modo “Aquisição de informações com pouca ou nenhuma intersecção com conceitos ou proposições relevantes existentes na estrutura cognitiva do aprendiz”. Assim, a informação é armazenada de forma arbitrária, não estabelecendo quaisquer ligações com conceitos já previamente adquiridos. De um modo prático diremos que se trata do tipo de aprendizagem que ocorre quando um indivíduo memoriza a informação para um determinado momento ou propósito e que logo de seguida é perdida.

Aprendizagem significativa – Neste tipo de aprendizagem a “aquisição de novos significados pressupõe a existência de conceitos e de proposições relevantes na estrutura cognitiva, uma predisposição para aprender e uma tarefa de aprendizagem potencialmente significativa” (Moreira e Masini, 1982).

De acordo com o processo de aprendizagem significativa, para que esta ocorra são necessárias duas condições. Por um lado, o aluno necessita ter uma

predisposição favorável à aprendizagem, ou seja, se o indivíduo apenas pretender memorizar o conteúdo de forma arbitrária e literal, então está a promover uma aprendizagem mecânica. Por outro lado, o conteúdo que se pretende que seja aprendido tem que ser potencialmente significativo, ou seja, ele tem de ser lógica e psicologicamente significativo. De realçar que o significado lógico depende somente da natureza do conteúdo e o significado psicológico é uma experiência inata a cada indivíduo. Assim, verifica-se que cada aprendiz faz uma filtragem dos conteúdos que têm significado ou não para si próprio.

Da análise das características da aprendizagem mecânica e da aprendizagem significativa, pode parecer que se conjugam em “extremos opostos”. Contudo, Ausubel não as considerou como uma dicotomia, antes interpretou-as como sendo dois extremos de um *continuum*.

Já as aprendizagens por descoberta ou por recepção podem ser tanto mecânicas quanto significativas, dependendo do modo como a nova informação é armazenada na estrutura cognitiva do indivíduo. Segundo Ausubel, se o armazenamento da informação for feito de forma não-arbitrária e não literal, tanto uma como a outra podem ser exemplos de aprendizagem significativa.

No esquema da figura 3 apresenta-se uma matriz (representação bidimensional) que ilustra os vários níveis de aprendizagem, num contínuo que se inicia na aprendizagem por recepção e vai até à aprendizagem por descoberta autónoma, passando pela aprendizagem por descoberta dirigida.

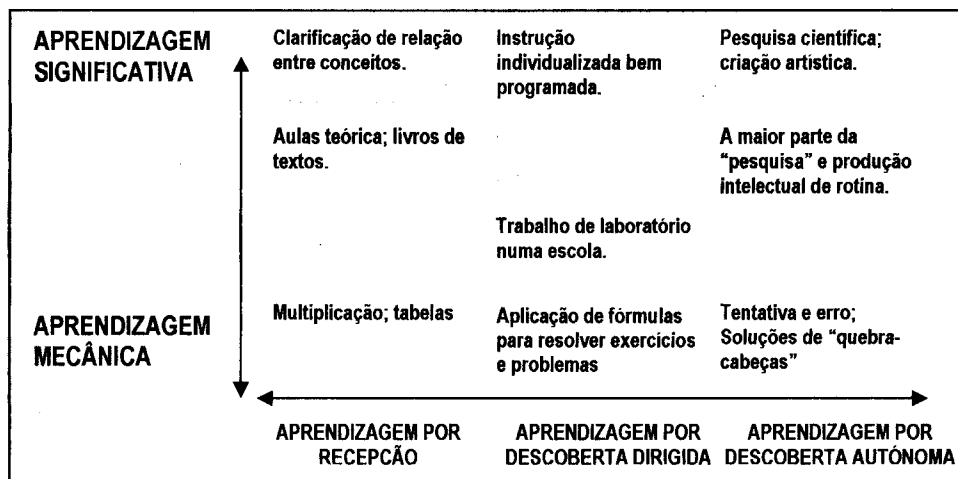


Figura 3 – A aprendizagem por recepção e por descoberta estão num *continuum* distinto entre aprendizagem mecânica e significativa. Quer o ensino se dê por recepção ou por descoberta, ambos podem levar a uma aprendizagem mecânica ou significativa (Novak, *in* Aprender a utilizar o conhecimento, 1989).

Uma outra forma gráfica de representar esse *continuum* encontra-se no esquema da figura 4.

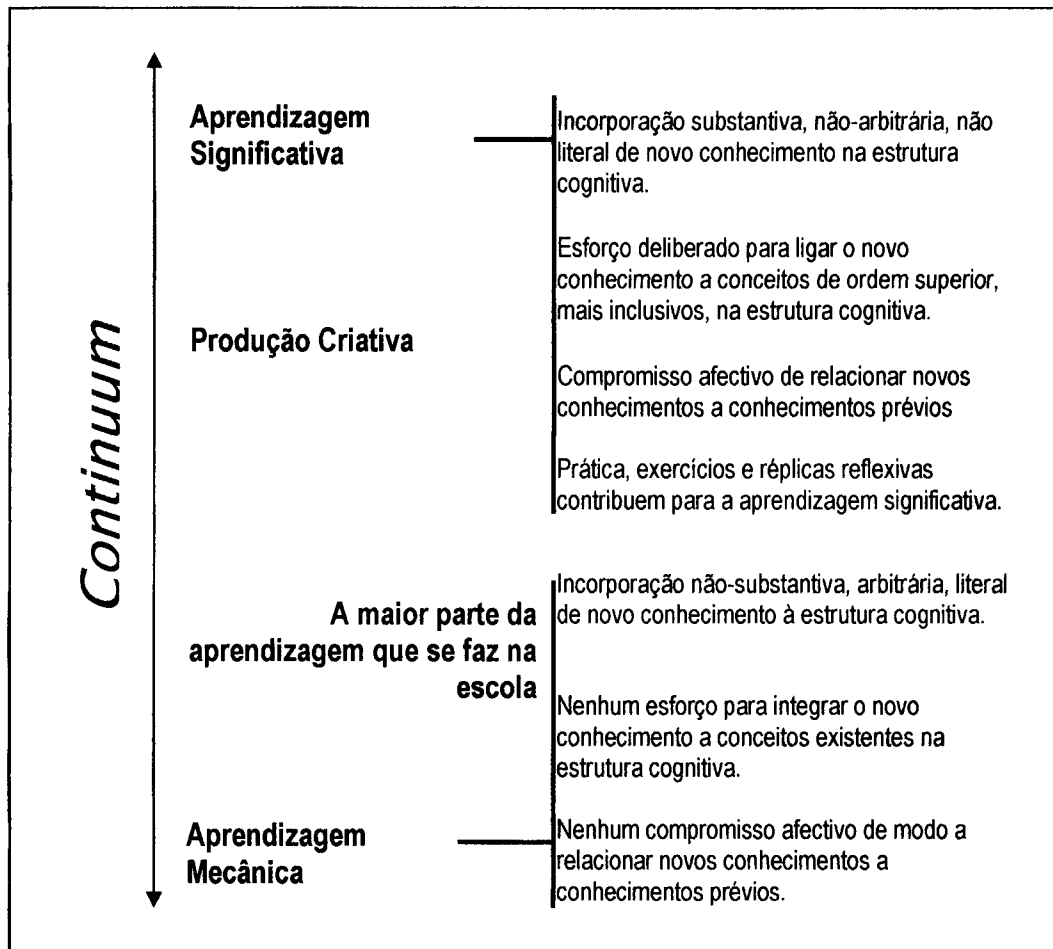


Figura 4 – O *continuum* aprendizagem mecânica – aprendizagem significativa. (Novak, 1989).

Das diferenças entre os processos de aprendizagem referidos, é fundamental identificar as limitações de cada um desses processos e procurar a estratégia mais adequada a cada objecto de ensino. Por exemplo, o método investigativo¹ poderá ser usado na aprendizagem de procedimentos científicos numa dada disciplina, enquanto que, o método receptivo é mais indicado quando se pretende fazer a explanação de um elevado corpo de conhecimentos, tornado a comunicação fundamentalmente expositiva.

Uma outra característica básica do processo de ensino e aprendizagem é a *substantividade*. Tal significa que o que é incorporado na estrutura cognitiva é o significado propriamente dito da nova informação e não as palavras ou termos usados

¹ O método da descoberta, bastante utilizado na década de 70 na área das Ciências Naturais, pode introduzir concepções alternativas erróneas no aluno. Hoje defende-se mais o método investigativo, dado que é bastante mais reflexivo, crítico e com metodologia estruturada.

para expressá-las. Deste modo, a aprendizagem significativa não está condicionada ao uso exclusivo de determinados signos ou grupos de signos particulares. O que implica que um mesmo conceito, ou uma mesma proposição, possa ser expresso através de uma linguagem, sinónima, sem lhe tirar significado.

De acordo com Ausubel, pode ocorrer aprendizagem significativa a nível:

- Representacional;
- De conceitos;
- Proposicional.

Aprendizagem representacional – é o tipo mais básico de aprendizagem significativa e da qual dependem os outros dois tipos. Caracteriza-se por ser uma aprendizagem dos símbolos individuais, como por exemplo, palavras, ou do que elas representam. De um modo geral, ocorre quando se estabelece uma equivalência entre os símbolos arbitrários e os seus referentes correspondentes (objectos, exemplos, conceitos, etc), passando a remeter o indivíduo ao mesmo significado. Pode ser considerada uma aprendizagem significativa na medida em que as proposições de equivalência proposicional podem ser relacionadas, enquanto exemplos, a generalizações que aparecem na estrutura cognitiva do indivíduo nos primeiros anos de vida.

Aprendizagem de conceitos – poder ser, de certa forma, um caso particular da aprendizagem representacional, dado que, os conceitos, as ideias genéricas ou as categorias serem também representadas por símbolos individuais e arbitrários. Representam abstracções dos atributos criteriais dos referentes ou regularidades em eventos ou objectos. É uma aprendizagem do que significam os conceitos, objectos e acontecimentos que, por sua vez, se representam por nomes e palavras. De facto, trata-se de reconhecer que existe uma equivalência entre a palavra que representa o conceito e o próprio conceito. De realçar que, para Ausubel, os conceitos são um aspecto fundamental.

Aprendizagem proposicional – a essência deste tipo de aprendizagem significativa consiste em aprender os significados das ideias expressas por grupos de palavras, que poderão representar conceitos, combinadas em proposições ou sentenças, ou seja, a finalidade é aprender o significado que está por detrás da soma dos significados das palavras ou conceitos que constituem a proposição (Moreira e Masini, 1982).

Analisando estes três tipos de aprendizagem significativa, verifica-se que quer a aprendizagem proposicional, quer a aprendizagem de conceitos são dependentes da aprendizagem representacional.

3.3.3 - Teoria da assimilação: aprendizagem subordinada e aprendizagem superordenada

De acordo com a *teoria da assimilação* de Ausubel, como resultado do processo de interacção entre o novo “material” a ser aprendido e a estrutura cognitiva existente, que se estabelece na aprendizagem significativa, ocorre uma *assimilação* com alterações dos anteriores e actuais significados, contribuindo para uma diferenciação dessa estrutura (Moreira, 1999). Assim, a diferenciação é um processo que ocorre quando uma nova informação potencialmente significativa $\underline{s}$ é relacionada com um conceito subsunçor $\underline{S}$, ou seja, uma ideia, conceito, ou proposição, como um exemplo, ampliação, qualificação, etc, deste conceito existente na estrutura cognitiva.

O resultado da interacção que caracteriza a aprendizagem significativa dá-se tanto pela modificação da nova informação $\underline{s}$ como do conceito subsunçor, $\underline{S}$. Desse modo, o novo significado s' e a alteração da ideia âncora para S' , aparecem como um significado $\underline{S'.s'}$. Este produto da interacção não é estático ao longo do tempo e pode sofrer (sofrerá!) alterações com a inclusão de novas aprendizagens ou redução da capacidade de reproduzir ideias subordinadas.

A acção do tempo sobre o conhecimento produz uma redução na capacidade de dissociação do produto $\underline{S'.s'}$, até que não se pode mais identificar com $\underline{s'}$, passando apenas a identificar-se a ideia, o conceito ou a proposição mais geral e mais estável na estrutura cognitiva, $\underline{S'}$. Esta segunda fase é denominada de *assimilação obliteradora*.

Segundo Ausubel, este processo é característico de toda a aprendizagem significativa e é, por isso, inevitável. Apesar da deteriorização do produto da interacção $\underline{s'.S'}$, surge o conceito subsunçor modificado. Na figura 5 faz-se, de forma esquemática, a representação do processo de assimilação-obliteração, acabado de discutir.

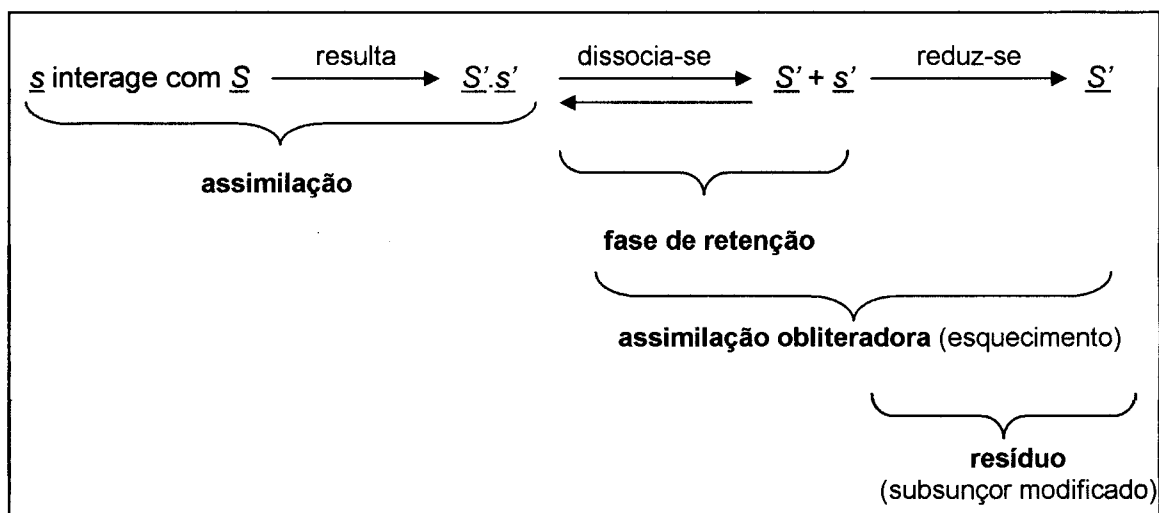


Figura 5 – Representação esquemática da assimilação-obliteração de um novo subsunçor s através de um subsunçor S já existente, resultando um subsunçor modificado S' .

O processo descrito é uma forma de subordinação já que a nova informação adquire significado por meio da interação com conceitos subsunçores existentes como ideias mais gerais e inclusivas. A esta subordinação do novo conhecimento à estrutura cognitiva dá-se o nome de **aprendizagem significativa subordinada**.

Uma outra forma de aprendizagem designa-se **aprendizagem significativa superordenada**. Esta é a aprendizagem que se estabelece quando um conceito ou proposição potencialmente significativo S a ser aprendido é mais geral e inclusivo do que as ideias $s_1, s_2, \dots, s_n$ já pertencentes à estrutura cognitiva do aprendente. Nesta situação, a ideia superordenada S passa a abranger todas as ideias das proposições subordinadas $s_1, s_2, \dots, s_n$ caracterizando-se como um novo conjunto de atributos criteriais (Moreira, 1999).

Analisemos alguns exemplos de aprendizagem da Física à luz da aprendizagem subordinada e da aprendizagem superordenada. Um desses exemplos pode ser o princípio de conservação da energia.

Sejam as ideias $s_1, s_2, \dots, s_n$, exemplos específicos que mostram que para diferentes sistemas físicos, a quantidade total de energia antes e depois de uma transformação permanece constante. Podem também ser exemplos específicos que mostrem que na transformação de um tipo de energia noutro tipo, a quantidade total de energia é conservada. Nas situações descritas, o aluno poderá chegar à conclusão de que a ideia superordenada "conservação de energia" é universal e todos os exemplos anteriores passam a ser vistos como casos particulares.

Numa ideia mais geral, como o conceito de conservação das grandezas físicas, seria um subsunçor S e todas as ideias $s_1, s_2, \dots, s_n$, seriam as ideias subordinadas de, por exemplo, conservação da massa, conservação da carga eléctrica, conservação da energia, conservação do momento angular, etc.,

3.3.4 - Conteúdos programáticos e aprendizagem significativa

Ausubel propôs quatro princípios programáticos dos conteúdos curriculares, de modo a proporcionar uma maior facilidade da aprendizagem significativa. Esses princípios programáticos são o da:

- diferenciação progressiva;
- reconciliação integrativa;
- organização sequencial;
- consolidação.

A – Princípio da diferenciação progressiva. Ausubel enuncia este princípio baseando-se em duas suposições (Ausubel, 1976, Gutierrez, 1987):

1) “para os seres humanos é mais fácil aprender aspectos diferenciados de um todo mais inclusivo previamente aprendido, do que chegar ao todo a partir das suas componentes diferenciadas, previamente aprendidas”.

2) “a organização de um conteúdo em particular, na mente de um indivíduo, consiste numa estrutura hierárquica na qual as ideias mais inclusivas ocupam o ápice e incluem proposições, conceitos e factos, progressivamente menos inclusivos e mais diferenciados”.

Assim, a diferenciação progressiva é uma parte do processo de aprendizagem significativa, que resulta da elaboração hierárquica de proposições e conceitos na estrutura cognitiva do aluno. É o princípio que fundamenta a programação do material de aprendizagem, de modo a que as ideias e conceitos mais gerais e inclusivos sejam apresentados no início do processo de ensino-aprendizagem e, progressivamente, diferenciados em termos de detalhe e especificidade.

B – Princípio da reconciliação integrativa. É o princípio de programação do material de aprendizagem segundo o qual o processo de ensino e aprendizagem deve também explorar relações entre ideias, realçar similaridades e diferenças relevantes, reconciliando discrepâncias reais ou aparentes. Assim, a reconciliação integrativa dos conceitos só ocorre quando os conceitos parecem relacionáveis de um determinado modo, permitindo uma nova descrição para a realidade.

C – Princípio da organização sequencial. A organização sequencial dos conteúdos consiste em sequenciar os tópicos, ou os temas de estudo, de modo tão coerente quanto possível, tendo presente as relações de dependência naturalmente existentes nos conteúdos a leccionar (Moreira, 1997).

D – Princípio da consolidação. Este princípio é concordante com a ideia fulcral de Ausubel, de que o factor isolado mais importante e determinante da aprendizagem é o que ele já sabe. Assim, de acordo com este princípio, os conteúdos a serem leccionados devem assegurar uma dada continuidade e promover uma elevada probabilidade de êxito na aprendizagem sequencialmente organizada.

3.3.5 - O papel do aluno na aprendizagem significativa

Na visão de Piaget, a acção é o factor determinante para que o aluno possa assimilar um novo conteúdo.

Ausubel, na sua teoria, dá realce à vontade, ao interesse ou à responsabilidade do indivíduo para incorporar na sua estrutura cognitiva a nova informação de uma forma não literal e não arbitrária. Assim, é aparentemente deixada ao aluno toda a responsabilidade de efectuar uma aprendizagem significativa. Na realidade, sabemos que os fracassos na vida escolar, isto é, os insucessos, se acumulam e levam a uma situação de efectiva desmotivação e desmobilização intelectual. Perante este cenário, é necessário que o professor encontre estratégias que privilegiem uma aprendizagem significativa efectiva. Contudo, não podemos esquecer que as limitações cognitivas que impedem o entendimento de determinado conteúdo ou dificultam a troca de significados, incluem também o insuficiente desenvolvimento num certo tipo de inteligência, por exemplo, a lógico-matemática para as disciplinas de Matemática e Física.

No sentido de ocorrer aprendizagem significativa, os alunos têm também a responsabilidade de exigir do professor, que a discussão realizada na sala de aula enfatize os conceitos físicos e relações entre conceitos que seja adequada à realidade daquele aluno. Neste contexto, o professor deve ser detentor de um nível de conhecimento – domínio do conteúdo programático de Física e de outras áreas –, capaz de moldar as limitações de compreensão dos alunos. Mas, para que ocorra aprendizagem significativa é também fundamental que o aluno:

- Disponha dos subsunçores adequados para poder transformar o significado lógico em psicológico, isto é, num conteúdo cognitivo idiossincrásico diferenciado;

- Se predisponha psicologicamente a desenvolver um esforço no sentido de aprender significativamente os conteúdos, em vez de comodamente se limitar a decorá-los (aprendizagem mecânica).

3.3.6 - A teoria de Ausubel em contexto de sala de aula

Na sala de aula é fundamental ter presente a ideia das hierarquias de conceitos, que se baseia no princípio da diferenciação progressiva e no princípio de reconciliação integrativa. Nesse âmbito, surge, então, um instrumento didático – os mapas de conceitos – desenvolvido por Novak e seus colaboradores a partir de 1972. Os mapas de conceitos, como será descrito um pouco mais adiante, é um recurso didático que dá grande ênfase aos conceitos e às relações entre eles. Nos mapas de conceitos identificar-se-ão os conceitos-chave subordinados e os superordenados, relativos a um dado tema ou grupo de conteúdos.

Em jeito de guisa, podemos dizer que a aplicação da teoria da aprendizagem significativa em contexto de sala de aula assenta em dois princípios:

- 1) As ideias mais gerais devem ser apresentadas em primeiro lugar, sendo posteriormente e progressivamente diferenciadas em termos de maior detalhe e especificidade;
- 2) As unidades programáticas devem proceder à integração dos novos materiais com uma prévia informação introdutória, através de comparações e referências cruzadas entre ideias novas e as já existentes.

Com base na teoria de Ausubel, há algumas ilações que, como professores, devemos ter presentes se pretendemos criar estratégias que favorecem a aprendizagem significativa:

- Os materiais introdutórios são importantes;
- Os materiais de aprendizagem devem estar bem organizados;
- As novas ideias e conceitos devem ser potencialmente significativos para o aluno;
- A ancoragem dos novos conceitos a estruturas cognitivas previamente existentes nos alunos, tornará os novos conceitos recordáveis e, consequentemente, passíveis de serem utilizados em futuras aprendizagens.

3.4 - Mapas conceptuais e glossários

3.4.1 - Mapas de conceitos

3.4.1.1 - Significado geral dos mapas conceptuais

A construção de mapas de conceitos é uma actividade metacognitiva fundamentada na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel-Novak-Gowin. Foram desenvolvidos em 1960 por Joseph D. Novak, na Universidade de Cornell e proporcionam representações gráficas de conceitos num determinado domínio de conhecimento, de tal modo que as relações entre os conceitos são evidentes. Assim, foram simultaneamente apresentados como uma “estratégia”, um “método” ou um “recurso esquemático”.

Como estratégia – “Procuraremos colocar exemplos de estratégias simples, embora poderosas, para ajudar os estudantes a aprender e para ajudar os educadores a organizar os materiais que serão objecto desse estudo” (Novak e Gowin, 1988);

Como método – “A construção dos mapas conceptuais [...], que é um método para ajudar os estudantes e os educadores a captar significado dos materiais que se vão aprender” (Novak e Gowin, 1988);

Como recurso – Um mapa conceptual é um recurso esquemático para representar um conjunto de significados conceptuais incluídos numa estrutura de proposições” (Novak e Gowin, 1988).

De acordo com Novak e Gowin, os mapas conceptuais têm por objectivo representar relações significativas entre conceitos na forma de **proposições**. Sendo proposição definida como “dois ou mais termos conceptuais associados por palavra(s) de ligação de modo a constituir uma unidade semântica”.

Genericamente, um mapa de conceitos pode ser útil para:

- tornar claro, a alunos e/ou professores, os conceitos chave em que deve ser focada a atenção durante uma tarefa específica de aprendizagem;
- mostrar alguns dos caminhos que se podem seguir quando se pretende ligar conceitos, de tal forma que resultem proposições com significado;
- tornar claro, num resumo esquemático, tudo o que foi aprendido.

Novak, quando explicita os fundamentos teóricos do mapas de conceptuais, procura explicar que são uma projecção prática da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, dado que:

- são fundamentalmente centrados no aluno e não no professor;
- atendem ao desenvolvimento de destrezas e não se baseiam numa repetição memorística da informação por parte do aluno;
- favorecem o desenvolvimento harmonioso de todas as dimensões da pessoa e não apenas as intelectuais.

De acordo com Novak, esta terceira característica é fundamental dado que esta técnica de ensino tem importantes repercussões no âmbito afectivo-relacional da pessoa, na medida em que o protagonismo que se atribui ao aluno, a atenção e a aceitação que se presta aos seus contributos e ao aumento do seu êxito na aprendizagem, favorecem o desenvolvimento da auto-estima. Por exemplo, durante a elaboração de um mapa de conceitos, a negociação de significados melhora as habilidades sociais e desenvolve atitudes próprias para o trabalho de grupo e para um trabalho em sociedade.

3.4.1.2 – Construção de mapas conceptuais

Anteriormente foi discutida a origem e a utilidade dos mapas de conceitos. Falta uma definição descritiva que permita distingui-los de outros instrumentos ou meios utilizados na sala de aula.

De um modo relativamente superficial pode-se dizer que se trata de uma rede de linhas que confluem numa série de pontos, representando estes os conceitos. Estes unem-se por linhas e o sentido da relação é clarificada com as “palavras de ligação ou de enlace”, que devem ser escritas junto à linha que une cada dois conceitos.

Assim, de acordo com a definição de Novak, o mapa de conceitos é uma organização constituída por três elementos fundamentais:

- os conceitos;
- as palavras de enlace ou ligação;
- as proposições.

Convém clarificar o que se entende por cada um destes elementos:

- conceito é “uma regularidade nos acontecimentos ou objectos designados por algum termo” (Novak e Gowin, 1988). Assim, os conceitos fazem referência a *acontecimentos*, que são qualquer coisa que sucede ou que pode ser provocada e a *objectos*, que são qualquer coisa que existe e que pode ser observada, ou seja, são imagens mentais que as palavras ou signos com que exprimimos *regularidades* provocam em nós.

Como referem Novak e Gowin (1988), “os significados são, por natureza, idiossincráticos. Este carácter idiossincrático explica-se pela forma particular que cada um tem de captar inicialmente o significado de um termo, a experiência acumulada sobre a realidade, os sentimentos que provoca, etc. Por exemplo, o termo “automóvel” não significa o mesmo para um corredor de Fórmula 1 e para um ecologista”, pois, como se pode prever, cada um atribui-lhe um conjunto diferente de atributos.

- palavra de enlace ou ligação – palavras que servem para unir dois conceitos e assinalar o tipo de relação existente entre eles.

Novak distingue os *termos conceptuais* (ou conceitos), ou seja, palavras que provocam imagens mentais e exprimem regularidades, das *palavras de enlace*, que servem para unir dois conceitos, mas não provocam imagens mentais. Contudo, quando o mapa começa a incluir um número considerável de conceitos, aparecem vários ramais ou linha conceptuais e podem surgir relações cruzadas, isto é, linhas de união que ligam conceitos que não se encontram em posições contíguas, dado que fazem parte de ramais diferentes.

- proposição – é constituída por dois ou mais conceitos unidos por palavras de enlace, de modo a formarem a unidade semântica, já anteriormente referida.

3.4.1.3 – Características dos mapas conceptuais

No sentido de distinguir os mapas de conceitos de outros recursos gráficos e de outras técnicas cognitivas utilizadas nos processos de ensino e de aprendizagem, serão identificadas três características ou condições que são específicas dos mapas de conceitos. São elas:

- A hierarquização – neste instrumento metacognitivo, os conceitos estão organizados por ordem de importância ou grau de inclusão. Os mais profundos ou globais ocupam os lugares superiores da estrutura gráfica. Por outro lado, os exemplos aparecem em último lugar, ou seja, na parte final do mapa.

Esta características dos mapas de conceitos implica que:

- não seja possível o mesmo conceito aparecer mais que uma vez;
- em certas situações seja necessário terminar a linha de enlace com uma seta, de modo a indicar o conceito derivado (se estão ao mesmo nível) ou quando há relações cruzadas.

- A selecção – uma vez que os mapas de conceitos formam uma síntese ou resumo que contém a parte mais significativa de uma mensagem, texto ou unidade temática, há que definir os termos que melhor traduzem os conceitos que se pretendem realçar. Na realidade, quando se pretende fazer um mapa de uma unidade temática muito extensa, corre-se o risco de eliminar um número significativo de conceitos fundamentais, já que a selecção levará a que apenas os mais importantes sejam evidenciados. Uma forma de minimizar, quando necessário, este problema é optar pela elaboração de **mapas conceptuais parcelares**, contendo um número mais reduzido de conceitos (não mais do que dez) e depois integrá-los num único mapa.

- O impacto visual – Novak e Gowin (1988) afirmam que “um bom mapa de conceitos é conciso e mostra relações entre as ideias principais de um modo simples e vistoso, aproveitando a notável capacidade humana para a representação visual”

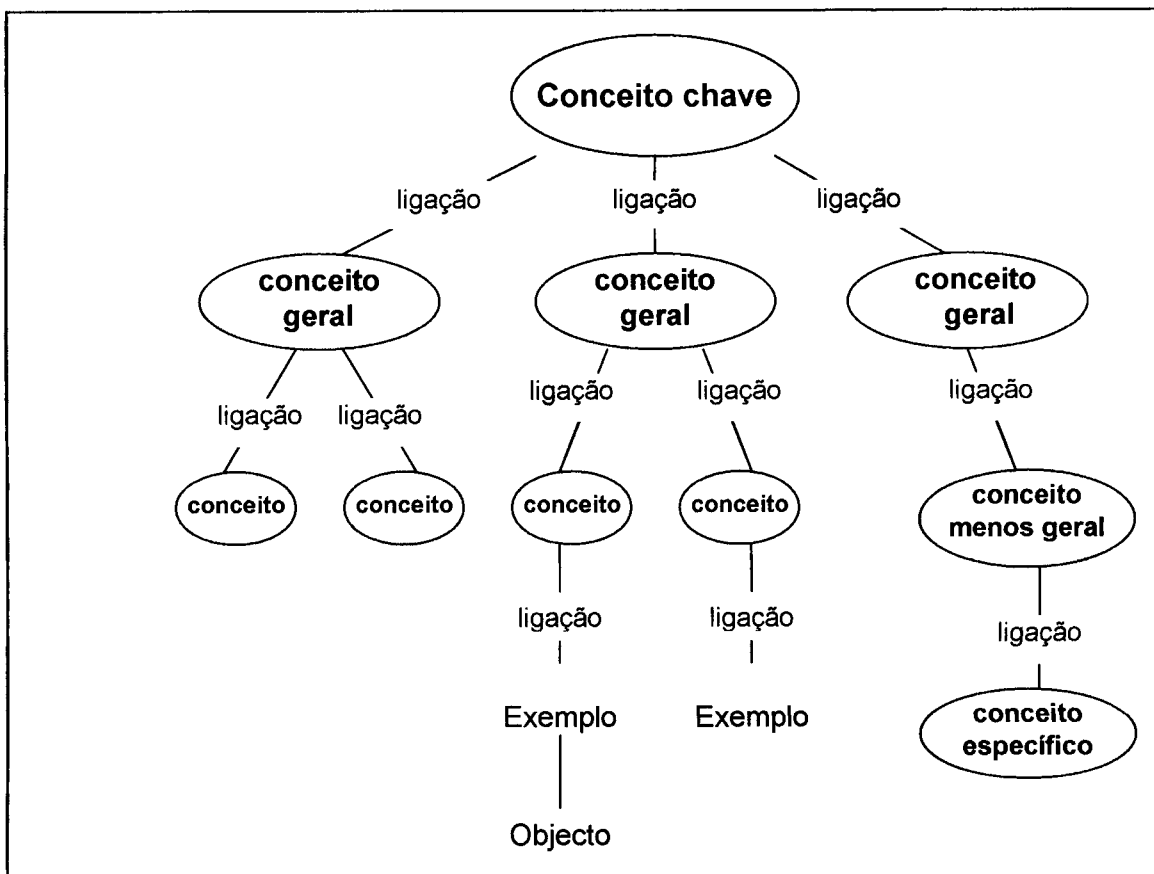


Figura 6 – Organização de um mapa conceitual.

Como técnica que favorece o impacto visual dos mapas de conceitos, é significativa a diferença quando se escrevem os conceitos em letra maiúscula e os enquadramos em elipses ou rectângulos, já que aumenta o contraste entre as letras e o fundo.

Na figura 6 evidencia-se o significado destas três características discutidas, ou seja, a hierarquização, a selecção e o impacto visual.

3.4.1.4 – Mapas conceptuais na sala de aula

Uma vez que os mapas de conceitos são um dos instrumentos que mais favorecem a aprendizagem significativa e estão centrados no aluno, é necessário ensinar, em contexto de sala de aula, como devem os alunos partir para a elaboração deste tipo de redes gráficas.

De acordo com Ontoria *et al* (1994), o melhor processo de ajudar os alunos a aprender significativamente é ajudá-los, de forma clara, a que vejam a natureza e o papel dos conceitos e das relações entre eles, tal como existem nas suas mentes.

Assim, antes de começar a construir mapas será necessário ter em conta algumas ideias fundamentais:

- nos mapas devem aparecer um número relativamente pequeno de conceitos e ideias;
- é necessário compreender previamente o significado de cada conceito, recorrendo a exemplos (e muitas vezes contra-exemplos) e análise de ideias simples;
- os mapas são hierárquicos, ou seja, os conceitos mais inclusivos devem aparecer na parte superior e os mais específicos num nível mais inferior;
- é necessário distinguir conceitos de palavras de enlace, dado que desempenham funções diferentes nas proposições criadas;
- os mapas são uma forma de visualizar conceitos e relações hierárquicas entre esses conceitos;
- os mapas devem ser desenhados várias vezes, dado que, em geral, a primeira tentativa de organizar os conceitos revela algumas incongruências. Por outro lado, a repetição permitirá melhorar a componente estética do mesmo.

Perante estas premissas, é necessário ensinar como se deve construir um mapa de conceitos. Novak e Gowin no livro *Learning how to learn* (1994), apresentam

um número considerável de sugestões para iniciar a construção destes mapas. Genericamente o professor/a deverá:

- explicar, de forma breve, e com alguns exemplos que sejam familiares aos alunos, o significado dos termos *conceito*, *palavra de enlace* ou *palavra de ligação* e *proposição*;

- escolher um texto ou uma unidade temática (relativamente pequena) com o qual o aluno já está familiarizado;

- criar, no quadro ou num acetato, duas colunas, em que numa delas escreve, a partir da informação dada pelos alunos, os conceitos principais identificados no texto ou na unidade temática e na outra escreve as palavras de enlace. De início considerar não mais que dez conceitos, de modo a que não surjam conceitos cruzados.

- em discussão com os alunos, identificar os conceitos mais inclusivos e os menos abrangentes, de modo a que possa ser feita a hierarquização dos mesmos;

- com a ajuda da turma, procurar as palavras de enlace mais adequadas à formação de uma proposição com significado;

- dar uma organização final à estrutura acabada de discutir;

- fornecer um outro texto ou escolher uma outra unidade temática para que os alunos, em grupos de três ou quatro, possam aplicar a técnica a uma nova situação. Distribuir pequenas cartolinas para que possam ser escritos os conceitos fundamentais;

- pedir a cada grupo que explique o seu próprio mapa, de modo a que os outros grupos tomem consciência de que, apesar de os mapas não serem todos iguais, podem estar todos correctos.

Com a finalidade de investigarem o papel dos mapas conceptuais como contributo para uma aprendizagem mais efectiva e uma melhor compreensão da ciência, Sansão, Castro e Pereira (2002) realizam uma investigação que teve como estratégia a “construção de mapas de conceitos, aplicada de acordo com uma perspectiva construtivista, onde o aluno assume uma participação activa na reconstrução do seu próprio saber através de desestruturações, desequilíbrios e reestruturações sucessivas do seu conhecimento”.

O estudo foi realizado com alunos do ensino secundário, no âmbito da disciplina de Ciências Físico-Químicas e teve como fundamento a teoria a aprendizagem significativa de Ausubel (1968), desenvolvendo-se em cinco fases principais:

Fase 1 – os alunos, individualmente, procederam à elaboração de mapas conceptuais sobre a unidade temática “corrente eléctrica”, antes desta ser leccionada;

Fase 2 – os alunos elaboraram, individualmente, mapas conceptuais depois de os conteúdos terem sido abordados;

Fase 3 – em grupos de dois ou três, os alunos elaboraram um mapa de conceitos em grupo;

Fase 4 – de seguida, foram distribuídos aos alunos os “três” mapas conceptuais elaborados e foi pedido que realizassem as seguintes tarefas:

- comentário às diferenças observadas;
- explicação e justificação para as ligações estabelecidas, bem como para as palavras de ligação atribuídas no mapa construído individualmente, depois da aprendizagem, considerando 5 a 8 conceitos ligados entre si (Sansão *et al*, 2002);

Fase 5 – por último, foi solicitado aos alunos que, em casa e após comparação dos mapas, construíssem um novo mapa de conceitos.

Da análise do trabalho realizado pelos alunos, as autoras da investigação realçam que:

- a partir da análise de mapas de conceitos realizados em diferentes fase é possível identificar se existiu aprendizagem significativa ou memorística;
- devido à incorrecta classificação e consequente selecção e hierarquização dos conceitos, se infere que alguns alunos desconheciam o significado dos mesmos;
- alguns mapas de grupo eram mais “fracos” que os construídos individualmente, talvez porque nos grupos não foi dada ênfase à discussão que levaria ao ganho de conhecimento e compreensão, à correcção dos erros, à possibilidade de falar sobre ciência, à partilha de informação e ao confronto de ideias;

Por último, em jeito de síntese defendem que:

“a estratégia da mapas de conceitos interessa a todo o professor preocupado, não com a resposta do aluno, mas com o modo como este chegou à resposta, ou seja, ao professor que tem em mente a realização de uma aprendizagem significativa do aluno, em detrimento de uma aprendizagem mecânica. (Sansão *et al*, 2002).

Pelo que acabámos de discutir, verifica-se que os mapas conceptuais são fundamentais para que ocorra aprendizagem significativa, dado que esta “implica, necessariamente, a atribuição de significados idiossincráticos” (Moreira, 1997), ou seja, tanto mapas usados por professores como recurso didáctico como mapas feitos por alunos, têm componentes idiossincráticos. Tal significa que não há o mapa conceptual “único ou correcto”.

Quando um aluno elabora um mapa de conceitos, o mais importante não é verificar se o mapa está certo ou errado, mas sim se ele dá evidências de que aluno está a aprender significativamente o conteúdo (Moreira, 1977).

3.4.2 – Glossários

Richard P. Feynman, numa das suas conferências sobre o “O que é a Ciência?”, defendeu que é fundamental aprender termos e definições se se pretende fazer ciência. Alertou, contudo, que conhecer termos e definições não é concretamente ciência.

Podemos compreender as palavras de Feynman, dado que o vocabulário é um elemento fundamental no domínio de uma linguagem e, tal como nas outras áreas do saber, é considerado uma prioridade quando se pretende que a mensagem seja convenientemente compreendida pelo receptor. Esta é, aliás, a ideia-chave de toda a comunicação.

Coady (1997, citado por Foohs e outros) identifica quatro abordagens principais para o ensino de vocabulário:

- somente contextualizada, isto é, desenvolvimento de vocabulário através de leitura extensiva;
- estratégias de leitura, isto é, o desenvolvimento de estratégias de leitura que possibilitem a aprendizagem de vocabulário a partir de um dado contexto;
- instrução explícita, isto é, ensino explícito de vocabulário;
- actividade de sala de aula, isto é, ênfase em actividades de sala de aula que envolvam vocabulário.

Na área das Ciências e mais concretamente no âmbito do processo de ensino-aprendizagem da Física, em cada actividade de sala de aula há um número significativo de termos que são introduzidos ou revisitados. Muitos destes vocábulos são conceitos, ou seja, traduzem regularidades.

Muitos dos conceitos trabalhados em Física são também abordados em Ciências Naturais, em Geografia, etc, fruto da interdisciplinaridade curricular. Assim, o significado do vocábulo / conceito irá crescendo, de acordo com os atributos que se lhe forem adicionando.

Uma estratégia que pode promover uma aprendizagem significativa e permitir dar mais significado aos conceitos trabalhados, consiste na construção de glossários, que tanto quanto possível devem contemplar a informação tratada em Física e nas outras áreas do saber. Deste modo, o conceito tomará uma maior abrangência em contextos diversificados, tal como referia Vergnaud nos seus campos conceptuais.

Um glossário pode ser definido como um conjunto de significados referentes a um determinado tema ou área específica. De um modo geral, funciona como uma ferramenta de apoio quando estamos a lidar com novas aprendizagens ou conteúdos.

Se por um lado o glossário fica como síntese do estudo realizado, por outro permite que o aluno crie o hábito de organizar informação, dando-lhe mais significado à medida que vai adicionando novos atributos a esse vocábulo / conceito.

A construção de um glossário de termos ou conceitos, serve igualmente de suporte à construção dos mapas de conceitos. Estando um conceito definido através de um conjunto elevado de atributos, será mais fácil aos alunos estabelecer relações entre esses conceitos e outros, aumentando a complexidade do mapa mas também certamente a confiança nas relações estabelecidas nesse mapa.

Não se pense, contudo, que o glossário é em si mesmo um objectivo no processo de ensino e aprendizagem; é acima de tudo uma ferramenta que o professor poderá utilizar nas suas aulas para motivar a pesquisa científica, para melhorar a aprendizagem conceptual e para desenvolver a literacia científica nos seus alunos.

CAPÍTULO 4

Instrumento de diagnóstico e conceitos abordados

- 4.1** - Construção do instrumento de diagnóstico
- 4.2** - Os conceitos abordados no estudo

4.1 - Construção do instrumento de diagnóstico

4.1.1 - Introdução

Tendo em conta o objectivo principal do estudo que pretendíamos realizar, era necessário criar um instrumento de avaliação que permitisse avaliar as concepções e os “modelos mentais” dos alunos que frequentam o 3.º Ciclo do Ensino Básico, relativamente a alguns conceitos de Física leccionados durante este ciclo de estudos na disciplina de Físico-Química.

4.1.2 - Metodologia de construção

Numa primeira fase, foi feita a análise das Orientações Curriculares para as Ciências Físicas e Naturais, componente de Físico-Química (DEB, 2001), e foram seleccionados sete conceitos, das várias unidades do programa, todos eles identificados por vocábulos que são utilizados, também, na linguagem corrente.

Os conceitos seleccionados encontram-se na tabela 1.

Tabela 1 Conceitos de Física seleccionados das Orientações Curriculares das Ciências Físicas e Naturais para o 3.º ciclo do Ensino (DEB, 2001).

Movimento	Radiação
Som	Massa
Energia	Força
Rapidez	

Utilizando estes conceitos foi elaborado um primeiro QUESTIONÁRIO (**Anexo 1**), onde se pedia que relativamente a cada um fosse:

- Escrita uma frase com significado físico onde se incluísse o conceito;
- Elaborado um pequeno desenho que evidenciasse o significado desse conceito. Se necessário poderia ser incluída uma legenda.

Este questionário foi passado na primeira semana de Dezembro de 2005 em duas turmas de 9.º ano, uma da Cooperativa de Ensino Didáxis, em Vila Nova de Famalicão e outra da Escola Secundária com 3.º Ciclo João Gonçalves Zarco, em Matosinhos, num total de 51 alunos.

De realçar que na turma da escola de Matosinhos ainda estava a ser leccionada a componente de Química, enquanto que na de Famalicão já tinha sido terminado o estudo do subtema “Em trânsito”.

Na tabela 2 transcrevem-se frases escritas pelos alunos relativas a alguns conceitos que faziam parte do questionário. Por convenção utilizou-se a letra A para identificar a Cooperativa de Ensino de Famalicão e a B para a escola de Matosinhos.

Tabela 2 Frases escritas pelos alunos relativamente a alguns conceitos. As respostas identificadas com A foram dadas por alunos da escola de Famalicão e as identificadas por B são de alunos da escola de Matosinhos.

Conceito: Movimento

- O movimento exerce-se pelo nosso corpo. (A3)
- O movimento é quando algo ou alguma coisa está a andar. (A5)
- Movimento é a acção das coisas ou das pessoas. (A8)
- Movimento é tudo aquilo que se pode movimentar. (A14)
- Movimento é um corpo que não está parado em relação a um outro corpo, está em movimento. (A17)
- Movimento é quando algum corpo se move, ou seja, não está parado (A18)
- Movimento é quando alguém se está a deslocar. (A21) e (A26)
- Diz-se que qualquer coisa se movimentou se a compararmos com outro objecto parado e a distância entre eles variar. (A23)
- O movimento é uma força (A24)
- Movimento é quando uma pessoa está a praticar alguma acção. (A28)
- A Terra está sempre em movimento (B2), (B12), (B18)
- Movimento é quando várias forças trabalham ao mesmo tempo para fazer com que o corpo onde a força é exercida se mova. (B4)
- A Terra está sempre em movimento de translação. (B5)
- O movimento é a deslocação da massa (B8)
- Movimento é quando um objecto ou uma pessoa se move. (B11)
- Eu estou em movimento quando estou a andar. (B16)
- Movimento é o que faz um objecto deslocar-se. (B20)
- Movimento é quando algo muda de lugar. (B21)
- O movimento é um deslocamento de algum ser ou objecto para alguma localização. (B23)

Conceito: Rapidez

- É a velocidade de um certo veículo. (A6)
- A rapidez é um movimento muito rápido. (A10)
- É a distância percorrida num certo período de tempo (A19)
- É preciso rapidez, por exemplo, para ganhar uma corrida de corta-mato, ou seja, é a velocidade máxima que um corpo pode alcançar. (A18)
- A rapidez é algo que se movimenta muito rápido. (A19)
- Rapidez é como, esse objecto ou pessoa, deslocar-se muito rápido (A21)
- É quando uma pessoa tem que ir rápido a um local. (A22)
- A rapidez é o tempo que se demora a fazer qualquer coisa de um ponto até outro. (A23)
- Rapidez é todo o movimento que é rápido. (A25)
- A rapidez inclui a força (A28)
- Rapidez é algo que se move muito rápido. (B1)
- Significa que está a andar a uma velocidade superior à normal. (B2)
- É uma coisa que anda a alta velocidade. (B7)
- É a velocidade do movimento. (B8)
- Rapidez é quando uma pessoa atinge uma velocidade maior do que a normal. (B11)
- A rapidez é rápida... (B14)
- Rapidez é a razão da distância com o tempo. (B15)
- É andar a grande velocidade. (B16)

- Rapidez é a velocidade. (B21)
- A rapidez é a velocidade a que se faz uma coisa. (B24)

Conceito: Força

- Força é o que se exerce sobre alguma coisa. (A3)
- A força é exercida sobre algum corpo. (A9)
- A força faz movimentar um corpo. (A10)
- Força é alguma força que um corpo exerce sobre outro corpo (A17)
- A força é necessária para muita coisa. Para empurrar um objecto, para levantar pesos, pode também ser uma força exercida, por exemplo, de uma caixa para o chão. (A18)
- A força é algo que é exercido sobre algo. (A19).
- É um movimento de um corpo que é exercido sobre outro. (A20)
- Força é quando alguém exerce força noutro objecto ou pessoa. (A21)
- Força é algo que faz variar a forma ou o sítio de um corpo. (A23)
- A força é uma força. (A24)
- A força é exercida quando uma pessoa exerce sobre outra. (A28)
- É o que se adquire depois de um esforço contínuo ao fim de um certo tempo. (B4)
- Se lhe pregar um murro e ele cair e ficar inconsciente, eu tenho força. (B8)
- O homem é muito forte. (B10)
- A força da gravidade atrai tudo para o centro da Terra. (B14)
- A força faz algo se mover. (B15)
- Força é o poder exercido de um corpo sobre outro. (B21)

Com base nas respostas dadas pelos alunos a este primeiro questionário, foram tomadas algumas decisões quanto ao instrumento de diagnóstico final.

Dado que os conceitos presentes no questionário aplicado faziam parte dos vários temas que são leccionados no 3.º Ciclo, concluímos ser necessário reduzir a diversidade de conceitos presentes no diagnóstico e centrarmo-nos apenas nos que fazem parte do subtema “Em trânsito”, da área temática “Viver melhor na Terra”, por ser aquele em que os alunos pareciam evidenciar uma maior diversidade de respostas.

Assim, foi feita uma análise das Orientações Curriculares e identificados os conceitos-chave desse subtema, tendo-se concluído que no final do Ensino Básico os alunos deveriam ter aprendido cerca de trinta conceitos, assim como alguns dos seus atributos mais significativos.

Alguns dos conceitos identificados encontram-se na tabela 3. De realçar que estes foram, na globalidade, mais tarde trabalhados tanto a nível dos glossários como dos mapas de conceitos, na intervenção que foi realizada em contexto de sala de aula com alunos de 9.º ano.

Tabela 3 Principais conceitos identificados no subtema “Em trânsito” do tema “Viver melhor na Terra”. (DEB, 2001).

Referencial	Tempo de reacção
Repouso	Distância de reacção
Movimento	Tempo de travagem
Trajectória	Distância de travagem
Posição	Tempo de segurança
Distância percorrida	Distância de segurança
Deslocamento	Força de atrito
Intervalo de tempo	Rugosidade
Rapidez média	Área de superfície
Velocidade	Força compressora
Força	Par acção-reacção
Variação de velocidade	Peso
Deformação	Massa
Aceleração	Impulsão
Movimento uniforme	Volume
Movimento uniformemente variado	Energia cinética

Destes conceitos, há alguns que são abordados ainda que de forma relativamente superficial, no 7.º ano no tema “Terra no Espaço”, pelo que, à partida, admitíamos que os alunos conseguiriam identificar / mencionar alguns dos atributos que caracterizam esses conceitos.

Na tabela 4 listam-se os conceitos cuja primeira abordagem ocorre no tema “Terra no Espaço”.

Tabela 4 Conceitos de Física, revisitados no subtema “Em trânsito”, cuja primeira abordagem é realizada no tema “Terra no Espaço”(DEB, 2001).

Repouso	Rapidez média
Movimento	Força
Distância percorrida	Peso
Intervalo de tempo	Massa

Se analisarmos a listagem dos conceitos da tabela da tabela 4, verificamos que para cada um deles a palavra ou expressão que o traduz, faz parte do vocabulário da linguagem comum; ou seja, para os alunos, mesmo que estes conceitos não tenham sido abordados em contexto de sala de aula, na disciplina de Físico-Química, a expressão ou palavra é-lhe familiar. Contudo, na maioria das vezes o significado que lhe é dado não corresponde ao conceito cientificamente aceitável. A título de exemplo, referimos duas expressões vulgarmente utilizadas na comunicação oral e escrita, que reflectem a ausência de conhecimento do significado científico do conceito:

- Confusão força/velocidade: “O carro vai com muito força.”
- Confusão rapidez/rápido: “Ele é muito rápido.”

- Confusão força/Energia: “O pugilista tem muita força”
- Confusão intervalo de tempo/instante: “Chego aí num instante.”

Assim, podemos identificar algumas questões de linguagem que os alunos têm presente quando nos referimos a esses conceitos. Para qualquer professor/a é fundamental ter identificado que concepções é que o aluno tem relativamente a cada um dos conceitos/assuntos tratados, já que a definição da estratégia de abordagem desse conceito será determinante para a mudança conceptual ou, pelo menos, para um esclarecimento mais eficaz, favorecendo deste modo a aprendizagem significativa.

Tendo presente algumas das frases construídas pelos alunos (tabela 2), relativamente aos conceitos enumerados, e aos desenhos que realizaram no QUESTIONÁRIO, construiu-se um outro questionário onde só vigoram conceitos presentes no subtema “Em trânsito”. Devido à relevância que têm na formação de qualquer cidadão socialmente integrado na sociedade e ao facto de serem identificados por termos muito utilizados no dia-a-dia – vocábulos que fazem parte da linguagem corrente –, foram escolhidos para o questionário final os conceitos que estão indicados na tabela 5.

Tabela 5 Conceitos utilizados no questionário final.

Aceleração	Movimento
Rapidez média	Pressão
Peso e Massa	Força

Neste questionário, pretendeu-se construir questões que, de algum modo, se enquadrassem na perspectiva da avaliação realizada pelo PISA (*Programme for International Student Assessment*), relativa à avaliação da literacia científica e de competências.

Com base nessa perspectiva, foi operacionalizada a estrutura do questionário recorrendo a três dimensões fundamentais na literacia científica:

1. os processos;
2. os conteúdos;
3. os contextos.

Assim, as questões construídas deixaram de estar formatadas em “frase” e “desenho” e passaram a ter uma natureza mais diversa, nunca esquecendo que se pretendia avaliar:

- a compreensão de alguns conceitos de Física;
- a influência que a linguagem comum tem na dificuldade de construir um conceito com os atributos cientificamente correctos.

Tendo em conta os argumentos referidos, construiu-se o QUESTIONÁRIO FINAL, ou seja, aquele que foi aplicado no estudo que realizámos. (**Anexo 2**).

A validação do questionário foi realizada pelos professores Paulo Simeão de Carvalho e Adriano Sampaio e Sousa, do Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto e pela professora Nilza Costa, do Departamento de Tecnologia Educativa da Universidade de Aveiro.

Com o propósito de testar a exequibilidade e a adequação às finalidades e ao nível etário a que se destinava, este questionário foi, também, passado em duas turmas de 9.º ano, que à partida, admitíamos terem características bastante distintas. Uma das turmas em que foi aplicado era da Escola Básica 2,3 de Baguim do Monte, em Gondomar, sendo constituída por 26 alunos e a outra, com 29 alunos, era do Colégio Luso-Francês, no Porto. Por outro lado, a análise dos questionários realizados nestes estabelecimentos de ensino permitiu, numa fase posterior, verificar como é que alunos de meios culturais e sócio-económicos muito diferentes, interpretam e utilizam a linguagem específica da Física.

De realçar que, quando foi feita a testagem do questionário, todas as turmas referidas neste estudo já tinham terminado de leccionar o tema em que os conceitos seleccionados são abordados.

4.2 - Os conceitos abordados no estudo

4.2.1 - Movimento

Na Mecânica, ramo mais antigo da Física, procura-se estabelecer um conjunto de leis físicas que forneçam um método matemático de descrever o movimento de um ponto material ou de um conjunto de pontos materiais.

Uma primeira questão que pode ser formulada é o que se entende por movimento e por repouso.

Estes dois conceitos, que têm significados opostos e que se complementam, só fazem sentido quando são discutidos tendo em conta um sistema de eixos de referência.

Na verdade podemos dizer que tudo está em movimento. Por exemplo, ao nível microscópico, podemos dizer que, nos átomos, os electrões se movem em torno do núcleo; nos líquidos e gases os corpúsculos movem-se de forma aleatória e colidem entre si. A uma escala macroscópica podemos dizer que os planetas se movem em torno de uma estrela, as estrelas movem-se em torno do centro da galáxia e a galáxias também estão em movimento.

Conclui-se, assim, que no espaço em que ocorrem os fenómenos físicos há um infundável número de “coisas” que se encontram em movimento. Podem ser objectos materiais (corpos) ou radiação a propagar-se.

Deste modo, podemos considerar que o movimento surge como uma propriedade geral de todos os constituintes do Universo.

Mas, para descrever o movimento de uma partícula é necessário definir um referencial. Este será um ponto, um objecto ou um conjunto de objectos em relação ao qual conseguimos localizar a posição da partícula que estamos a estudar. Assim, o referencial poderá ser escolhido com base no tipo de trajectória que a partícula estiver a descrever.

Consideremos, por exemplo, uma mosca que se move em linha recta sobre uma mesa. Nesta situação, se pretendemos registar a posição da mosca em vários instantes, podemos tomar como referencial um eixo orientado Ox , sendo O a sua origem e o sentido positivo indicado pela extremidade da seta que define o referencial (Figura 1).

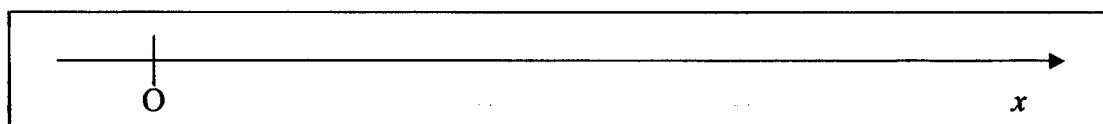


Figura 1 – Referencial para uma partícula que se move em linha recta.

Se na linha utilizada forem feitas marcações com distâncias bem definidas, a cada posição da mosca corresponde uma coordenada (abscissa), que, em relação à origem O escolhida, corresponde um valor positivo, negativo ou nulo. Em cada instante, o módulo da coordenada da posição dá a distância a que a mosca se encontra do ponto escolhido para origem do referencial.

Assim, se de instante a instante, a coordenada de posição da mosca não se alterar em relação ao ponto escolhido como origem do referencial, dizemos que esta se encontra em repouso em relação a esse referencial. Se a coordenada de posição variar, então dizemos que a mosca está em movimento em relação a esse referencial.

De realçar que a coordenada de posição da mosca depende do referencial escolhido, isto é, se tivéssemos utilizado um outro referencial teríamos, instante a instante, uma outra coordenada de posição.

Consideremos, agora, que a mosca em vez de se mover em linha recta, descrevia uma trajectória aleatória sobre o tampo de uma mesa. Nestas condições, a localização da mosca no plano do tampo da mesa exige que se defina um referencial constituído por um par de eixos. Assim, habitualmente, utilizam-se dois eixos perpendiculares, que se designam por eixos coordenados, Ox e Oy , com a origem comum, O .

Neste caso, a descrição do movimento da mosca terá de ser feita recorrendo a duas coordenadas:

- a abscissa, coordenada no eixo Ox ;
- a ordenada, coordenada no eixo Oy .

Assim, ao ponto A vão corresponder as coordenadas (x_A, y_A) e ao ponto B as coordenadas (x_B, y_B) (figura 2), onde:

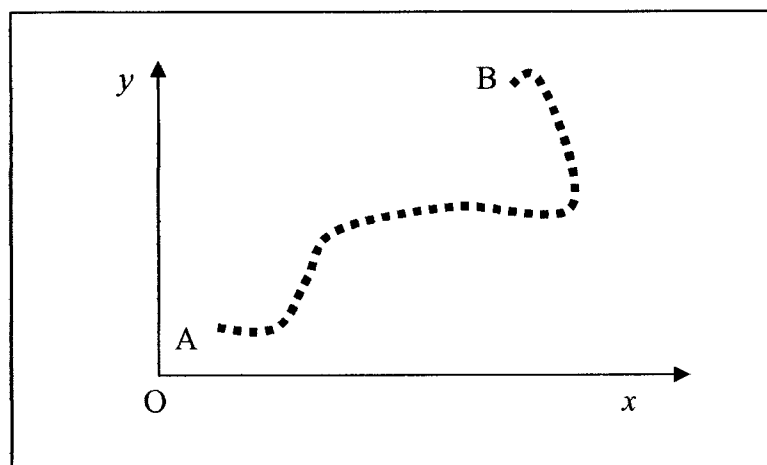


Figura 2 – Movimento da mosca sobre o tampo da mesa.

$$\begin{cases} x_A - \text{abscissa do ponto A} \\ y_A - \text{ordenada do ponto A} \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_B - \text{abscissa do ponto B} \\ y_B - \text{ordenada do ponto B} \end{cases}$$

Este sistema de eixos, perpendiculares entre si, é também designado sistema de **eixos cartesianos ortogonais**, dado que este processo de representar os pontos deve-se ao filósofo e matemático francês René Descartes (1596-1650).

Mas, se a mosca levantar voo, o sistema de eixos a duas dimensões deixa de ser eficaz para a descrição do seu movimento. Nesta situação, que é a mais geral, é necessário definir um sistema de eixos que permita conhecer a posição da mosca instante a instante. Assim, com toda a generalidade, esse sistema de eixos terá de ser a três dimensões, Ox , Oy e Oz , com a origem comum no ponto O . Neste sistema de eixos cada ponto será descrito por três coordenadas.

Atendendo à descrição feita, podemos dizer que o movimento (da mosca ou de qualquer outro corpo) significa mudança de posição em relação a um referencial, ou seja, dizemos que uma partícula está em movimento se a sua posição varia instante a instante em relação ao referencial ou sistema de referência escolhido.

Genericamente, podemos dizer que:

- só faz sentido falar na posição de uma partícula relativamente a um referencial escolhido previamente;
- as coordenadas de posição da partícula dependem do referencial escolhido.

Esta generalização leva a perceber o carácter relativo da posição de um corpo, pois as coordenadas de posição dependem do referencial escolhido. Assim, o movimento e o repouso, isto é, a alteração ou a não alteração do vector posição, depende do referencial em que se está a trabalhar.

Para perceber o carácter relativo do movimento e do repouso, consideremos uma estação de comboios e dois observadores A e B. Admitamos que o A se encontra sentado no interior de um comboio e o B está sentado na estação.

Se considerarmos a estação como referencial, quando o comboio passa, o observador B diz que o observador A está em movimento, já que a sua posição em relação à estação e a si próprio está a sofrer alteração. Contudo, se considerarmos o comboio como referencial e o observador B a mover-se com o referencial, ele dirá que o passageiro (observador A) está em repouso, já que a sua posição em relação ao referencial agora escolhido (comboio) não sofre alteração de instante para instante.

A escolha do sistema de referência ou referencial é fundamental, dado que os três pilares em que assenta a Mecânica Clássica, ou seja, as Leis de Newton só são

válidas num “referencial inercial”, isto é, um referencial cuja origem não possui aceleração.

A 1.^a lei de Newton ou Lei da Inércia, diz que “Todo o corpo continua em estado de repouso ou de movimento rectilíneo uniforme, a menos que seja compelido a mudar esse estado por forças exteriores ao corpo que lhe sejam aplicadas”.

Uma das consequências desta lei é o conceito de inércia como propriedade intrínseca de todos os corpos, “medindo” a tendência que cada corpo tem para manter o seu estado cinético, ou seja, para manter a sua velocidade ou, visto de um outro modo, dá-nos indicação da maior ou menor facilidade de alterar o estado de repouso ou de movimento de um corpo, isto é, de alterar a sua velocidade.

Mas, uma vez que o repouso e o movimento dependem do referencial escolhido, que características deverá ter o referencial para que se verifique a Lei enunciada?

Na verdade, a 1.^a Lei de Newton só é válida em referenciais de inércia, ou seja, em referenciais relativamente aos quais uma partícula não é actuada por forças externas, pelo que está em repouso ou em movimento rectilíneo uniforme. Podemos também dizer que referenciais de inércia são aqueles que se podem considerar em movimento livre, ou seja, sem aceleração, já que só nesses condições os seus observadores (observadores de inércia) verão um corpo, não actuado por forças, a permanecer em repouso ou em movimento rectilíneo e uniforme.

Mas será que no Universo há referenciais de inércia?

Newton estabeleceu a lei da Inércia na Terra, pelo que podemos ser levados a concluir que a Terra é um referencial inercial. Contudo, a Terra tem rotação em torno do seu próprio eixo, o que confere a cada corpo na sua periferia uma aceleração centrípeta de valor $3,4 \times 10^{-2} \text{ m s}^{-2}$; e também possui na sua translação em torno do Sol, uma aceleração média de $6 \times 10^{-3} \text{ m s}^{-2}$. Apesar da existência destas acelerações, a Terra pode ser considerada um referencial inercial quando estamos a estudar movimentos de curta duração. Contudo, no estudo dos movimentos celestes, o efeito de rotação da Terra já se faz sentir, pelo que nesse contexto a Terra já não pode ser considerada um referencial inercial.

Poderá o Sol ser considerado um referencial inercial? Em termos absolutos, o Sol também não é um referencial de inércia, dado que também tem aceleração.

Na verdade, durante séculos, físicos, matemáticos e filósofos discutiram a possibilidade de se definir um referencial absoluto em relação ao espaço vazio. Quando se admitiu o espaço vazio ocupado por um material imaginário chamado éter, possuindo propriedades um tanto contraditórias, o referencial absoluto foi definido como um referencial em repouso em relação ao éter. Entretanto, uma vez que se

abandonou a ideia artificial e desnecessária de éter, tornou-se impossível definir tal referencial absoluto, visto que no espaço vazio não há elementos que possam servir como pontos de referência.

Na verdade, a procura de um verdadeiro referencial inercial, ou seja, do referencial absoluto, é uma procura sem sentido, dado que aquele não existe.

Se a Terra é, em certas aproximações, um referencial de inércia, então um comboio ou um autocarro que se mova com velocidade constante ($\vec{v} = \text{constante}$) pode também ser, em certas condições, considerado um referencial de inércia.

Verifiquemos que tal é verdade.

Para tal, consideremos dois referenciais espaciais: um referencial associado à rua S(X,Y,Z) e outro S'(X',Y',Z') associado ao autocarro, que se move com movimento uniforme ($\vec{v} = \text{constante}$) relativamente à rua, (figura 3).

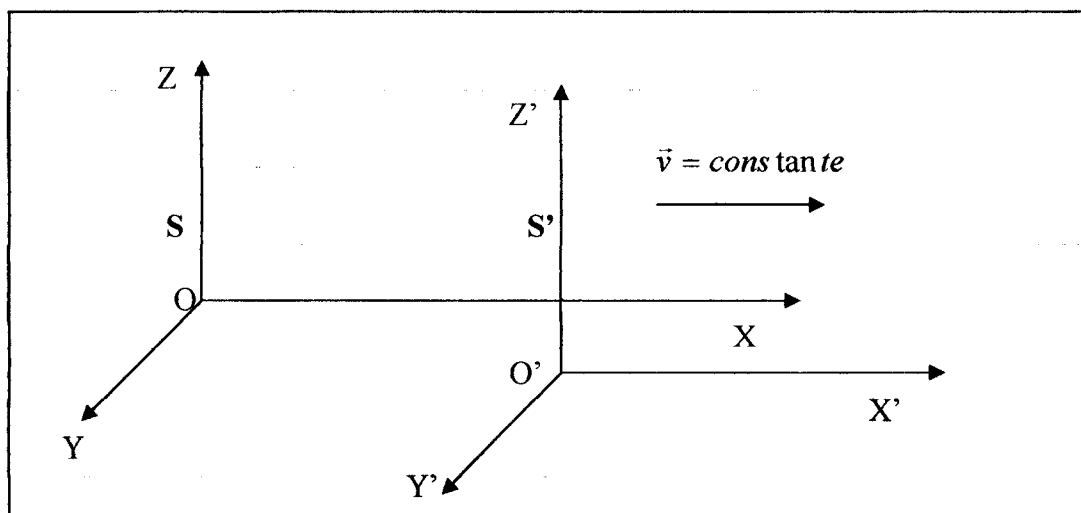


Figura 3 – Movimento de um referencial em relação a outro.

Para o referencial S, de acordo com a 2.^a Lei de Newton, ou Lei Fundamental da Dinâmica $\vec{F}(S) = m\vec{a}(S)$.

No referencial S' verifica-se que:

$$\vec{v}_{S'} = \vec{v}_S - \vec{v}_{S'/S} \quad (1)$$

Como a velocidade com que o autocarro se move em relação ao referencial fixo, S, é $\vec{v}$, a equação 1 toma a forma:

$$\vec{v}_{S'} = \vec{v}_S - \vec{v}$$

Uma vez que $\vec{v}$ é constante, ao derivar ambos os membros desta equação obtém-se:

$$\vec{a}_{S'} = \vec{a}_S \quad (2)$$

Assim,

$$m\vec{a}_{S'} = m\vec{a}_S \Leftrightarrow \vec{F}(S') = \vec{F}(S) \quad (3)$$

Deste modo, concluímos que se a 2.^a Lei de Newton é válida num dos referenciais, também o é no outro, desde que este tenha movimento rectilíneo uniforme em relação ao primeiro referencial. Assim, ambos são referenciais de inércia, pelo que é possível definir uma infinidade de referenciais de inércia, desde que respeitem as mesmas condições.

Em termos matemáticos, a transformação de um referencial de inércia para outro que mantém a validade da 2.^a Lei de Newton, é a chamada transformação de Galileu.

Consideremos, novamente, os referenciais S (rua) e S' (autocarro), que admitimos que no instante $t = 0$ s estavam sobrepostos, estando S' a mover-se com velocidade constante em relação ao referencial S . Pretendemos estudar como é descrito um dado acontecimento em cada um dos referenciais S e S' . Seja esse acontecimento, por exemplo, a queda de uma lâmpada que se solta de um candeeiro de rua (Figura 4).

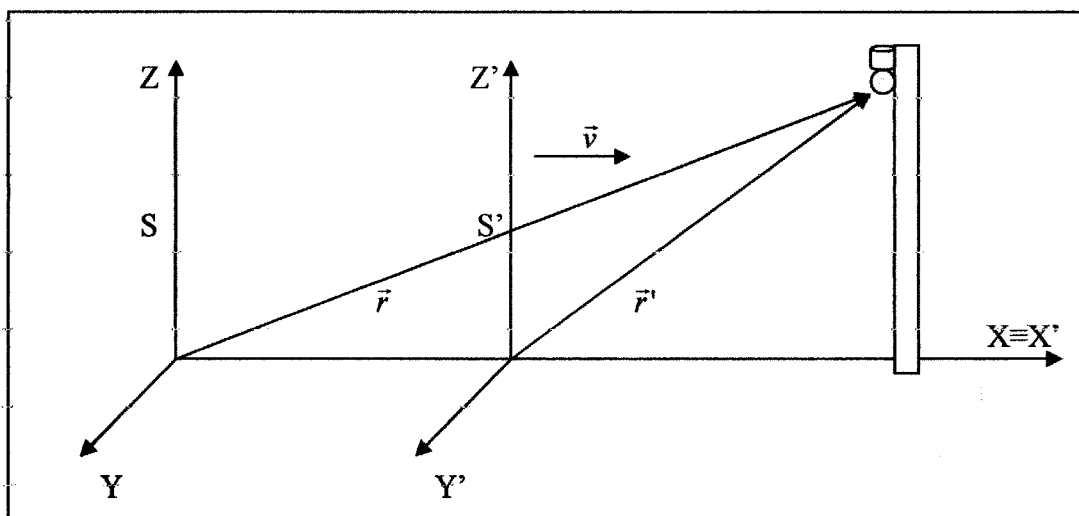


Figura 4 – Transformadas de Galileu.

Relativamente à rua, referencial S , no instante t , a posição da lâmpada quando inicia a queda é $\vec{r}$. Para o autocarro, referencial S' , diremos que a lâmpada se solta do candeeiro no instante t' e que o vector posição é $\vec{r}'$.

Assim, conhecida a velocidade com que o referencial S' se desloca em relação a S , é possível escrever a relação entre $\vec{r}$ e $\vec{r}'$:

$$\vec{r} = \vec{r}' + \vec{v}t \quad (4)$$

Esta equação pode também ser escrita através das componentes dos vectores $\vec{r}$ e $\vec{r}'$:

$$x' = x - vt$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

Por outro lado, admitimos que $t' = t$.

Uma vez que a velocidade com que o referencial S' se move em relação ao S é constante, derivando duas vezes a equação anterior (vectorial) em ordem ao tempo, obtemos que:

$$\vec{a} = \vec{a}'$$

Assim, se a Lei Fundamental da Dinâmica é válida no referencial S , também é válida no referencial S' .

No exemplo que acabamos de discutir, o autocarro estava a movimentar-se com velocidade constante, ou seja, era um referencial inercial. Contudo, se o autocarro deixar de ter movimento rectilíneo uniforme, deixa de ser um referencial de inércia e passa a ser um referencial acelerado.

Para estudar este tipo de referenciais, consideremos que o autocarro tinha suspenso, de um suporte existente no tecto, um guarda-chuva. Um passageiro que se encontre sentado num banco observará que:

- o guarda-chuva é projectado para trás quando o autocarro é acelerado;
- o guarda-chuva é projectado para a frente quando o autocarro é travado.

Como é que o passageiro, que se encontra solidário com o autocarro, (que agora é um referencial acelerado ou não inercial) interpreta estas alterações que o guarda-chuva sofre?

O passageiro pode continuar a aceitar como válidas as leis da Mecânica, mas tem de admitir a existência de uma força a actuar no guarda-chuva, tendo essa força sentido oposto à aceleração (absoluta) do referencial não inercial. Só assim poderia aceitar que, quando o autocarro é acelerado, o guarda-chuva seja projectado em sentido contrário ao movimento do meio de transporte, e que seja projectado para a frente quando autocarro é travado.

Estas forças, a que os observadores solidários com referenciais acelerados recorrem para continuar a poder aplicar as leis da Dinâmica, designam-se forças de inércia (frequentemente também apelidadas por forças fictícias).

Se for $\vec{a}$ a aceleração do referencial não inercial, então, um corpo de massa m é actuado, relativamente a esse referencial, por uma força de inércia ($\vec{F}_i$) que será dada por:

$$\vec{F}_i = m(-\vec{a}) \Leftrightarrow \vec{F}_i = -m\vec{a} \quad (5)$$

Assim, as forças de inércia são forças adicionais, que não traduzem interações, mas são consequência da aceleração adquirida pelo referencial.

De realçar que estas forças não têm existência para os observadores inerciais, dado que estes não necessitam da sua existência para explicar o movimento.

Saber mais ...

Referiu-se anteriormente que a Terra não pode ser considerada um referencial inercial quando se estuda o movimento de corpos celestes.

Recorrendo ao pêndulo de Foucault, podemos verificar que a Terra tem movimento de rotação. Esta experiência foi realizada, publicamente, pela primeira vez por Jean Leon Foucault, em 1851, sob a grande cúpula do Pantheon em Paris. O pêndulo utilizado era constituído por uma esfera de massa 28 kg, suspensa de um fio com um comprimento aproximado de cerca de 70 metros. A extremidade superior do fio que suspendia a esfera estava presa de tal forma que permitia que o pêndulo oscilasse livremente em qualquer direcção; do fundo da esfera saía uma ponta metálica cuja extremidade estava em contacto com um círculo de areia, de cerca de 3 metros de raio e com uma pequena espessura, criado directamente abaixo do ponto de suspensão do pêndulo. Assim, a extremidade metálica marcava na areia o movimento em cada oscilação, permitindo observar que o pêndulo não executava sempre a mesma trajectória.



Figura 5¹ – Pêndulo de Foucault no panteão de Paris.

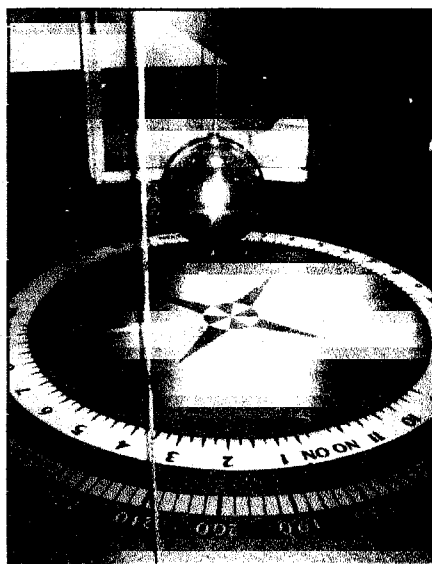


Figura 6² – Pêndulo de Foucault na Universidade de Chicago.

¹ www.culture.gouv.fr/.../images/foucault.jpg

² www.galen-frysinger.ws/chicago/chicago64.jpg

Após sucessivas oscilações, tornou-se claro que o plano do movimento do pêndulo apresentava rotação no sentido dos ponteiros do relógio, quando observado de um plano acima do círculo de areia.

Mais concretamente, se o pêndulo fosse solto inicialmente na posição A e colocado a oscilar na direcção Este-Oeste, deveria continuar a oscilar entre A e B se a Terra não girasse (Figuras 7 e 8). Contudo, na realidade, a trajectória do pêndulo era deflectida continuamente para a direita no hemisfério norte e para a esquerda no hemisfério sul. Assim, no nosso hemisfério, no fim da primeira oscilação, o pêndulo atinge a posição B' e não a B (a imagem não está à escala). Ao voltar, agora atinge a posição A' e não A. Portanto, em oscilações sucessivas, avançará até A'', A''', etc. Isto é, o plano de oscilação do pêndulo move-se, num referencial local, no sentido horário no hemisfério norte e no sentido anti-horário no hemisfério sul.

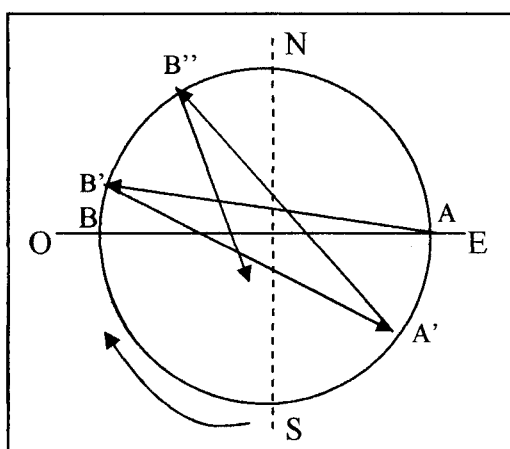


Figura 7 – Rotação do plano de oscilação do pêndulo no Hemisfério Norte. (a imagem não está à escala)

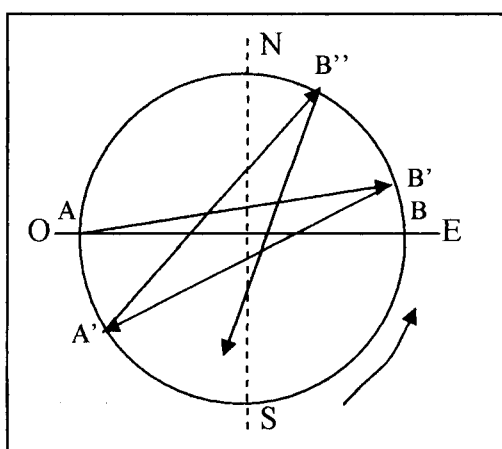


Figura 8 – Rotação do plano de oscilação do pêndulo no Hemisfério Sul. (a imagem não está à escala)

No local em que Jean Leon Foucault fez a demonstração (Paris, latitude de cerca de 49°), verificou-se que o pêndulo:

- em cada oscilação se movia cerca de 2 mm, medidos sobre o arco do círculo de areia;
- numa hora, mudou o seu plano de oscilação de um ângulo ligeiramente superior a 11° ;
- realizou uma volta completa em aproximadamente 32 horas.

A rotação observada para o plano de oscilação do pêndulo resulta da chamada aceleração de Coriolis. Esta aceleração, que provém de uma força fictícia (de inércia), existe apenas quando uma partícula está em movimento em relação a um sistema (referencial) que está em rotação (não inercial).

A aceleração de Coriolis, que se deve ao chamado o **efeito de Coriolis** (com o nome do matemático francês Gustave Gaspard Coriolis, 1792-1843), torna-se

importante em termos quantitativos quando um objecto se desloca grandes distâncias num movimento livre em relação à Terra ou ao referencial que possui movimento de rotação. O seu valor depende da velocidade angular deste referencial ($\vec{\omega}$) e da velocidade da partícula ou do sistema de partículas em relação a esse referencial ($\vec{v}$).

Além do movimento do plano de oscilação do pêndulo de Foucault, os efeitos da aceleração de Coriolis podem também ser observados, por exemplo:

- no movimento dos ventos em volta dos centros da baixa pressão, dando origem aos redemoinhos;
- nas correntes oceânicas, como por exemplo na corrente do Golfo, onde a água é deflectida para a direita no Hemisfério Norte;
- nos carris dos caminhos de ferro, dado que sofrem maior desgaste num lado do que no outro;
- nos leitos dos rios, que devido à erosão das águas, são mais profundos numa das margens do que na outra.

4.2.2 – Rapidez média

Uma grandeza fundamental para a descrição do movimento de uma partícula é a sua velocidade média ($\vec{v}_{med}$).

Para determinar esta grandeza física é necessário conhecer o vector posição da partícula, em função do tempo. Consideremos, então, $\vec{r}(t)$ o vector posição de uma partícula em relação a um determinado referencial. Genericamente, este vector terá três componentes, podendo todas variar de instante para instante. Assim,

$$\vec{r}(t) = x(t)\vec{e}_x + y(t)\vec{e}_y + z(t)\vec{e}_z \quad (6)$$

Conhecida a posição da partícula em dois instantes em relação a um determinado referencial, por exemplo, $\vec{r}_A$ e $\vec{r}_B$, podemos determinar o deslocamento ($\Delta\vec{r}$) nesse intervalo de tempo (figura 9).

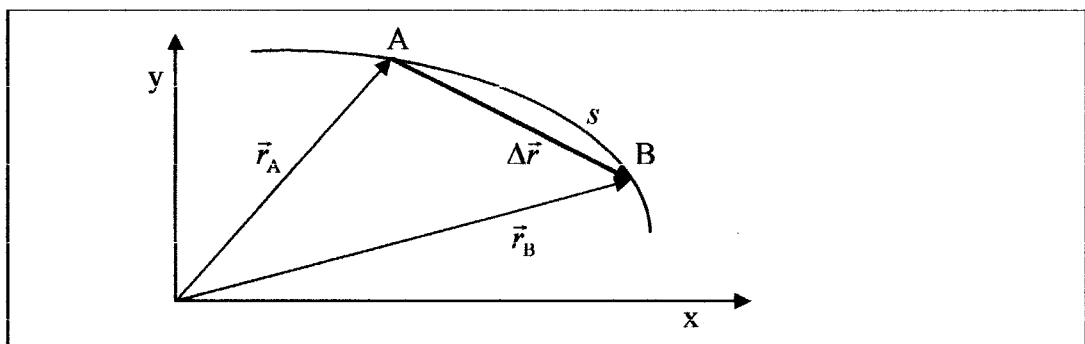


Figura 9 – Determinação do deslocamento de uma partícula entre duas posições.

$$\begin{aligned}\vec{r}_A + \Delta\vec{r} &= \vec{r}_B \Leftrightarrow \\ \Delta\vec{r} &= \vec{r}_B - \vec{r}_A\end{aligned}\quad (7)$$

Se, genericamente, os vectores $\vec{r}_A$ e $\vec{r}_B$ forem definidos como:

$$\begin{aligned}\vec{r}_A &= x_A\vec{e}_x + y_A\vec{e}_y + z_A\vec{e}_z \\ \vec{r}_B &= x_B\vec{e}_x + y_B\vec{e}_y + z_B\vec{e}_z\end{aligned}$$

podemos determinar o vector deslocamento com base nas componentes escalares destes vectores.

$$\begin{aligned}\Delta\vec{r} &= (x_B - x_A)\vec{e}_x + (y_B - y_A)\vec{e}_y + (z_B - z_A)\vec{e}_z \text{ ou} \\ \Delta\vec{r} &= \Delta x\vec{e}_x + \Delta y\vec{e}_y + \Delta z\vec{e}_z\end{aligned}\quad (8)$$

Para determinarmos o valor do deslocamento, ou seja, a distância entre os pontos A e B, calcula-se a norma do vector:

$$\|\Delta\vec{r}\| = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2}\quad (9)$$

Conhecido o deslocamento num dado percurso, é possível determinar quanto variou, em média, a posição da partícula em cada unidade de tempo. À grandeza que nos dá essa informação chamamos “velocidade média”. Assim, velocidade média ($\vec{v}_{\text{med}}$) no intervalo de tempo em que foi efectuado esse deslocamento ($\Delta\vec{r}$), é obtida através da relação matemática:

$$\vec{v}_{\text{med}} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}\quad (10)$$

A velocidade média num determinado intervalo de tempo tem a direcção e o sentido do deslocamento da partícula nesse intervalo de tempo e o seu valor é:

$$\|\vec{v}_{\text{med}}\| = \frac{|\Delta\vec{r}|}{\Delta t}$$

No Sistema Internacional de Unidades, o valor da velocidade média é expresso na unidade m s^{-1} .

Todavia, a grandeza física *velocidade média* dá-nos pouca informação acerca do movimento da partícula. Concretamente, apenas nos permite conhecer, em média, qual o deslocamento efectuado em cada unidade de tempo e não o modo como esse deslocamento ocorre de instante a instante.

Quando é conhecida a trajectória da partícula, por vezes define-se uma outra grandeza: a rapidez média ou celeridade³.

A rapidez média é uma grande física escalar que relaciona a distância percorrida ou espaço percorrido com o intervalo de tempo em que foi efectuado esse percurso.

Seja s o espaço percorrido entre as posições A e B e Δt o intervalo de tempo correspondente a esse percurso. A rapidez média (r) indica-nos o espaço percorrido nesse percurso em cada segundo e pode ser calculada pela razão entre a totalidade do espaço percorrido (s) e o intervalo de tempo (Δt), ou seja, é definida pela razão entre essas duas grandezas, ou seja,

$$r = \frac{s}{\Delta t} \quad (11)$$

Esta grandeza, no Sistema Internacional de Unidades, exprime-se, também, em m s^{-1} . Assim, dois veículos X e Y que possuam, respectivamente a rapidez de 10 m s^{-1} e 5 m s^{-1} , percorrem distâncias diferentes na mesma unidade de tempo. Num segundo, o veículo X percorre 10 metros enquanto que o Y só percorreu 5 metros.

Em certas situações físicas, o valor da velocidade média é igual à rapidez média. Tal ocorre quando se verificam simultaneamente as condições:

- a trajectória é rectilínea. Nestas situações o comprimento de um “arco” é igual ao comprimento da “corda” correspondente.
- não há inversão do sentido do movimento. Nesta situação o movimento é sempre efectuado na mesma direcção e sentido.

Parece-nos que estes dois conceitos devem ser explorados separadamente e só depois da análise de algumas situações específicas se deve fazer a aproximação de significado, nas situações em que tal possa ser feito. Por outro lado, neste mesmo nível de ensino, mas também no Ensino Secundário, começa a ser habitual referir “velocidade média” quando se pretende apenas o seu valor. Atendendo a que é diferente falar da velocidade média ou do valor da velocidade média, parece-nos que dever-se-ia continuar a insistir na diferença de significado dessas duas grandezas, bem como do significado do conceito de rapidez.

³ De acordo com Almeida (1997), rapidez média ou celeridade não deve ser confundida com a velocidade. Na língua inglesa utilizam-se, respectivamente, as designações *speed* e *velocity*. A celeridade ou rapidez média é calculada pelo quociente entre o espaço percorrido (s) e o intervalo de tempo (Δt). A velocidade média é determinada pelo quociente do deslocamento efectuado ($\Delta \vec{r}$) pelo intervalo de tempo (Δt).

4.2.3 – Aceleração

A descrição do movimento de uma partícula é feita recorrendo a várias grandezas físicas. Uma dessas grandezas é a aceleração.

A grandeza física aceleração existe sempre que a partícula sofre variação de velocidade⁴. Esta variação pode ser tanto num arranque como numa travagem, assim como quando há mudança na direcção do movimento, ou seja, quando a partícula descreve uma trajectória curvilínea.

Seja $\vec{r}$ o vector posição de uma partícula em movimento, em relação a um determinado referencial. Em geral, o vector posição é função do tempo, ou seja, pode variar de instante para instante.

$$\vec{r}(t) = x(t)\vec{e}_x + y(t)\vec{e}_y + z(t)\vec{e}_z \quad (12)$$

O modo como a coordenada $\vec{r}(t)$ varia instante a instante permite-nos caracterizar o tipo de movimento da partícula, introduzindo uma nova grandeza física, o vector velocidade ou apenas velocidade. Para tal é necessário recorrer ao conceito matemático de derivada. Assim, a derivada de $\vec{r}(t)$ em ordem ao tempo do vector posição dá-nos a velocidade da partícula em qualquer instante,

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad (13)$$

Define-se aceleração média, $\vec{a}_{\text{med}}$, de uma partícula num dado intervalo de tempo, Δt , como sendo a variação da velocidade em cada unidade de tempo; calculando-se fazendo a razão entre a variação de velocidade e o intervalo de tempo em que ocorreu essa variação (figura 10). Assim,

$$\vec{a}_{\text{med}} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \Leftrightarrow \vec{a}_{\text{med}} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t - t_0}, \quad (14)$$

onde $\vec{v}$ e $\vec{v}_0$ são as velocidades nos instantes t e t_0 , respectivamente.

O valor da aceleração média é dado por:

⁴ A nível do 3.º Ciclo do Ensino Básico fala-se em aceleração quando há variação do valor da velocidade. Contudo, atendendo a que esta não é forma mais abrangente de tratar o conceito, parece-nos que seria adequado, já a esse nível, referir que existe aceleração sempre que há variação de velocidade, incluindo aqui variação a nível da direcção e do valor. Deste modo talvez fossem eliminadas algumas ideias incorrectas com que os alunos terminam o ensino obrigatório.

$$\|\vec{a}_{\text{med}}\| = \frac{\|\Delta\vec{v}\|}{\Delta t} \quad (15)$$

Por análise da equação 15, verifica-se que no Sistema Internacional de Unidades, o valor desta grandeza se exprime na unidade m s^{-2} .

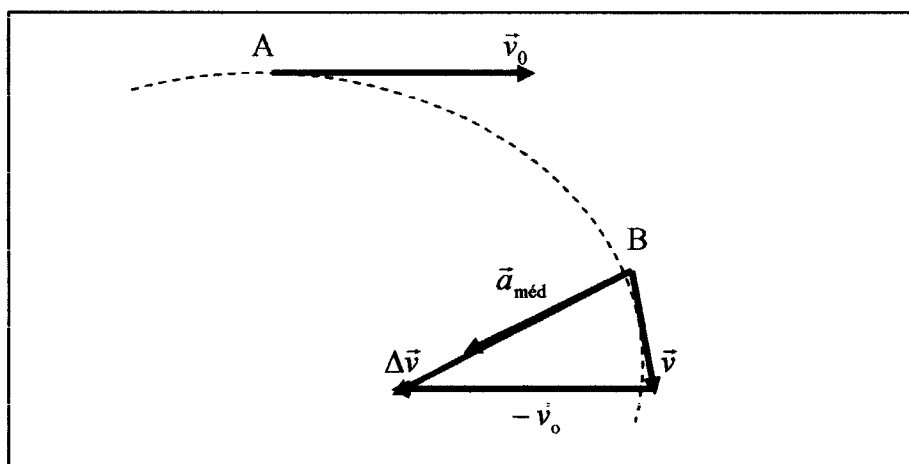


Figura 10 – Determinação gráfica da aceleração média.

A norma do vector aceleração média tem um significado muito específico. Permite saber quanto varia o valor da velocidade em cada unidade de tempo. Por exemplo, dizer que o valor da aceleração média de um veículo é 2 m s^{-2} significa que, em média, o valor da velocidade varia 2 m s^{-1} em cada segundo.

A aceleração média não permite conhecer a variação de velocidade em cada instante. A aceleração, por vezes também designada aceleração instantânea $\vec{a}$, já possibilita essa informação.

Define-se então a aceleração como sendo:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \vec{a}_{\text{med}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} \quad (16)$$

Este limite, que representa a taxa de variação temporal da velocidade, corresponde à derivada da velocidade em relação ao tempo.

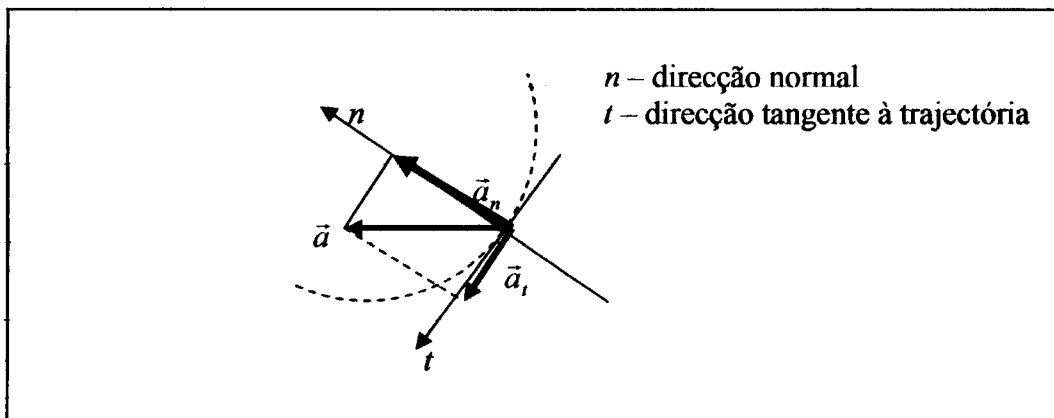
$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (17)$$

Qual a direcção da aceleração?

Tabela 6 – Direcção da aceleração

Nos movimentos rectilíneos:	É tangente à trajectória, porque a velocidade só varia em módulo (além de poder variar em sentido).
Nos movimentos curvilíneos:	Aponta para a concavidade da trajectória, porque a velocidade varia em direcção (além de poder variar em sentido e módulo).

Se a partícula tem uma trajectória curvilínea conhecida, podemos associar um sistema de eixos que se mova solidário com a partícula. Sendo a trajectória não rectilínea, então, o sistema de eixos que lhe está associado terá os eixos apontando em direcções variáveis no tempo. Um desses eixos terá, em cada instante, a direcção radial e o outro terá a direcção da tangente à trajectória em cada ponto.

**Figura 11** – Componentes do vector aceleração

Assim, será mais conveniente trabalhar, nos movimentos curvilíneos a duas direcções, no sistema de coordenadas solidário com a partícula, pois assim, em cada instante, a aceleração poderá ser dividida em duas componentes: a componente na direcção radial, designada componente normal ou centrípeta da aceleração ($\vec{a}_n$) e a componente na direcção tangente à trajectória, designada componente tangencial da aceleração $\vec{a}_t$.

Através do esquema da figura 11, podemos escrever:

$$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n \quad (18)$$

Tomando em conta os versores na direcção normal e tangencial, a equação anterior pode tomar a forma:

$$\vec{a} = a_t \vec{e}_t + a_n \vec{e}_n \quad (19)$$

Verifica-se que:

$\vec{a}_n$ - está relacionada com a variação da direcção da velocidade, ou seja, esta componente da aceleração existe apenas quando a velocidade varia em direcção. O seu valor é tanto maior quanto mais rapidamente a velocidade variar em direcção.

$\vec{a}_t$ - está relacionada com a variação da norma da velocidade, ou seja, esta componente da aceleração existe sempre que o valor da velocidade não for constante. O seu valor será tanto maior quanto mais rapidamente variar o valor da velocidade.

Dado que a velocidade é, em cada instante, tangente à trajectória, podemos escrever a sua expressão vectorial recorrendo ao versor na direcção tangente ($\vec{e}_t$).

Assim,

$$\vec{v} = v(t) \vec{e}_t \quad (v(t) - \text{módulo da velocidade, dependente do tempo})$$

Atendendo a que $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$, podemos escrever:

$$\vec{a} = \frac{dv\vec{e}_t}{dt} \Leftrightarrow \vec{a} = \frac{dv}{dt} \vec{e}_t + v \frac{d\vec{e}_t}{dt} \quad (20)$$

A derivada em ordem ao tempo do versor $\vec{e}_t$ pode ser deduzida em função da norma da velocidade (v), do raio de curvatura da trajectória (R) e do versor $\vec{e}_t$. A relação encontrada é:

$$\frac{d(\vec{e}_t)}{dt} = \frac{v}{R} \vec{e}_n \quad (21)$$

Substituindo na equação (20) na equação (21), obtém-se:

$$\vec{a} = \frac{dv}{dt} \vec{e}_t + \frac{v^2}{R} \vec{e}_n \quad (22)$$

Comparando a equação anterior com a equação (19), podemos escrever:

$$a_t = \frac{dv}{dt} \quad \text{e} \quad a_n = \frac{v^2}{R} \quad (23)$$

As duas equações anteriores permitem-nos calcular os valores da componente tangencial e da componente normal ou centrípeta da aceleração.

Na tabela 7 relaciona-se o tipo de movimento de uma partícula possui com as componentes da aceleração.

Tabela 7 – Relação entre o tipo de movimento e as componentes da aceleração

Movimento Rectilíneo e Uniforme	$\vec{a}_n = \vec{0}$ e $\vec{a}_t = \vec{0}$
Movimento Curvilíneo e Uniforme	$\vec{a}_n \neq \vec{0}$ e $\vec{a}_t = \vec{0}$
Movimento Rectilíneo e Variado	$\vec{a}_n = \vec{0}$ e $\vec{a}_t \neq \vec{0}$
Movimento Curvilíneo e Variado	$\vec{a}_n \neq \vec{0}$ e $\vec{a}_t \neq \vec{0}$

Atendendo ao sentido dos vectores velocidade e aceleração tangencial, é possível concluir se o movimento é acelerado ou retardado. Na tabela 8 analisa-se essa classificação com base no sentido das grandezas referidas.

Tabela 8 – Relação entre o sentido da velocidade e da componente tangencial da aceleração

Movimento acelerado	$\vec{a}_t$ e $\vec{v}$ têm o mesmo sentido
Movimento retardado	$\vec{a}_t$ e $\vec{v}$ têm sentido opostos

Em termos mais gerais, a caracterização do movimento pode ser feita pelo produto interno entre a aceleração $\vec{a}(t)$ e a velocidade $\vec{v}(t)$:

$$\vec{a}(t) \cdot \vec{v}(t) > 0 \rightarrow \text{movimento acelerado}$$

$$\vec{a}(t) \cdot \vec{v}(t) < 0 \rightarrow \text{movimento retardado}$$

$$\vec{a}(t) \cdot \vec{v}(t) = 0 \rightarrow \text{movimento uniforme}$$

4.2.4 – Força

A História da Ciência mostra que a transição da Física de Aristóteles para a Física de Newton não ocorreu pela simples substituição da primeira pela segunda, ou seja, não se passou instantaneamente do “pensamento errado” ao “pensamento correcto”.

Aristóteles considerava que os movimentos ocorriam devido a uma acção violenta, dado que o estado natural dos objectos era o repouso. Assim, um corpo só se manteria em movimento se sofresse a acção constante de um agente externo.

Uma das questões mais controversas da Física de Aristóteles está na “antiperistasis”, que seria um conjunto complexo de movimentos que o ar teria de fazer para manter os projecteis em movimento após serem lançados. Assim, tendo Aristóteles uma visão geocêntrica e estática da Terra, não concebia a possibilidade de

um corpo se manter em movimento sem um agente motor. Esta concepção ficou de algum modo conhecida como *cessante causa cessante effectus*, ou seja, cessada a causa, cessa o efeito.

Apesar de as ideias de Aristóteles terem permanecido aceites durante muito tempo ao longo da história da Física, vários críticos foram criando outros modelos para a causa e para a descrição dos movimentos. Um desses críticos foi Hiparco, que acreditava numa força impressa que passava do agente que a exercia para o corpo receptor e que diminuía enquanto o corpo se deslocava ao longo de um meio dissipativo. Esta descrição está de acordo com um “impetus” interno, que é uma noção que virá a ser redescoberta/reformulada por Philoponus no século VI e por Buridan no século XIV.

Philoponus acreditava que a força impressa era a responsável pelo movimento de todos os corpos que eram lançados, prevalecendo, ainda, a concepção da “cessada a causa, cessa o efeito”, mas agora, é já criada a possibilidade do movimento no vácuo, verificando-se que se não existir meio resistente, a velocidade equivaleria à força utilizada.

Tal como Philoponus, também Buridan retoma a noção do impetus. Buridan, na sequência de outros pensadores, atribuía à noção de força impressa uma qualidade de permanência, defendendo que o impetus deveria conservar-se ao longo do tempo, a menos que fosse corrompido por alguma resistência interna.

Assim, o impetus seria uma força motriz incorporada no corpo, que foi transferida do agente motor para o corpo colocado em movimento. O mesmo pensador utilizava a quantidade de matéria do corpo (com uma concepção semelhante à de massa, na actualidade) e a sua velocidade como meios para determinar a medida do impetus, ou seja, as mesmas grandezas que mais tarde serviram para definir o *momentum* na física newtoniana.

Como consequência desta descrição, o impetus foi considerado como uma internalização da força motriz, que Aristóteles havia considerado como sendo externo ao corpo.

Historicamente, na procura de uma explicação para as causas e para os tipos de movimentos que os corpos podem possuir, surgem, por exemplo, Copérnico, Kepler e Galileu.

Copérnico, conhecido como o autor do modelo heliocêntrico, apresentou uma teoria planetária totalmente nova, dando assim início a uma revolução na astronomia, mas que, de certa forma, se baseia na teoria aristotélica para explicar a rotação da Terra, aceitando que o movimento de rotação do nosso planeta era um movimento

natural e, por esta razão, não podia produzir os mesmos efeitos que os observados nos movimentos de rotação provocados por acções externas.

Kepler, sucessor de Copérnico, além de formular as leis para os movimentos dos planetas, acreditava que estes permaneciam invariavelmente nas suas órbitas porque deveriam existir forças de origem magnética, geradas por um corpo central, o Sol, que empurravam os planetas sobre as suas órbitas.

Galileu Galilei (1564-1642), imbuído nas críticas à física de Aristóteles, dá início à “revolução científica”. Contudo, durante algum tempo descreve ainda algumas situações com uma visão da física anterior à da Idade Média. Por exemplo, durante o seu primeiro cargo na Universidade de Pisa, tentou explicar o “movimento forçado” de um corpo atirado verticalmente para cima. Nessa explicação, adopta a ideia de força residual, que derivava de certa forma de Hiparco, acrescentando-lhe o mecanismo de força incorpórea auto-exaustiva, ou impetus. De acordo com a sua descrição:

- inicialmente, o acto motor compartilha uma força impressa a uma pedra que é lançada verticalmente para cima;
- à medida que a força diminui, o corpo reduz gradualmente a sua velocidade em direcção ao alto, até que a força impressa é contrabalançada pelo peso da pedra e, nesse momento, ela começa a cair, primeiro lentamente, e depois cada vez de forma mais veloz.

Nesta perspectiva, se o corpo caísse de uma grande altura, toda a força impressa desapareceria e, a partir deste momento, o corpo deveria cair com velocidade constante.

Posteriormente, Galileu acabou por abandonar a noção de força impressa auto-exaustiva e passou a explicar a queda acelerada por meio do um impetus que é conservado e acumulado, sendo esta uma explicação um pouco diferente da de Buridan.

Numa primeira fase, no campo da cinemática, Galileu admitiu que a variação de velocidade de um corpo era proporcional ao espaço percorrido. Somente mais tarde, ao fazer uma série de experiências que envolviam planos inclinados, é que Galileu muda a descrição do movimento de queda dos corpos para uma variação de velocidade proporcional ao tempo de queda e de um espaço proporcional ao quadrado dos tempos, havendo aqui um primeiro



Figura 12⁵ – Galileu e o “Diálogo sobre os dois sistemas do Mundo”.

⁵ Figura de afilosofia.no.sapo.pt/MARCOS.htm

reconhecimento da grandeza física aceleração, acabando esta por contribuir para o lançamento do conceito newtoniano de força.

No livro “*Diálogo sobre os Dois Sistemas do Mundos: O Ptolemaico e o Copernicano*”, Galileu formulou uma primeira versão do *Princípio da Inércia* no contexto da discussão sobre a origem da queda dos corpos. Nesse livro, as discussões acontecem entre três personagens: um, que representa Galileu (Salviati); outro, que representa o pensamento comum arraigado (Simplicio); por último, o leigo, mas inteligente, (Sagredo)⁶. Entre eles discutem o movimento de uma “bola perfeitamente esférica feita de um material pesado” que desce uma superfície plana e lisa. De acordo com Ernest Mach, citado por Baptista (2000), Galileu deduziu, por continuidade, que o corpo, após a descida do plano inclinado se moverá eternamente, em linha recta, com velocidade constante, desde que a resultante das forças que actua no corpo seja nula. (Figuras 13A e B.)

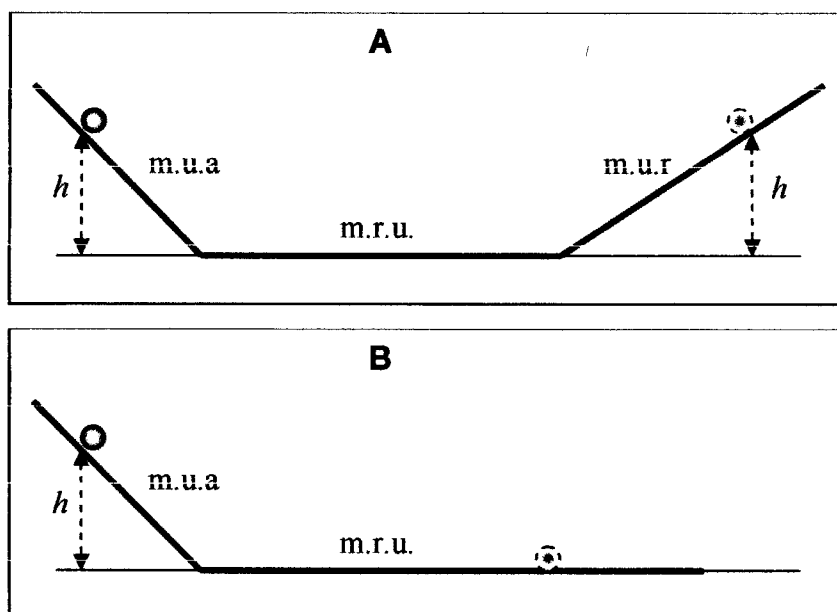


Figura 13 – Experiência pensada de Galileu.

A – Uma esfera, abandonada de uma dada posição de um plano inclinado, tende a subir até à altura primitiva no plano inclinado que sobe, quaisquer que sejam as inclinações dos dois planos, aproximando-se tanto mais da altura inicial quanto melhor for eliminado o atrito.

B – Se imaginarmos a ausência de atrito entre a esfera e a superfície e suprimirmos o 2.º plano inclinado, a esfera terá na horizontal movimento “eterno” ou interminável.

⁶ Esse diálogo pode ser encontrado nos anexos.

Esta experiência de Galileu, totalmente oposta à ideia aristotélica dos movimentos violentos, viria a tornar-se fundamental a Newton na definição da lei da inércia.

Na continuação da procura de um modelo explicativo do movimento dos corpos, surge então Descartes. Este foi outro cientista importante na busca de um conceito unificador que permitisse explicar o porquê da existência de movimento. Inventou o conceito de quantidade de movimento, sendo para si a noção de “força” dada pelo produto da massa pela velocidade (Neves, 2000). Por outro lado, tenta substituir o conceito de força pela sua “teoria dos vórtices”. Nesta teoria, ele assume que todo o universo é preenchido com matéria a qual, devido a algum movimento inicial, accionou um sistema de vórtices que transporta as estrelas e os planetas nas suas órbitas.

Apesar de todas as falhas na teoria dos vórtices, o modelo de Descartes foi aceite ainda vários anos, tendo sido Newton a provar a sua fragilidade na explicação dos fenómenos físicos.

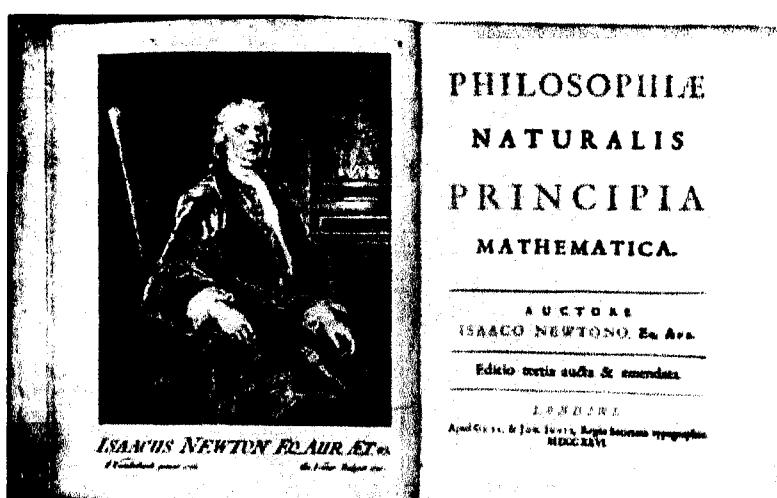


Figura 14⁷ – Isaac Newton e o livro *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*.

Isaac Newton (1643-1727), no livro *Principia*, enumera uma série de definições que virão a ser necessárias ao enunciado das suas leis. Algumas dessas definições são:

Definição III – “*A vis insita ou força inata da matéria, é um poder de resistir, através do qual todo o corpo, estando num determinado estado, mantém esse estado, seja ele de repouso ou de movimento uniforme em linha recta*”. Newton esclarece que “*essa força inata pode ser chamada, mais significativamente, de inércia (vis inertiae) ou força de inactividade. Mas um corpo só exerce essa força quando outra força, impressa sobre ele, procura mudar de condição; e o exercício dessa força pode ser considerado tanto como resistência quanto como*

⁷ Imagem obtida em www.on.br

impulso; resistência na medida em que o corpo, não cedendo facilmente à força impressa por um outro, esforça-se para mudar o estado deste outro corpo. Resistência é normalmente atribuída a corpos em repouso, e impulso àqueles em movimento; mas movimento e repouso, como vulgarmente concebidos, diferem apenas relativamente um ao outro; nem esses corpos estão sempre verdadeiramente em repouso, como vulgarmente são considerados.”

Definição IV – *“Uma força impressa é uma acção exercida sobre um corpo a fim de alterar o seu estado, seja de repouso, ou de movimento uniforme em linha recta.”* Newton clarifica que *“essa força consiste na acção, e não permanece no corpo quando termina a acção. Pois um corpo mantém todo o novo estado que ele adquire, somente por sua inércia. Mas as forças impressas têm origens diferentes, tais como de percussão, de pressão e de força centrípeta.”*

Definição V – *“Uma força centrípeta é aquela pela qual os corpos são dirigidos ou impelidos, ou tendem de qualquer maneira, para um ponto como centro.”* Newton explica que *“são forças desse tipo: a gravidade, pelo qual os corpos tendem para o centro da Terra; o magnetismo ...”*

Após as definições, Newton estabelece as suas famosas leis para o movimento dos corpos:

Lei I – *“Todo o corpo continua no seu estado de repouso ou de movimento uniforme em linha recta, a menos que ele seja forçado a mudar aquele estado por forças impressas sobre ele.”*

Lei II – *“A mudança de movimento é proporcional à força motora impressa e é produzida na direcção da linha recta na qual a força é impressa.”*

Lei III – *“A toda a acção há sempre oposta uma reacção igual, ou, as acções mútuas de dois corpos, um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas a partes opostas.”*

Como podemos ver, nem da leitura das definições nem da análise das três leis, se deduz explicitamente a famosa expressão $F = m.a$. Aliás, naquela época, o conceito de densidade era muito mais popular que o conceito de massa, sendo esta definida pelo produto da densidade pelo volume dos corpos.

Jammer (1979), citado por Neves (2000), escreve: “Uma vez que Newton distingue claramente entre definições e leis do movimento, é óbvio que a segunda lei do movimento não era entendida por ele como uma decorrência de uma definição de força, mesmo se é isso que vem sendo interpretado pelos actuais estudiosos da fundação da mecânica. E não se trata tanto do simples enunciado de um método para a medida das forças; segundo Newton, a força era um conceito à priori, intuitivamente, e em última análise, em analogia à força muscular. A Definição IV não pode, portanto, ser interpretada como se se tratasse de uma definição nominal, mas, sobretudo, como

uma asserção sintética da propriedade característica das forças de determinadas acelerações.”

Na verdade, analisando a Lei II, que diz que “a mudança de movimento de um corpo é proporcional à força motora impressa e é produzida na direcção da linha recta na qual a força é impressa”, terá que ser expressa pela expressão $F = m \cdot \Delta v$ e não pelas expressões que habitualmente vemos: $F = m \cdot a$ ou $F = \frac{d(m \cdot v)}{dt}$. Newton

enunciou esta lei com base nos estudos que realizou sobre choques, considerando que na colisão o intervalo de tempo em que esta ocorre se aproxima de zero, pelo que no limite, haveria uma aproximação entre as relações $F = m \cdot \Delta v$ e $F = m \cdot a$.

A actual expressão da 2.ª Lei de Newton foi descrita pela primeira vez em 1747 por Euler, tendo este observado que para todos os sistemas discretos, as equações do movimento são da forma:

$$m_k \cdot \ddot{x}_k = F_k \quad (24)$$

onde F_k é a força que actua sobre o k-ésimo corpo e $\ddot{x}_k$ a segunda derivada temporal da posição dos corpos.

Actualmente damos uma formulação ligeiramente diferente à 2.ª Lei de Newton:

Seja m a massa de um corpo e $\vec{v}$ a sua velocidade. Assim, a seu momento linear ou quantidade de movimento $\vec{p}$ é dado pelo produto da massa pela velocidade, cuja expressão matemática é:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v} \quad (25)$$

Com base neste conceito, podemos definir a Lei fundamental do movimento (2.ª Lei de Newton) da seguinte forma: “a taxa de variação temporal do momento linear (ou quantidade de movimento) de uma partícula é igual à força exterior que actua na partícula”, ou seja,

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (26)$$

Usando a equação 25, temos assim que:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \Leftrightarrow \vec{F} = \frac{d(m \cdot \vec{v})}{dt} \Leftrightarrow \vec{F} = \frac{dm}{dt} \vec{v} + m \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Se a massa da partícula é constante, o que acontece com a quase totalidade de partículas, dado que se movem com velocidades relativamente baixas quando

comparadas com a velocidade da luz no vácuo⁸, podemos dar uma forma mais geral a esta lei, ou seja,

$$\Leftrightarrow \vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt}, \text{ já que } \frac{dm}{dt} = 0$$

Uma vez que $\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{a}$, a equação anterior pode tomar a forma:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad (27)$$

Esta equação é uma forma restrita da 2.ª Lei de Newton, dado que só é válida para partículas de massa invariável (ou sistemas de partículas).

Que informações podem ser tiradas da análise da equação (27)?

- Aplicando forças de igual intensidade, durante o mesmo intervalo de tempo, a partículas de massa diferente, ser-lhes-á comunicada uma aceleração diferente, embora a variação de momento linear seja sempre constante (isto, aliás, estabelece a diferença entre impulso e trabalho de uma força!). Assim, quanto menor for a massa de uma partícula maior será a variação de velocidade que sofrerá, em cada unidade de tempo, ou seja, maior será o valor da aceleração adquirida;

- Aplicando forças de diferente intensidade a partículas de igual massa, a que sofrerá maior variação do valor da velocidade em cada unidade de tempo será aquela que for submetida à força mais intensa, ou seja, para uma mesma partícula, quanto maior for a intensidade da força aplicada maior será a aceleração adquirida.

Mas o que traduz ou representa a entidade “força”?

Por exemplo, quando o pé de um jogador entra em contacto com uma bola que está em repouso, traduzimos a interacção pé-bola afirmando que o pé exerceu uma força na bola (e reciprocamente, a bola exerceu uma força no pé). Assim, a força exercida na bola é igual à taxa de variação temporal do momento linear (ou quantidade de movimento) que a bola sofre durante o contacto pé-bola.



Figura 15 – Ao chutar há uma interacção entre o pé e a bola. Essa interacção traduz-se por uma força.

Se a bola do exemplo anterior, ou qualquer outra partícula for actuada simultaneamente por várias forças, isto é, se for submetida a várias interacções, dizemos que está a ser actuada por um sistema de forças. À soma vectorial do

⁸ Este assunto será discutido mais adiante.

sistema de forças que actua em simultâneo, chama-se resultante do sistema de forças, e pode, também, representar-se por pelo símbolo $\vec{F}$.

Sejam, então, $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$, ..., as forças que actuam simultaneamente numa partícula de massa m . A resultante das forças que actuam na partícula será dada por:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots$$

Assim, nesta situação, a 2.ª lei de Newton (para sistemas de massa constante) pode tomar a seguinte forma:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots = m \cdot \vec{a} \quad (28)$$

que nos indica que a partícula irá adquirir uma aceleração $\vec{a}$.

Dado que habitualmente os alunos do ensino secundário e mesmo os do ensino superior têm dificuldades na utilização das Leis de Newton no estudo do movimento de partículas, mencionaremos, adaptados do Manual de Física – Mecânica 12.º ano (Silva e Valadares, 1990), alguns procedimentos que deverão ser tomados em consideração na análise problemática de tais situações. Assim, uma das metodologias poderá ser:

- identificar a partícula em estudo;
- identificar a vizinhança da partícula, isto é, o conjunto de corpos (planos inclinados, fios, molas elásticas, Terra, mesa, etc.) que interactivam com a partícula;
- identificar todas as forças que a vizinhança exerce sobre a partícula;
- traduzir cada uma dessas interacções por uma força, que deverá ser representada com direcção e sentido bem definido. Deverá, também, haver preocupação com o tamanho relativo das forças aplicadas;
- escolher um referencial adequado à situação física descrita. Se se tratar de um movimento rectilíneo, utiliza-se vulgarmente um referencial cartesiano (O,x,y,z), sendo na globalidade dos casos estudados um referencial a duas ou a três dimensões. Em situações em que a trajectória é curvilínea, poder-se-á escolher um referencial com dois eixos dirigidos, respectivamente, segundo a tangente à trajectória e segundo a normal;
- aplicar a lei fundamental $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$, escrevendo-a nas correspondentes equações escalares;
- relacionar as equações escalares em cada direcção com o valor da aceleração nessa mesma direcção. Por exemplo:

$$F_x = m.a_x \quad F_y = m.a_y \quad F_z = m.a_z$$

Aqui é de realçar a importância da construção de “diagramas de corpo-livre”, para a interpretação do efeito das forças e dos movimentos dos corpos.

De acordo com Puri (1996), no artigo *The art free-body diagrams*, a iconografia de um diagrama de forças – não apenas como se desenha mas também como deve ser interpretado – depende crucialmente do modelo escolhido para o corpo. Este, pode ser de três tipos:

- i) *partícula* – este modelo pode ser usado quando não existem efeitos de rotação ou quando não tem interesse considerá-los, apesar do corpo ser extenso;
- ii) *corpo extenso rígido* – não tem interesse para a representação nem tensões nem torções, mas apenas os efeitos de translação e de rotação. O vector que representa uma força deve encontrar-se sobre a linha de acção da mesma, mas é irrelevante o ponto de aplicação. Uma força num corpo extenso rígido é um vector deslizante.
- iii) *corpo extenso não rígido* – o ponto de aplicação de uma força torna-se crucial e deve ser indicado no diagrama. Uma força num corpo extenso não-rígido é um vector aplicado.

Analise as duas situações contidas no artigo referido, recorrendo ao diagrama de corpo-livre e que mostram as implicações do modelo de corpo considerado na representação de forças que nele actuam:

1º Exemplo: corpo rígido de massa m em queda livre num campo gravítico uniforme.

Nesta situação podemos reduzir o corpo a uma partícula. Basta recorrer a um vector para representar a força gravítica, apesar de a atracção gravitacional ser exercida sobre cada um dos corpúsculos que constitui o corpo. O vector deve situar-se sobre a linha que passa sobre o centro de gravidade, ou seja, o ponto relativamente ao qual a soma dos momentos das forças individuais que actuam nas diferentes partes do corpo é nula. Nesta situação, o ponto de aplicação não é definido, dado que pode ser em qualquer ponto sobre a referida recta (Figura 16).

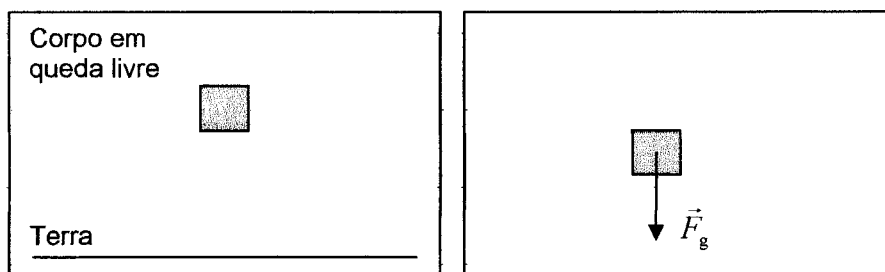


Figura 16A e B – Representação da força gravítica a que está sujeito um corpo rígido num campo gravítico uniforme.

2.º Exemplo: corpo rígido em repouso sobre um plano inclinado, de atrito não desprezável. Nesta situação as forças que actuam no corpo são (Figura 17):

$\vec{N}$ - Força normal que o plano exerce sobre o corpo;

$\vec{F}_g$ - Força gravítica da Terra sobre o corpo;

$\vec{F}_a$ - Força de atrito do plano sobre o corpo.

Para que o corpo não possua movimento de translação nem movimento de rotação, isto é, não tenha tendência a deslizar nem a rodar em torno da aresta mais próxima da base do plano inclinado, é necessário que a resultante das forças seja nula e o momento resultante também seja nulo. Assim, a força normal ao plano inclinado não pode passar pelo centro de massa do corpo. Para as condições do problema, pode-se mostrar que a sua linha de acção deverá passar pelo ponto em que a linha de acção da força gravítica corta a linha de contacto entre o corpo e superfície do plano (Silva, 2000).

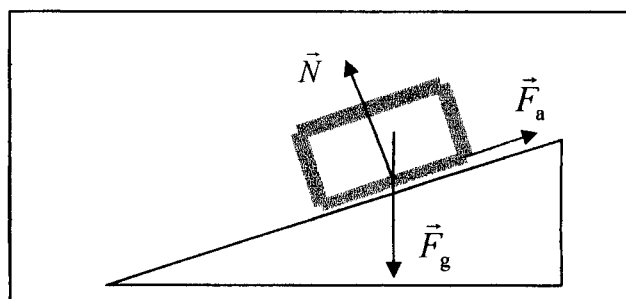


Figura 17 – Representação das forças que actuam no bloco em repouso sobre um plano inclinado. A linha de acção da força normal não pode coincidir com a normal ao plano que passa pelo centro de gravidade.

De referir que, no livro “Preparação de professores de Física – Uma contribuição científico-pedagógica e didáctica” (Almeida, 2004), a autora faz uma síntese de algumas das principais dificuldades na aprendizagem e aplicação do conceito de força, assim como as causas dessas mesmas dificuldades. Em particular, a autora refere que os alunos só poderão compreender os conceitos associados às Leis de Newton se, por exemplo:

- entenderem o conceito de força como interacção, algo que actua sobre um corpo mas é provocado por um **agente exterior** ao corpo cujo movimento se está a estudar. Este entendimento é dificultado pelo facto de na linguagem corrente se falar frequentemente em “forças dos corpos”, como, por exemplo, “a força do vento”, “a força da raquete de ténis”, etc.;

- perceberem que não são apenas os seres vivos ou os corpos em movimento que conseguem exercer forças.;
- entenderem que um corpo em repouso pode estar sujeito a forças não nulas, isto é, entenderem que as forças são grandezas vectoriais, podendo anular-se **os efeitos** de duas ou mais forças que actuam sobre um corpo, o que não significa que elas não existam ou deixem de existir;
- entenderem que um corpo pode estar em movimento sem que qualquer força actue sobre ele, ou se a resultantes das forças que actuam nele for nula;
- entenderem que existem forças impulsivas, isto é, forças que apenas actuam durante determinados intervalos de tempo muito breves (por exemplo, durante as colisões).

Assim, podemos concluir que leccionar o conceito de “força” requer que cada um de nós tenha bem presentes, as dificuldades que os alunos sentem na abordagem dos assuntos relacionados com este conceito.

Em jeito de comentário ...

... no 9.º ano, assim como no três anos do Ensino Secundário, os alunos têm grande dificuldade em compreender que a “força resultante” é o “resultado” das várias forças que actuam numa partícula. Quando lhes é pedido para representarem as forças que actuam sobre um objecto, muitas vezes interrogam-se se também têm de representar a “força resultante”, dado que admitem que esta é mais uma força que actua na partícula.

A origem desta concepção errada talvez esteja no facto de a nível do 3.º Ciclo e, por vezes também a nível do Secundário, se reduzir a situação física a um sistema de forças em que apenas a “força aplicada” contribui para a resultante das forças. Nessas situações, se a situação não for suficientemente discutida e trabalhada, poder-se-á estar a criar no aluno a concepção de que em todas as situações a resultante das forças coincide com a força aplicada.

Parece-nos que uma forma de evitar que este tipo de situação ocorra, consiste em, desde o primeiro momento em que se abordam situações onde actuam mais do que uma força, se denominar a sua soma como **resultante do sistema de forças** e não como força resultante. Assim, na representação do diagrama de corpo-livre, deverão ser representadas todas as forças aplicadas ao corpo. Contudo, quando se

efectuar a soma vectorial das forças e estas forem substituídas pela resultante do sistema de forças, então só esta deverá ser representada a actuar no corpo.

4.2.5 – Massa e peso

4.2.5.1 – Massa

Espaço, tempo, massa e força, são as quatro principais grandezas físicas utilizadas por Isaac Newton para a construção de toda a Mecânica.

Mas o que representa a massa de um corpo?

Actualmente, ao nível da física clássica, a massa pode ser interpretada de três aspectos distintos:

- quantidade de matéria (*quantitas materiae*) de um corpo, cujo valor é medido por uma balança (definição operacional);
- massa inercial, isto é, medida da inércia de um corpo (associada às alterações do estado de repouso ou de movimento do corpo);
- massa gravitacional, isto é, medida da “acção geradora” de campo gravítico ou que está sujeita a um campo gravítico.

As diferentes interpretações do conceito de massa, que se completam, resultam de um longo percurso através da história da ciência.

Na verdade, o conceito em estudo é daqueles que mais sofreu evolução ao longo dos tempos e que continua a ser reformulado, ou seja, a sofrer novas interpretações e acrescentos de acordo com as diferentes áreas em que é estudado.

Analisando em termos históricos podemos dizer que, na Antiguidade, não tinha ainda sido criado o conceito de massa. Contudo, Lucrécio (96 a.C. - 55 a.C.) já se interrogava “por que razão algumas coisas pesam mais do que outras com o mesmo volume? Se existe tanta matéria numa bola de lã como numa de bola de chumbo, era natural que pesassem o mesmo.” Nesta época falava-se em peso como propriedade, mas este não era conservado e a matéria tinha inércia como consequência da sua extensão.

Na Idade Média, começou a surgir a grandeza massa como medida da quantidade de matéria, (*quantitas materiae*), que se conservava. Buridan (sec XIV) admite que há proporcionalidade entre a quantidade de matéria do corpo e o impetus. Galileu, por seu lado, introduz a noção de inércia. Já Kepler (séc. XVII) associa peso e

inércia e considera, também, que esta é proporcional à quantidade de matéria do corpo.

Newton fala indirectamente da massa, à custa da densidade e do volume dos corpos, admitindo que é uma medida da quantidade de matéria (*quantitas materiae*). Por outro lado, considera que a *quantitas materiae* é proporcional ao peso e à *vis inertiae* (quantidade dada por $m.v^2$). Kant (1758) mostra o carácter supérfluo da *vis inertiae* e propõe a sua eliminação, abrindo caminho a um conceito mais claro de massa. Bernoulli, séc. XVIII, define, pela primeira vez o peso de um corpo



Figura 18 – Balança de dois pratos.

pelo produto da massa pela aceleração da queda (aceleração gravítica). Já Euler, em 1736, defende que a massa não pode ser medida através do volume e define-a como a razão entre a força impressa e a aceleração adquirida pelo corpo. Lavoisier (1789) mostra que a conservação da massa também se aplica às reacções químicas. Em 1867, Ernst Mach sugere uma nova definição de massa inercial, não partindo este da noção de força. Considerava que a massa devia ser um conceito relativo em física, dado que apenas cocientes entre massas deviam ser importantes na explicação dos fenómenos (Assis, 1998). Heinrich Hertz, em 1894, define operacionalmente a massa como o número de partículas materiais que constitui o corpo, podendo ser obtida por pesagem numa balança.

No final do século XIX começa a considerar-se a massa como portadora de fenómenos gravitacionais, ou seja, como fluxo de força gravitacional. Mas, ainda se continuava à procura de uma definição para a massa. Gonot (1905) afirmava que dois corpos têm igual massa se, colocados numa balança perfeita de dois pratos, no vácuo, se equilibravam mutuamente. Para ele, a massa determina-se com uma balança, por comparação de forças gravíticas resultantes da atracção dos corpos pela Terra. Esta massa é designada por massa gravitacional passiva ou estática.

Mas em que diferem a massa inercial da massa gravitacional?

Genericamente, podemos dizer que a massa inercial é a massa que determina a aceleração que um corpo adquire quando sujeito à acção de uma força, ou seja, quanto maior for a massa do corpo (massa inercial) menor será a variação de

velocidade que sofrerá em cada unidade de tempo. Por outro lado, a massa gravítica ou gravitacional é a massa que determina a força gravítica existente entre um corpo e outros corpos. Por exemplo, consideremos a interacção gravítica entre a Terra e dois corpos que se encontram à sua superfície no mesmo local. O corpo que tiver maior massa gravitacional é o que ficará submetido a uma maior força gravítica.

Mário Silva, no livro *Lições de Física - vol. I*, Livraria Almeida, refere que “devemos salientar o carácter experimental de uma tal identificação [massa inercial e massa gravitacional]. A sua razão profunda, teórica, é inexplicável no domínio da mecânica newtoniana. A Mecânica Clássica aceitou como um facto da experiência a identidade das duas massas mas nunca pôde explicá-lo. A explicação só apareceu com Einstein no desenvolvimento da sua teoria da relatividade”.

Mas as massas gravitacional e inercial de um corpo terão igual valor?

O conceito de massa inercial pode ser introduzido partindo da Lei Fundamental da Dinâmica: $F = m(i).a$, sendo esta massa a inercial. Mas esse mesmo corpo interage gravitacionalmente com outros. Consideremos então a sua interacção com a Terra. De acordo com a Lei da Gravitação Universal,

$$F_g = G \cdot \frac{M(g).m(g)}{R^2} \quad (29)$$

As grandezas $M(g)$ e $m(g)$ são as massas gravitacionais dos corpos que estão a interagir gravitacionalmente e R é a distância entre os corpos. Se a força gravitacional for a única força a que o corpo está submetido, então:

$$\begin{aligned} F' &= F_g \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow m(i).a &= G \cdot \frac{m(g).M(g)}{R^2} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow a &= \frac{m(g)}{m(i)} \times \frac{G.M(g)}{R^2} \end{aligned} \quad (30)$$

De acordo com Galileu, todos os corpos localizados à mesma distância, R , de $M(g)$ têm a mesma aceleração. Isto implica que $m(g)/m(i)$ deve ser uma constante universal. Assim, pode-se assumir que $m(g) = m(i)$. De notar que este resultado foi deduzido tendo por base determinações experimentais. Na realidade, desde Newton que têm sido realizadas experiências com a finalidade de verificar até que ponto as “duas massas” são exactamente iguais. Por exemplo, o físico húngaro Lorand von

Eötvös, há cerca de 100 anos, usando técnicas bastante sofisticadas ao estudar os desvios de um fio de prumo, mostrou que a igualdade das massas era válida dentro de uma precisão de 1 por 10^9 . Mais recentemente, Dicke (1969) usou técnicas ainda mais refinadas para mostrar que a igualdade das massas é válida com uma precisão de uma parte em 10^{11} (Cattani, 1997; Serway, citando Will, 1992).

Ao nível da mecânica newtoniana não há qualquer explicação para esta coincidência de valores. A validade do mundo físico mostra que existe essa igualdade, dado que se não fosse verdade, no vácuo, dois corpos abandonados da mesma altura chegariam ao solo em tempos diferentes, ou seja, teriam de possuir diferentes acelerações. Esta igualdade das massas é, por vezes, designada de Princípio de Equivalência de Newton.

Com base neste Princípio, podemos concluir que um sistema que está estacionário num campo gravitacional uniforme de intensidade $\vec{g}$ é, do ponto de vista físico, equivalente a um sistema que se encontre numa região livre de campo gravítico mas que está submetido a uma aceleração $\vec{a} = -\vec{g}$. Este facto corresponde a dizer que ao realizar experiências nos sistemas referidos, é impossível distinguir entre os efeitos de uma aceleração uniforme e um campo gravítico uniforme.

De acordo com Castellani (2001), em 1905, Albert Einstein, durante a preparação de um artigo sobre a teoria da relatividade restrita, interrogou-se sobre que alterações deveriam ser introduzidas na Teoria da Gravitação de Newton de modo a que estas leis se ajustassem à Relatividade Restrita. Nesse sentido, e de acordo com o mesmo autor, as suas conclusões foram assim relatadas “esta lei ... da igualdade da massa inercial e da massa gravitacional foi então percebida por mim com todo o significado. Fiquei abismado com a sua existência e conjecturei que ela deveria conter a chave para uma compreensão mais profunda da inércia e da gravitação.”

Em 1916, Einstein publica a sua teoria da gravitação (Teoria da Relatividade Geral) e uma das suas bases é exactamente a igualdade da massa inercial e da massa gravitacional, que se encontra subjacente ao Princípio da Equivalência:

“Num pequeno laboratório em queda livre num campo gravitacional, as leis da física são as mesmas que num referencial inercial na ausência de campo gravitacional. “

O exemplo que Einstein deu para explicar este princípio baseava-se no movimento de um elevador, o “elevador de Einstein”. Este exemplo consiste em:

- considerar a senhora no interior de um elevador sem ter conhecimento do que ocorre no exterior;

- o elevador é levado para o espaço sideral, longe da influência de qualquer campo gravitacional;
- a senhora “flutuará” no interior da nave já que não está submetido a qualquer atracção gravítica;
- se deixar cair uma bola, ela permanecerá no mesmo lugar em que foi largada, pois também não está sujeita a qualquer força gravítica;
- agora, o elevador é deixado cair livremente num campo gravitacional. Assim, o elevador e a senhora caem juntos, não havendo movimento relativo da senhora em relação às paredes do elevador, dando a sensação de que está “flutuar”;
- se a senhora deixar cair a bola, esta continuará na mesma posição em relação à senhora, dado que caem juntos;
- assim, para a senhora, ao fazer os testes com a bola, verifica que ela se comporta de igual modo nas duas situações.

Uma outra versão do Princípio da Equivalência pode ser:

“Um referencial acelerado é idêntico a um referencial em repouso num campo gravitacional.”

Novamente, para entender o significado desta nova formulação, recorreremos ao “elevador”. Figuras⁹ 19 e 20.



Figura 19 – À superfície da Terra, quando o “elevador” está em repouso, a bola cai com uma aceleração de $9,8 \text{ m s}^{-2}$.

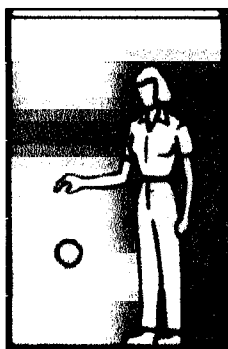


Figura 20 – O “elevador” é levado para o espaço sideral com aceleração $9,8 \text{ m s}^{-2}$. Quando a senhora larga a bola, esta “cai” com uma aceleração de módulo $9,8 \text{ m s}^{-2}$.

Analisemos, então, a descrição que se segue:

- a mesma senhora encontra-se no interior do elevador à superfície de um planeta;

⁹ Figuras adaptadas do sítio: zebu.uoregon.edu/~imamura/208/mar8/travel.html

- deixa cair uma bola e verifica que ele cai com uma aceleração de valor g (aceleração gravítica);
- ela própria sente a acção do campo gravítico, já que os seus pés pressionam o chão do elevador;
- o elevador é transportado para o espaço sideral, com uma aceleração de valor igual a g ;
- esta aceleração é transmitida à senhora em sentido oposto ao do elevador;
- a senhora sente essa aceleração já que os seus pés pressionam mais intensamente o chão do elevador;
- a senhora solta a bola e ela atinge o chão do elevador com aceleração de valor g ;
- assim, tudo se passa como se ela estivesse num campo gravitacional, ou seja, a senhora não consegue distinguir um referencial acelerado de um referencial inercial num campo gravitacional.

Verificou-se deste modo que a gravitação e a inércia são, provavelmente, duas expressões para a mesma coisa. Assim, a natureza da massa dependerá do ponto de vista do observador, vindo daí a igualdade da massa gravitacional e da massa inercial.

Como é que isto se explica?

Consideremos, novamente, a segunda experiência, isto é, quando o elevador se encontra acelerado para cima no espaço sideral com aceleração de valor g . Quando a senhora solta a bola, verifica que esta atinge o chão com aceleração de valor g , podendo concluir que está num campo gravitacional e que uma força actuou na bola fazendo com que ela entrasse em movimento. Assim, para ela, a massa da bola é uma massa gravitacional. Mas um observador externo ao elevador, ao observar o movimento do elevador, verificará que a aceleração g da bola é devida à aceleração adquirida pelo elevador quando submetido à acção de uma força F . Então, para o observador externo, a massa da bola é uma massa inercial.

Na verdade, ambos estão correctos, dado que a descrição do movimento da bola depende do ponto de vista do observador. Assim, as leis físicas devem ser as mesmas em qualquer referencial, não havendo um referencial privilegiado.

Na tabela 9 encontra-se uma síntese comparativa de algumas características da massa inercial e da massa gravitacional.

Tabela 9 Síntese comparativa da massa inercial e massa gravitacional.

Comparação entre massa inercial e massa gravitacional	Massa inercial de um corpo (m_i)	Massa gravitacional de um corpo (m_g)
Noção da grandeza	É uma grandeza cujo valor mede a inércia do corpo.	É uma grandeza cujo valor é proporcional à força gravitacional com que o corpo é atraído por outro.
Medição da grandeza	Mede-se com o corpo em movimento sob a acção de uma força conhecida, relacionando a intensidade dessa força com o valor da aceleração adquirida pelo corpo.	Mede-se com o corpo em repouso sobre uma balança.
Relação entre a grandeza e a sua influência no movimento	À maior massa inercial corresponde maior força, para os corpos adquirirem a mesma aceleração.	À maior massa gravitacional corresponde maior força gravitacional, para os corpos adquirirem a mesma aceleração.
Definição matemática a partir da equação definição	$F = m(i).a$	$F_g = G \frac{m(g).M(g)}{d^2}$

Que outras implicações traz a Teoria da Relatividade ao conceito de massa?

Em termos clássicos, o momento linear de uma partícula de massa m e velocidade $\vec{v}$ é dado por $\vec{p} = m.\vec{v}$.

O momento linear relativístico, $\vec{p}$, deverá obedecer às seguintes condições:

- deve ser conservado em todas as colisões;
- deve aproximar-se do valor clássico quando o valor da velocidade tender para zero.

Assim, a equação que está de acordo com estas duas condições é dada por:

$$\vec{p} = \gamma m \vec{v} \tag{31}$$

na qual

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \tag{32}$$

é, actualmente, denominado “factor de Lorentz”. De acordo com Pais (1995), citado por Ostermann (2004), a equação (31) foi obtida, pela primeira vez, por Max Planck num artigo de 1906, a partir da análise teórica da acção de um campo electromagnético sobre uma partícula carregada. Refere, ainda, que ao contrário da interpretação feita por alguns investigadores, nem Planck nem Einstein propuseram a

noção de massa relativista, preferindo simplesmente interpretar o factor de Lorentz como uma correcção relativista à expressão newtoniana do momento linear de uma partícula.

Na verdade, alguns autores¹⁰ têm re-interpretado a equação 31 como o produto da velocidade $\vec{v}$ pela massa relativista, m_r , sendo $m_r = \gamma m$, onde m é a chamada massa em repouso, isto é, a massa newtoniana, dado que representa a massa do corpo medida por um observador que se encontra em repouso em relação ao corpo. De acordo com esta interpretação:

$$m_r = \text{massa relativista} = \frac{m}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \gamma m, \quad (33)$$

Na verdade há muitos críticos à noção de massa relativista. Por exemplo, Fernanda Ostermann, no artigo “Relatividade restrita: os conceitos de massa relativista e de equivalência massa-energia em livros didácticos de Física” (2004), aponta algumas incorrecções associadas a essa “grandeza”. Refere que a noção de “massa relativista”:

- leva a pensar que a massa deixa de ser uma propriedade exclusiva do corpo ou partícula, mas um atributo físico relativo, dado que depende da velocidade do corpo em relação ao observador;
- induz a pensar que as expressões para outras grandezas físicas podem ser obtidas a partir das correspondentes expressões newtonianas, apenas por substituição da massa newtoniana pela massa relativista. Mas tal não é verdade, dado que se assim fosse, então a expressão para a energia cinética de uma partícula relativista deveria ser dada por $E_c = \frac{1}{2} \gamma m v^2$, onde m representava a massa em repouso, completamente diferente da expressão correcta: $E_c = mc^2(\gamma - 1)$, como veremos um pouco mais abaixo;
- pode dar a impressão que os efeitos relativísticos são devidos a algo que acontece no corpo, quando na realidade são uma consequência das propriedades do espaço-tempo.

Também, Valadares, no artigo “O conceito físico de massa – II – Análise do conceito” (1993), defende que a “massa relativista” é um conceito confuso pelo que deve ser abolido. Um dos argumentos que menciona para a eliminação desse conceito

¹⁰ Por exemplo, Serway no livro “Física 4 - para engenheiros e cientistas”, 1996

é que “só há uma propriedade de uma partícula (dependendo, portanto, apenas dela, e não do referencial ou do modo como uma força actua) que pode medir a inércia – ela é a massa em repouso da partícula e o seu valor coincide com a massa newtoniana”.

No âmbito da publicação dos postulados da Teoria da Relatividade Restrita, por Einstein, em 1905, foram introduzidas uma série de modificações à física clássica. Uma dessas alterações foi a apresentação, também, por Einstein, no mesmo ano, da famosa expressão $E = mc^2$, num artigo publicado na revista alemã *Annalen der Physik*, com o título “A inércia de um corpo será dependente do seu conteúdo energético?”

De um modo genérico, podemos escrever que a energia de uma partícula livre de massa m (massa em repouso) que se move com velocidade de valor v é dada por:

$$E = E_c + mc^2 \quad (34)$$

sendo E_c a energia cinética e c a velocidade da luz no vácuo (mais adiante será dada prova desta relação).

Assim, de acordo com a equação 34, mesmo que o corpo esteja em repouso, possui energia, sendo esta dada por $E_o = mc^2$. Assim, é necessário substituir as leis clássicas de conservação da massa e da conservação da energia por uma única lei de conservação de energia relativista, ou seja, “a energia relativista total de um sistema isolado permanece constante” (Vieira e outros, 2004).

A teoria relativista associada à energia está presente em alguns processos que ocorrem na natureza. Por exemplo, na desintegração de núcleos atômicos, a massa total de repouso não permanece constante, observando-se libertação de energia. Da equação $E = mc^2$, deduz-se que uma variação ΔE de energia de um corpo implica uma variação $\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$ na sua massa. Contudo, torna-se difícil a sua verificação

experimental, dado que o factor c^2 tem um valor muito elevado.

Apesar de várias tentativas, só nos anos 30 do século passado, ficou mais clara a relação $E_o = mc^2$ através das reacções nucleares, tendo para tal contribuído os trabalhos realizados pelos cientistas Enriço Fermi e Lise Meiter, entre outros (Vieira e outros, 2004). Ou seja, foi verificado que uma pequena fracção de massa Δm é transformada numa quantidade de energia $\Delta E = \Delta mc^2$, sendo esta muito grande devido ao factor c^2 .

Considere-se uma partícula de massa m que se move sobre o eixo do xx . Admitamos que sobre essa partícula actua uma força $\vec{F}$ que faz com que a partícula passe do repouso até uma velocidade de valor v .

De acordo com a lei fundamental da dinâmica,

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt},$$

onde $\vec{p}$ é o momento linear da partícula. Por outro lado, a energia cinética variará desde 0 a E_c e o teorema do trabalho-energia diz-nos que $W = \Delta E_c$. Assim,

$$\begin{aligned} W &= \int_{x_0}^x \vec{F} \cdot d\vec{x} = \int_{x_0}^x \frac{dp}{dt} dx \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow W = \int_0^p v dp \end{aligned} \quad (35)$$

No entanto, o momento linear relativístico é dado por:

$$p = \frac{mv}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (36)$$

sendo m a massa em repouso. Utilizando a expressão¹¹ $vdp = d(vp) - p dv$ na equação 35, obtém-se:

$$W = \int_0^v [d(vp) - p dv] \quad (37)$$

Substituindo-se a equação 36 na equação 37 e resolvendo o integral chega-se ao trabalho realizado pela força $\vec{F}$, no deslocamento referido, ou seja,

$$\begin{aligned} W &= \left[\frac{mv^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right]_0^v + \left[mc^2 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \right]_0^v = mc^2 \left[\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right]_0^v \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow W = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - mc^2 \end{aligned}$$

¹¹ De acordo com as regras de derivação: $d(pv) = p dv + v dp \Leftrightarrow v dp = d(pv) - p dv$

Assim, dado que a energia cinética inicial é nula, podemos escrever:

$$\Leftrightarrow E_c = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - mc^2 \quad (38)$$

A análise da equação 38 mostra que se trata, efectivamente, de uma energia cinética, dado que:

1. Quando $v = 0$, $E_c = 0$;
2. Se a razão v/c é muito menor que 1, ela contém a expressão da variação da energia cinética da mecânica clássica.

A equação 38 pode, ainda, tomar uma outra forma:

$$E_c = \gamma mc^2 - mc^2 \quad (39)$$

Nesta equação, o termo mc^2 é independente da velocidade, é a chamada energia em repouso da partícula, E_o . O outro termo, γmc^2 , que depende da velocidade da partícula, é igual à soma da energia cinética com a energia em repouso.

Definimos, assim, γmc^2 como a energia total, E , ou seja,

$$E = \gamma m c^2 = E_c + E_o$$

sendo que,

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (40)$$

A equação 40, que representa a lei da conservação da energia, pode ser escrita na forma:

$$E = mc^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (41)$$

Matematicamente, pode desenvolver-se em série o segundo termo da equação 41 e desprezar os de ordem superior à segunda. Assim, obtém-se:

$$E = mc^2 + \frac{1}{2}mv^2 \quad (42)$$

Quando a partícula está em repouso, então:

$$E_0 = mc^2 \quad (43)$$

Esta é a famosa equação de Einstein da equivalência entre massa-energia.

A equação 43 mostra que a energia em repouso de uma partícula é medida pela sua massa, dado que a velocidade da luz no vazio é uma constante universal. Esta equação pode ser melhor compreendida se for escrita na forma:

$$\Delta E_0 = \Delta mc^2$$

Assim, mostra que variações de energia de um corpo em repouso são sempre acompanhadas de variações de massa, ou seja, variações da sua inércia.

Na realidade, pode-se facilmente mostrar que uma pequena variação de massa corresponde à variação de uma quantidade enorme de energia. Como se depreende, esta relação massa-energia veio revolucionar o campo da física nuclear.

Uma manifestação da equivalência massa-energia é observada, por exemplo, aquando da libertação de grande quantidade de energia na fissão e na fusão nuclear.

Por exemplo, na reacção mais simples de fusão, ou seja, quando dois átomos de deutério (isótopo do hidrogénio) fundem para formar um átomo de hélio, a diminuição de massa resultante da criação desse novo átomo a partir dos átomos de deutério, é calculada como $\Delta m = 4,24 \times 10^{-29}$ kg. Assim, o excesso correspondente de energia resultante da fusão é dada por:

$$\Delta m \cdot c^2 = 4,24 \times 10^{-29} \times (3 \times 10^8)^2 = 3,83 \times 10^{-12} \text{ J} = 23,9 \text{ MeV}$$

Se em vez da fusão de dois átomos de deutério, fosse convertido 1 g desse material em hélio libertar-se-iam cerca de 10^{12} J. É este facto incontornável que está na origem do projecto de obtenção de energia a partir da fusão nuclear, assinado por diversos países europeus no final de 2006 em França e que prevê o aproveitamento desta energia para a produção de energia eléctrica (mais “limpa” que a energia de fissão nuclear), dentro de 30 anos (DN, 21/11/06).

Em jeito de síntese...

A Teoria da Relatividade foi incluída nos novos programas de Física do 12.º ano, constituindo o tópico 1 da unidade III (DGIDC, 2004). A abordagem dos

conteúdos e dos conceitos que lhe estão associados é relativamente difícil e a maioria dos professores que têm leccionado no ensino básico e secundário não têm formação adequada para dar consecução às finalidades pretendidas. Como tal, além do tema ser abordado de forma muito superficial, introduzem-se noções que poderão vir a criar concepções erradas nos alunos, a menos que haja formação adequada dos professores do Ensino Secundário nesta matéria. Uma dessas noções está precisamente relacionada com a dualidade de conceitos massa / massa relativista.

Ostermann (2004), nas conclusões do artigo anteriormente citado, defende que do ponto de vista conceptual, é mais aconselhável definir e escrever o momento linear, a energia cinética e a energia total, respectivamente, como $p = \gamma mv$, $E_c = mc^2(\gamma - 1)$ e $E = \gamma mc^2$, em vez das fórmulas que contêm subjacente o conceito de massa relativista, referindo que, a nível da relatividade restrita, se deveria desde logo falar apenas em “massa”, a massa newtoniana, evitando-se inclusive a expressão “massa em repouso”.

Por outro lado, defende também que a equivalência massa-energia deve ser escrita na forma $E_0 = mc^2$, dado que esta energia é a energia do corpo em repouso.

4.2.5.2 - Peso

O vocábulo “peso” entra na linguagem comum logo após a criança começar a dizer as primeiras palavras. Por exemplo, quando tenta elevar uma cadeira ou outro objecto, diz que não consegue levantá-la porque é muito “pesada”. Do mesmo modo, quando empurra um objecto e ele não se move, justifica, também, este facto com o “elevado peso” do objecto (apesar de se tratar de uma questão de forças de atrito).

Mas será que o significado dado ao termo “peso” na linguagem comum, está de acordo com o conceito físico? E em contexto de sala de aula utiliza-se a definição mais adequada de peso?

Analisando diversos livros do ensino secundário ou mesmo do ensino universitário, encontramos diferentes definições para o conceito de peso de um corpo.

Figueiredo, 2006, refere que na literatura se encontram várias definições de força “peso” de um corpo baseadas na força da gravidade. Por exemplo, “o “peso” é a força gravitacional exercida pela Terra”, ou “o peso de um corpo é a força gravitacional total exercida no corpo por todos os outros corpos do Universo”. Ainda segundo o mesmo autor, estas definições estão até certo ponto compatíveis com a decisão da terceira reunião da Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM), realizada em 1901, que definiu “peso de um corpo” como o produto da sua massa pela aceleração

devida à gravidade. Contudo esta definição é suficientemente genérica para gerar, frequentemente, alguma confusão.

Figueiredo (2006) no artigo “É o conceito de “peso do corpo” necessário em Física?”, define operacionalmente “peso de um corpo” como “a força que o corpo exerce no suporte a que está ligado”. Nesta definição, a força “peso de um corpo” surge como uma força de ligação, tal como a força de atrito ou a força exercida por um cabo de tracção.

Valadares e Silva, no “Manual de Física – 12.º ano (volume I), de 1990, salientam que o “peso” do corpo “é a força que actua no corpo e é equivalente à acção dele sobre o suporte”. Assim, trata-se de uma força resultante de forças aplicadas no corpo, sendo uma dessas forças a força gravitacional local.

Em 1978, a *International Standart Organization* (ISO) redefiniu o conceito de “peso” tornando-o mais claro e objectivo através da seguinte redacção “o peso de um corpo num referencial específico é a força que, quando aplicada ao corpo, lhe comunica uma aceleração igual à aceleração local em queda livre nesse referencial” (Iona (1995), French (1995))¹². Atendendo a esta definição, podemos dizer que o conceito operacional de peso está ligado ao referencial local e não se resume à habitual e tão errada definição padrão de que “o peso é a força gravitacional”.

Em termos práticos, podemos determinar o peso de um corpo ($\vec{P}$) se o suspendermos de um dinamómetro ou se o colocarmos sobre uma balança-dinamómetro¹³. Em ambas as situações o valor lido no instrumento de medida é o valor da acção ($\vec{A}$) do corpo sobre o suporte, ou seja, o valor lido no instrumento de medida é o valor do peso do corpo, nesse referencial.

Mas será que o valor lido no dinamómetro coincide exactamente com o módulo da força gravitacional ($\vec{F}_g$) a que o corpo está sujeito por acção da Terra?

Para dar resposta a esta questão, consideremos uma balança-dinamómetro solidária com a Terra, ou seja, que roda em torno do eixo desta com a mesma velocidade angular que o planeta. Sobre a balança-dinamómetro encontra-se um objecto de massa m conhecida.

Consideremos, então, um referencial de inércia (O,X,Y,Z) exterior ao nosso planeta. Para um observador nesse referencial de inércia, as forças que actuam no corpo de massa m são:

¹² Uma abordagem, em português, a este assunto, feita por P. S. Carvalho e A.S. Sousa (2005), pode ser consultada em http://www.fc.up.pt/pessoas/psimeão/artigos/Massa_e_peso.pps

¹³ Utilizamos a expressão balança-dinamómetro para identificar os aparelhos de medida cujo princípio de funcionamento é baseado na lei de Hooke e é similar aos utilizados, por exemplo, em nossas casas, nas farmácias e em alguns consultórios médicos. Normalmente estes dispositivos estão calibrados de modo a que o valor apresentado seja expresso em unidades de massa, ou seja, quilograma (kg).

- $\vec{F}_g$ - Força gravitacional ou gravítica, dirigida para o centro do planeta
- $\vec{R}$ - Reacção do suporte

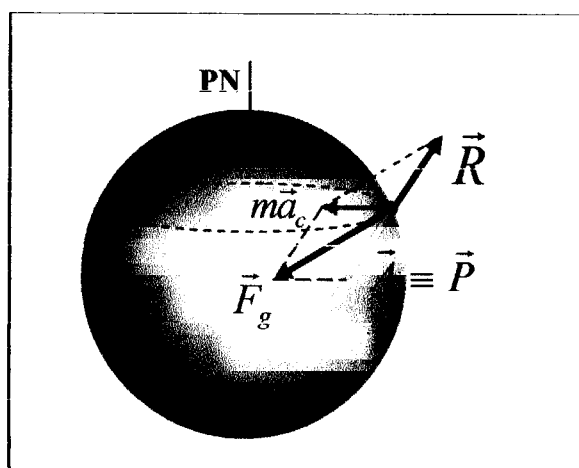


Figura 21 Interpretação de um observador exterior à Terra.

Quer para o observador inercial (exterior à Terra), quer para o que se encontra solidário com a Terra, a acção do corpo sobre a balança-dinamómetro ($\vec{A}$) é diferente da força gravítica a que o corpo está submetido.

De facto, para o observador inercial, o corpo e a balança-dinamómetro estão a rodar com movimento circular e uniforme (m.c.u.) e por isso possuem uma aceleração radial e centrípeta. Assim, aplicando a Lei Fundamental da Dinâmica,

$$\vec{F}_r = \vec{R} + \vec{F}_g \Leftrightarrow$$

ou o que é equivalente,

$$\Leftrightarrow m\vec{a}_c = \vec{R} + \vec{F}_g \quad (44)$$

Dado que estamos a considerar $\vec{a}_c \neq \vec{0}$, então podemos concluir que:

$$\vec{R} \neq -\vec{F}_g.$$

Assim, no referencial local, a direcção da vertical não é a definida pela força gravítica, $\vec{F}_g$, mas sim a da reacção no suporte, $\vec{R}$.

Refira-se que o ângulo entre a força gravítica ($\vec{F}_g$) e a força ($\vec{A}$) é, no máximo de $0,1^\circ$ (Alonso, Finn (1999)), pelo que embora os dois vectores sejam quase colineares, é um erro científico dizer que são coincidentes. Tal deve ser evitado em absoluto.

A força $\vec{R}$, reacção do suporte e a força que o objecto exerce sobre o suporte ($\vec{A}$), constituem um para acção-reacção. Assim, a **força gravítica local** é aquela representada na figura 21 pelo vector $\vec{A}$, que é a projecção de $\vec{F}_g$ na direcção de $\vec{R}$. Neste caso e de acordo com a definição ISO de 1978, este é o vector que representa na figura o peso $\vec{P}$ do corpo (todavia, como veremos mais adiante, nem sempre a força gravítica local coincide com o peso.)

E para o observador que se encontra solidário com a Terra, que forças actuam no corpo?

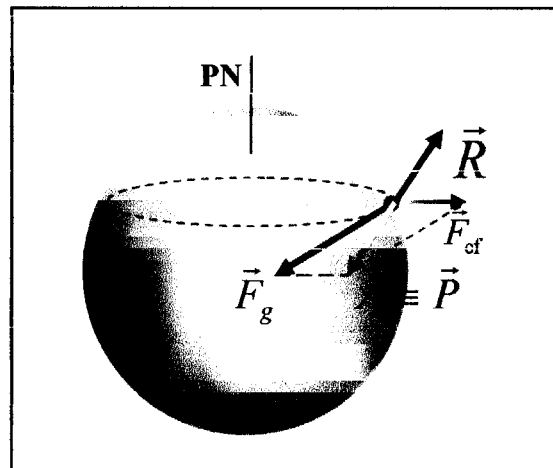


Figura 22 Interpretação de um observador solidário com a Terra.

O observador ligado à Terra (observador local) lê na balança-dinamómetro o mesmo valor que o observador inercial. Contudo, a interpretação que faz é diferente. Como sabe que está em repouso em relação à Terra, atribui a diferença existente entre a força gravítica e a acção sobre o aparelho de medida à actuação de uma força fictícia de inércia – força centrífuga de inércia ($\vec{F}_{cf}$). Assim, para esse observador:

$$\vec{F}_{cf} + \vec{F}_g + \vec{R} = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{a} = \vec{0} \quad (45)$$

Atendendo, novamente, a que $\vec{R} = -\vec{A}$, obtemos:

$$\vec{F}_{cf} + \vec{F}_g - \vec{A} = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{A} = \vec{F}_{cf} + \vec{F}_g \quad (46)$$

Dado que o peso corresponde à acção do corpo sobre o suporte, verificamos que, neste caso, é dado pela soma da força gravítica com a força centrífuga de inércia, o que mostra novamente que, também para este observador, peso e força gravítica não são, em geral, a mesma coisa!

Este resultado é um dos factores responsável pela variação do peso de um corpo na Terra com a latitude, o qual não se deve somente ao achatamento dos pólos do planeta como vezes os alunos acreditam.

Agora que já concluímos que, à superfície da Terra, a acção de um corpo sobre a balança-dinamómetro não é, em geral, numericamente igual à força gravítica, mas que pode coincidir com a força gravítica local, ficamos fundamentalmente perante duas possíveis interpretações de uma mesma definição:

Definição 1 – O peso tem o valor da força de acção que um corpo exerce numa balança-dinamómetro;

Definição 2 – O peso tem o valor da força gravítica local com que o corpo é atraído para a Terra.

Serão estas duas definições equivalentes? Veremos que não.

Efectivamente só podemos considerar que estamos a medir o peso de um corpo se usarmos como conceito de peso aquele que é referido na definição 1. O conceito obtido da definição 2 não é absolutamente geral, uma vez que não contempla todas as particularidades do movimento de um corpo no referencial local. Analisemos, de seguida, algumas situações que ajudam a compreender a complexidade deste tema e esclarecer o significado deste conceito físico;

1. Consideremos um observador no interior de um elevador que vai iniciar o seu movimento, verticalmente para cima a partir do rés-do-chão, até ao 10.º andar. Durante este movimento, o corpo do observador experimentará diferentes sensações: no arranque (movimento acelerado) terá uma sensação de aumento de peso; durante a viagem, com movimento uniforme, terá a mesma sensação que quando o elevador estava parado; finalmente ao chegar ao 10.º andar (movimento retardado), sentir-se-á “mais leve” devido à travagem do elevador.

Serão estas diferenças de peso consequência da maior ou menor força gravítica a que o corpo fica submetido no rés-do-chão e no 10.º andar?

Se determinarmos a força gravítica que actua no observador de massa m quando se encontra no solo¹⁴ e no 10.º andar¹⁵ (admitindo que está a 30 m de altitude), verificamos que não há qualquer diferença no valor encontrado até, pelo

¹⁴ $F_g(\text{solo}) = 6,67 \times 10^{-11} \frac{5,98 \times 10^{24} \times m}{(6,37 \times 10^6)^2} = 9,83m \text{ (kg)}$

¹⁵ $F_g(10.^\circ \text{ andar}) = 6,67 \times 10^{-11} \frac{5,98 \times 10^{24} \times m}{(6,37 \times 10^6 + 30)^2} = 9,83m \text{ (kg)}$

menos, à segunda casa decimal. Assim, não pode ser essa a razão, pelo que o problema se mantém: então a que se devem essas diferenças no peso?

Admitamos o observador em cima de uma balança-dinamómetro, que é o nosso instrumento de medida. Durante o movimento do elevador actuam no passageiro as seguintes forças:

- $\vec{F}_{gl}$ - Força gravítica local, dirigida para o centro do planeta
- $\vec{R}$ - Reacção do suporte (balança-dinamómetro) sobre os pés do homem.

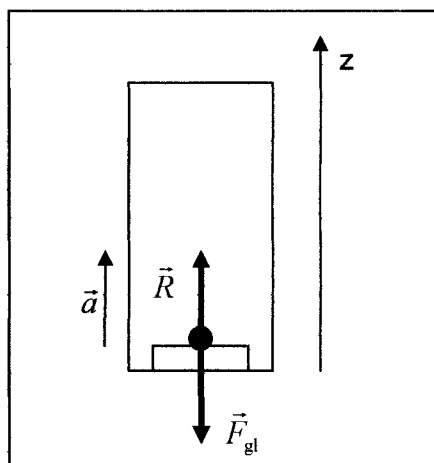


Figura 23 Observador no interior de um elevador.

Em qualquer instante em que se estude o movimento do passageiro, a sua aceleração será igual à aceleração do elevador e a resultante das forças a que está submetido será dada pelo produto da sua massa pela aceleração. Assim, para um observador inercial, em cada instante:

$$\vec{F}_r = \vec{F}_{gl} + \vec{R} = m\vec{a} \quad (\vec{a} - \text{aceleração do elevador})$$

Como no arranque e na travagem, durante a subida, a aceleração do elevador não é nula, então, o vector força de reacção não é coincidente com o vector força gravítica local, ou seja,

$$\vec{R} \neq -\vec{F}_{gl} \quad (47)$$

Assim, o valor registado na balança-dinamómetro não é igual ao valor da força gravítica local.

Que valor registará, então, o instrumento de medida?

Como o valor lido no instrumento de medida é a acção do corpo ($\vec{A}$) e $\vec{R} = -\vec{A}$, obtém-se que:

$$\vec{F}_g - \vec{A} = m\vec{a} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \vec{A} = \vec{F}_g - m\vec{a}$$

ou seja, o peso do corpo ($\vec{P}$) é dado por:

$$\vec{A} = \vec{P} = \vec{F}_g - m\vec{a} \quad (48)$$

Assim, podemos tirar as seguintes conclusões:

i) quando a aceleração do elevador for nula (repouso ou movimento rectilíneo e uniforme), então,

$$\vec{P} = \vec{F}_g,$$

ou seja, o valor do peso do corpo é igual ao valor da força gravítica local com que está a ser atraído para a Terra.

ii) quando a aceleração do elevador tiver sentido contrário à aceleração gravítica, ou seja quando o elevador arrancar na subida,

$$\vec{P} = -(F_g + m\vec{a})\hat{e}_z \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \vec{P} = -m(g + a)\hat{e}_z,$$

onde g é a aceleração gravítica local para corpos em repouso ou em movimento rectilíneo e uniforme.

Assim, o peso tem sentido coincidente com o da força gravítica local mas o seu valor é superior a mg .

iii) quando a aceleração do elevador tem o mesmo sentido que $\vec{g}$, ou seja, na travagem durante a subida,

$$\vec{P} = -(F_{gl} - m\vec{a})\hat{e}_z \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \vec{P} = -m(g - a)\hat{e}_z, \text{ com } 0 < a < g \quad (49)$$

ou seja, o valor lido na balança-dinamómetro será inferior a mg .

Contudo, se $a = g$, ou seja, se o elevador estiver em queda livre, isto é, estiver apenas sujeito à atracção gravítica, todos os corpos no seu interior estão também em queda livre, e portanto, movem-se todos com uma aceleração que é dada por $\vec{a} = \vec{g}$. Pelo facto de o corpo não se mover em relação à balança-dinamómetro, também não

exerce qualquer acção sobre a superfície do prato. Assim, neste caso, resulta da equação 49, que:

$$\vec{P} = \vec{0}$$

Nesta situação o passageiro não terá peso e estará, por isso, em estado de imponderabilidade – impossibilidade de medir o peso. Note-se que, sendo o conceito de peso um conceito relativo, também é relativo o conceito de imponderabilidade.

Na verdade, o mesmo corpo pode estar em imponderabilidade num referencial e ter peso relativamente a outro referencial. Por exemplo, quando um corpo, ligado a um dinamómetro, está em queda livre, verifica-se que:

- o corpo não tem peso no sistema acelerado corpo-dinamómetro:

$$\begin{aligned}\vec{P} &= \vec{F}_{gl} - m\vec{a} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \vec{P} &= -(mg - mg)\hat{e}_z = \vec{0}\end{aligned}\quad (50)$$

- o corpo tem peso num referencial inercial ligado à Terra:

$$\Leftrightarrow \vec{P} = -mg\hat{e}_z \quad (51)$$

Assim, na situação do elevador em queda livre, o passageiro não tem peso segundo o seu ponto de vista, isto é, relativamente ao seu referencial. Todavia possui peso segundo o ponto de vista de um observador exterior, isto é, em relação a um referencial inercial!

2. Considere-se uma nave espacial que se move em órbita estacionária à volta da Terra com velocidade de valor constante.

Nesta situação, para um observador na Terra, o astronauta tem peso, sendo este dado por:

$$\vec{P} = m\vec{g}' = \vec{F}_{gl}$$

em que $\vec{g}'$ é o campo gravítico à distância r do centro da Terra. A força gravítica que actua no astronauta é exactamente aquela necessária para que ele descreva o movimento em órbita estacionária. Assim, astronauta e nave movem-se solidários.

Se for (hipoteticamente) $\vec{A}$ a força que a nave exerce sobre o astronauta, então, podemos escrever:

$$m\vec{a}_c = \vec{F}_g + \vec{A}$$

Como $\vec{a}_c = \vec{g}'$, então,

$$\vec{A} = -(m\vec{g}' - m\vec{g}') = \vec{0} \quad (52)$$

ou seja, o peso do astronauta é nulo no referencial ligado à nave e portanto está em condições de imponderabilidade.

Em jeito de síntese...

Pelo que acabamos de analisar, concluímos que é **pouco adequado**:

- a utilização de expressões do tipo “peso aparente”, “peso verdadeiro”, etc, já que o peso é uma força que está bem definida em termos de referencial local e portanto não é algo sujeito a interpretações subjectivas;

- a utilização da expressão “peso do corpo”, dado que o peso, não é, efectivamente, uma característica do corpo. Deve ser dito “peso no referencial X”, pois, o seu valor depende do referencial em que está a ser analisado;

- definir o peso como a força gravítica que actua no corpo, tal como é frequentemente utilizado em contexto de sala de aula, pois não está de acordo com a definição actualmente em vigor (ISO, 1978, 1992).

Uma vez que o texto da definição usada na norma ISO pode ser de difícil interpretação pelos alunos, é preferível adoptar na sala de aula a definição operacional de peso pelo que sugerimos a seguinte redacção: “é a força que se mede com um dinamómetro ou com uma balança-dinamómetro, tem a direcção da vertical no lugar e aponta para a Terra”.

4.2.6 – Pressão

A pressão é uma grandeza física escalar que traduz uma relação de proporcionalidade entre a intensidade da força exercida e a área em que esta é aplicada. Assim, o seu valor traduz a intensidade da força que é exercida em cada unidade de área.

Matematicamente, a pressão (p) é calculada pela razão entre a intensidade da força exercida (F) perpendicularmente à superfície e a área em que é aplicada (A):

$$p = \frac{F}{A} \quad (53)$$

A análise desta expressão permite-nos concluir que:

- para a mesma intensidade de força exercida, quanto maior for a área em que a força é aplicada menor é a pressão resultante;

- para a mesma área em que as forças são aplicadas, quanto maior for a intensidade da força exercida, maior é a pressão resultante.

Quais as dimensões de uma pressão?

As dimensões das grandezas de que depende a pressão são:

Força: $[F] = MLT^{-2}$ Área: $[A] = L^2$,
pelo que as dimensões da pressão são $[p] = ML^{-1}T^{-2}$

E em que unidade se exprime no Sistema Internacional?

No Sistema Internacional de Unidades, a pressão exprime-se em pascal (Pa).

Tabela 10 – Unidade SI da pressão e das grandezas de que depende

Grandeza física	Nome da unidade SI	Representação da unidade SI
Intensidade da força	newton	N
Área	metro quadrado	m ²
Pressão	newton por metro quadrado ou pascal	N m ⁻² ou Pa

Assim, 1 pascal (1 Pa) é a pressão média exercida por uma força de intensidade 1 N, que é exercida perpendicular e uniformemente numa superfície de área unitária.

Por exemplo, dizer que a pressão exercida numa superfície tem um valor de 500 Pa (500 N m⁻²) significa que é aplicada, em média, uma força perpendicularmente à superfície de intensidade 500 N em cada metro quadrado de área.

Mas, por vezes, a força exercida não é perpendicular à superfície. Nestas situações, a força aplicada não é “toda utilizada” para aplicar pressão sobre a superfície, pelo que o efeito produzido é menos evidenciado do que se a mesma força fosse aplicada na direcção normal à superfície. Analisemos as figuras 24 e 25, onde uma força com a mesma intensidade é aplicada a uma superfície com a mesma área (A).

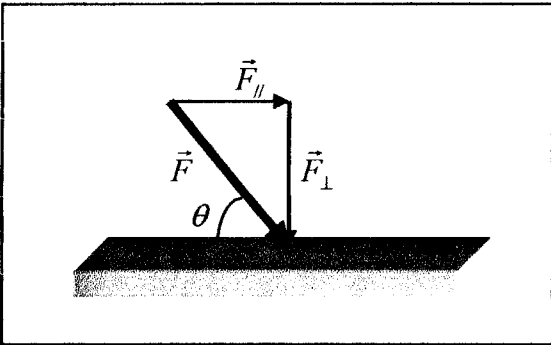


Figura 24 – Força oblíqua à superfície.
(situação 1)

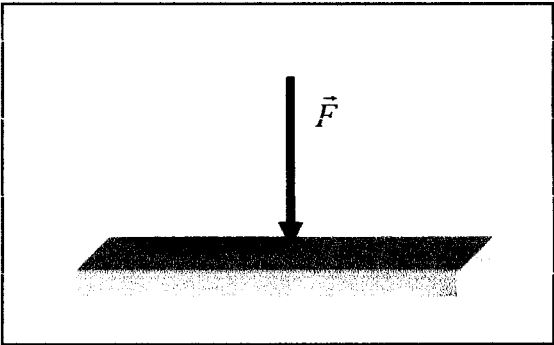


Figura 25 – Força perpendicular à superfície.
(situação 2)

Na figura 24, a componente da força aplicada que está a contribuir para a pressão exercida sobre a superfície é $\vec{F}_\perp$, sendo a sua intensidade dada por:

$$\|\vec{F}_\perp\| = \|\vec{F}\| \sin \theta$$

Aplicando a expressão matemática que permite calcular a pressão, obtém-se:

$$p(1) = \frac{\|\vec{F}\| \sin \theta}{A}$$

Na figura 26 a pressão é dada por:

$$p(2) = \frac{\|\vec{F}\|}{A}$$

Assim, podemos determinar a razão entre a pressão exercida em A e a pressão exercida em B e mostrar que esta é superior à exercida em A.

$$\frac{p(1)}{p(2)} = \frac{\frac{\|\vec{F}\| \sin \theta}{A}}{\frac{\|\vec{F}\|}{A}} \Leftrightarrow \frac{p(1)}{p(2)} = \sin \theta$$

Como $0 \leq \sin \theta \leq 1$, então a pressão exercida em 1 é menor do que a exercida em 2.

Pode, contudo, acontecer que a força exercida não esteja uniformemente distribuída em toda a superfície. Nesta situação temos de dividir a superfície total em áreas tão pequenas quanto possível e calcular (localmente) uma pressão média (p_{med}), ou seja,

$$p_{med} = \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (54)$$

Para obter a pressão num ponto (p), basta estender este cálculo a uma área tão pequena quanto possível, dita área elementar, obtendo-se então:

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (55)$$

Assim, a pressão num ponto corresponde à força aplicada perpendicularmente a uma superfície por unidade de área elementar.

A abordagem feita até este momento dá relevo ao conceito de pressão quando uma força é exercida numa superfície. Contudo, o conceito também é usado para um gás encerrado num recipiente, exercendo forças sobre as paredes que o contém.

Como podemos calcular a pressão exercida pelo gás nessas condições?

A pressão exercida pelo gás encerrado no recipiente resulta do somatório das forças exercidas sobre as paredes do recipiente, em virtude das colisões das moléculas do gás com essas paredes.

Para simplificar o modelo da determinação da pressão de um gás num recipiente, consideremos que:

- cada corpúsculo é similar a uma bola de bilhar que possui um movimento desordenado em todas as direcções, podendo colidir umas com as outras e/ou com as paredes do reservatório em que se encontra;
- o recipiente tem a forma de um cubo de aresta de medida a ;
- os choques entre os corpúsculos e as paredes são elásticos, isto é, os corpúsculos não se alteram com as colisões, as paredes do recipiente não se deformam e a energia dos corpúsculos depois da colisão é igual à que tinham antes daquela.

Do mesmo modo que só a componente perpendicular da força contribui para a pressão, também só a componente perpendicular da velocidade de colisão contribui para a pressão exercida pelo gás nas paredes do recipiente.

Quando o corpúsculo colide com a parede do recipiente sofre variação de momento linear ($\Delta \vec{p}_{\text{corpúsculo}}$). Na figura 26 representa-se graficamente a variação de momento linear da partícula, resultante da colisão com a parede do recipiente.

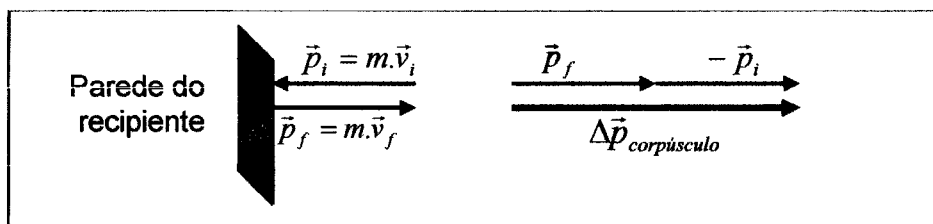


Figura 26 – O corpúsculo ao colidir com a parede do recipiente sofre variação de momento linear.

Na colisão, a variação de momento linear é dado por:

$$\Delta \vec{p}_{\text{corpúsculo}} = m \cdot \vec{v}_f - m \cdot \vec{v}_i \quad (56)$$

Como $\vec{v}_f = v_x \vec{e}_x$ e $\vec{v}_i = -v_x \vec{e}_x$, a expressão anterior pode ser escrita como:

$$\Delta \vec{p}_{\text{corpúsculo}} = 2m.v_x \vec{e}_x^{16} \quad (57)$$

e portanto, em cada colisão, cada corpúsculo exerce uma força média na parede de:

$$\vec{F}_{\text{parede}} = \frac{-\Delta \vec{p}_{\text{corpúsculo}}}{\Delta t} \Leftrightarrow \vec{F}_{\text{parede}} = \frac{-2m.v_x \vec{e}_x}{\Delta t}$$

onde o sinal negativo significa apenas que a força exercida sobre a parede tem sentido oposto ao da variação do momento linear da partícula que colide.

O número total de choques (N) que ocorre num dado intervalo de tempo Δt com a superfície de área a^2 é dado por:

$$N = a^2.v_x.\Delta t.n, \quad (58)$$

sendo n o número de corpúsculos existentes por unidade de volume.

Assim, o valor da força exercida por todas as partículas num dado intervalo de tempo na parede do recipiente é:

$$\begin{aligned} F_{\text{parede}}(\text{total}) &= N\left(\frac{2m.v_x}{\Delta t}\right) \Leftrightarrow F_{\text{parede}}(\text{total}) = \frac{a^2.v_x.\Delta t.n.2.m.v_x}{\Delta t} \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow F_{\text{parede}}(\text{total}) = 2.n.m.a^2.v_x^2 \end{aligned} \quad (59)$$

Num gás, os corpúsculos não terão todos igual valor de velocidade v_x . Assim, dever-se-á falar em velocidade média $\langle v_x^2 \rangle$, cujo significado é a média sobre os valores v_x^2 de todos os corpúsculos que constituem o gás encerrado no recipiente.

Uma vez que:

- $v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$
- não há direcções privilegiadas para o movimento dos corpúsculos.

Então teremos de considerar que:

$$\langle v_x^2 \rangle = \langle v_y^2 \rangle = \langle v_z^2 \rangle$$

Pelo que podemos então concluir que $\langle v_x^2 \rangle = \frac{1}{3} \langle v^2 \rangle$. Admitindo que destes corpúsculos, só metade se dirige para a parede, o módulo da força total sobre a parede será dado por:

¹⁶ Esta expressão foi deduzida admitindo que a colisão com a parede é perfeitamente elástica.

$$F_{parede}(total) = \frac{1}{2} \times 2 \cdot n \cdot m \cdot a^2 \frac{1}{3} \langle v^2 \rangle \Leftrightarrow F_{parede}(total) = \frac{1}{3} n \cdot m \cdot a^2 \langle v^2 \rangle$$

Recorrendo à expressão do cálculo da pressão, equação (53), obtemos a pressão exercida pelo gás na parede:

$$p = \frac{F(total)}{A} \Leftrightarrow p = \frac{\frac{1}{3} n \cdot m \cdot a^2 \cdot \langle v^2 \rangle}{a^2} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow p = \frac{1}{3} n \cdot m \cdot \langle v^2 \rangle \quad (60)$$

onde:

n – número de corpúsculos por unidade de volume;

m – massa de cada corpúsculo;

$\langle v^2 \rangle$ - valor médio do módulo do quadrado da velocidade de cada corpúsculo

Actividade

A equação acabada deduzir para a pressão de um gás encerrado num recipiente terá, efectivamente, as dimensões de uma pressão?

Analisando as dimensões das grandezas intervenientes na equação, verificamos que:

$$[n] = L^{-3}, \quad [m] = M \quad \text{e} \quad \langle v^2 \rangle = L^2 T^{-2}$$

Assim, obtém-se: $[p] = L^{-3} M L^2 T^{-2} \Leftrightarrow [p] = M L^{-1} T^{-2}$

que são as dimensões de uma pressão.

CAPÍTULO 5

Estudo empírico



Aplicação do questionário

Tratamento e análise da informação

Comparação de respostas em mais duas escolas

5.1 - Aplicação do questionário

5.1.1 – Introdução

Realizada a validação do questionário, pretendemos dar início ao estudo empírico. Atendendo a que, no ano lectivo 2005/06 não estávamos a leccionar, necessitávamos encontrar uma escola ou um conjunto de turmas de 9.º ano onde pudesse ser feita a intervenção que pretendíamos realizar.

Assim, recorremos a uma colega, a professora Elsa Canelas Alves, que lecciona a disciplina de Físico-Química na Escola Básica 2,3 de Manoel de Oliveira, que pertence ao Agrupamento Vertical com a mesma designação.

5.1.2 – Caracterização da escola de intervenção

A Escola Básica 2,3 Manoel de Oliveira localiza-se na freguesia de Aldoar, do concelho do Porto e é frequentada por alunos oriundos dessa freguesia e das de Ramalde e Lordelo do Ouro.

De acordo com o Projecto Educativo do Agrupamento, à frente identificado como PEA, *“a freguesia de Aldoar encontra-se limitada a Norte pelo concelho de Matosinhos, a Sul e Oeste pela Foz do Douro e Nevogilde, a Sudeste por Lordelo do Ouro e a Este por Ramalde e tem cerca de 15 mil habitantes. Apesar de ser uma área residencial por excelência, conseguiu atingir actualmente uma certa qualidade de vida devido à facilidade de transportes, às acessibilidades, à existência de equipamentos sociais, culturais e desportivos”*.

Os principais equipamentos sociais presentes nesta freguesia são o “Parque da Cidade”, a Fundação Cupertino de Miranda e o Teatro da Vilarinha.

Ainda transcrevendo o PEA, *“a freguesia continua a debater-se com o problema da exclusão social, embora o trabalho de reinserção e combate à marginalidade, esta provocada essencialmente pela toxicodependência, seja o principal objectivo do programa de acção do poder local e das instituições sociais.*

Este contraste populacional constitui ainda a imagem de marca de Aldoar, clivagem sócio-cultural que tem vindo a diluir-se progressivamente, mas que continua a ter expressão vincada nas escolas da freguesia, microcosmo das transformações culturais vividas nos últimos anos”.

A freguesia de Ramalde situa-se, também, na zona ocidental da cidade e é a terceira maior das 15 freguesias do Porto. No PEA é referido que *“nesta freguesia*

existem 13 bairros sociais – municipais, do IGAPHE e de outras entidades, como a Segurança Social.

Na generalidade, são bairros com 20, 30, 40 ou mais anos, construídos numa altura em que os problemas sociais não tinham ainda a complexidade que hoje os caracteriza.

Nem todos são “bairros-problema”, embora estejam associados a uma imagem de insegurança, criminalidade, tráfico e consumo de droga e, genericamente, de exclusão social. “

A outra freguesia de onde chegam alguns alunos à Escola Básica 2,3 Manoel de Oliveira é Lordelo do Ouro. Como nesta freguesia há outras escolas do mesmo grau de ensino, são relativamente poucos os que vão para a escola onde ocorreu a intervenção. Relativamente ao tipo de habitação, é do tipo misto: moradias e prédios com vários andares, alguns aglomerados de casas designadas vulgarmente de “ilhas”, não existindo bairros sociais.

De acordo com o sítio da escola, no ano lectivo 2005/2006, a população escolar era constituída por cerca de 90 professores e 550 alunos que se distribuíam do seguinte modo: 13 turmas eram do 2.º ciclo do Ensino Básico e 14 do 3.º ciclo. Destas, 4 estavam no 9.º ano, onde se encontravam inscritos 83 alunos: cinquenta e quatro alunos frequentavam um horário predominantemente de manhã, enquanto os restantes frequentavam as aulas no turno da tarde.

5.1.3 – Metodologia na intervenção

A professora Elsa Canelas Alves leccionava as três turmas de 9.º ano cujo horário se distribuía fundamentalmente no turno da manhã, o que correspondia a 54 alunos.

Em termos curriculares, os professores de Física e Química da escola reorganizaram a ordem por que leccionaram os conteúdos do tema “Viver melhor na Terra”, tendo programado dar início ao subtema “Em trânsito” em meados de Março de 2006.

Atendendo a esta calendarização, combinámos com a professora que esta ira passar o questionário pela primeira vez, uma ou duas aulas imediatamente antes de iniciar o referido subtema, de modo a que o diagnóstico efectuado permitisse conhecer as concepções e alguns modelos cognitivos dos alunos relativamente aos conceitos avaliados, antes de ser dado início à abordagem dos conteúdos onde estão incluídos. Deste modo, recolhemos informação que nos permitirá identificar:

- se existiu ou não aprendizagem relativamente a alguns conceitos presentes no questionário, nomeadamente os que haviam já sido abordados ao nível do 7.º ano;
- se apenas é utilizada linguagem do dia-a-dia para explicar o significado dos conceitos ou se, pelo contrário, há a integração de linguagem científica quando pretendem expressar as suas ideias;
- se interpretam a informação relevante num contexto de Física.

Assim, as três turmas de 9.º ano a cargo da professora Elsa Canelas Alves responderam ao questionário nos dias 7, 10 e 22 de Março, dado que havia um desfasamento em termos de cumprimento da planificação.

Como estratégia de intervenção, que decorreu durante as aulas em que foram leccionados os conteúdos do subtema “Em trânsito”, incentivámos a construção de:

1. mapas conceptuais, constituídos por um número relativamente pequeno de conceitos, que pudessem ser discutidos e reformulados pelos alunos;

2. um glossário, construído pelos alunos, com os principais conceitos, que servisse de suporte à construção dos mapas conceptuais. Neste glossário, em relação aos conceitos escolhidos, deveriam ser incluídos os atributos discutidos em Física, assim como outros que foram abordados noutras disciplinas, fomentando-se deste modo interdisciplinaridade e um conhecimento mais alargado do conceito. Não podemos deixar de realçar que o glossário não tinha como finalidade fazer uma listagem de conceitos e definições mais ou menos elaboradas, mas criar uma plataforma alargada de atributos de cada um dos conceitos / assuntos nele incluídos.

De referir que, em simultâneo com a intervenção, fomos elaborando mapas conceptuais de apoio ao professor, onde se incluíam os conceitos que estavam a ser abordados. Estes mapas, num total de onze, incluem os principais conceitos presentes no subtema “Em trânsito” e são apresentados em no anexo 4.

Terminada a leccionação dos conteúdos do subtema em estudo, ou seja, quando foi dada como finda a intervenção que estava a ser efectuada, foi novamente utilizado o questionário como instrumento de recolha de informação. Este foi aplicado nos últimos dias do ano lectivo, durante um tempo lectivo de 45 minutos em Estudo Acompanhado ou Formação Cívica, com as respectivas directoras de turma (não foi possível passar o questionário durante as aulas de Física e Química).

Para termo de comparação, foi também aplicado o questionário à quarta turma de 9.º ano da escola, turma em que não houve qualquer intervenção.

Tendo em conta as finalidades deste estudo, com esta aplicação do questionário pós-intervenção aos alunos, pretendemos verificar se, por exemplo, a intervenção realizada:

- Favoreceu a aprendizagem significativa dos conceitos, ou seja, se houve evolução conceptual;
- Contribuiu para uma melhoria na interpretação e compreensão de contextos em Física;
- Permitiu que os alunos passassem a utilizar, de forma mais estruturada, a linguagem científica na explicação de factos e acontecimentos, contribuindo para um aumento da sua literacia científica.

Feita a recolha de informação, foi necessário fazer a seu tratamento e análise.

5.2 - Tratamento e análise da informação

5.2.1 - Categorização das respostas

Feita a recolha da informação – realizada através da aplicação do questionário elaborado – era necessário efectuar o seu tratamento, assim como a análise dos resultados obtidos.

Numa primeira fase, foram observadas as respostas dadas em todos os questionários, tendo-se procurado encontrar regularidades no modo como os alunos interpretaram e responderam às questões formuladas.

Com base nesta primeira leitura, procurou-se categorizar respostas. Nas tabelas que se seguem encontram-se os domínios em que cada conceito foi avaliado e as categorias de respostas dentro de cada um desses domínios.

Conceito: **Aceleração**

Tabela 1 Categorização das respostas relativas ao conceito de aceleração

Domínio		Categorias
1	Opção	1 – A (Opção correcta) 2 – B 3 – C 4 – D 5 – E 6 – F
	Justificação	1 – Aceleração é atingir velocidade máxima / movimento acelerado / aumento de velocidade 2 – Aceleração tem variação de velocidade não nula 3 – Literacia (<i>dar tudo por tudo, ultrapassagem, pôr-se a correr, velocidade (grande), desaceleração, ...</i>) 4 – Outros (associação ao desenho) 5 – Não responde 6 – Sem significado
2	Situação	1 – Aceleração é atingir velocidade máxima / movimento acelerado 2 – Aceleração tem variação de velocidade não nula 3 – Literacia (<i>dar tudo por tudo; ultrapassagem; pôr-se a correr, velocidade (grande); desaceleração; ...</i>) 4 – Outros (associação ao desenho) 5 – Não responde 6 – Aceleração é consequência da força 7 – Sem significado
	Contexto	1 – Desporto / corrida 2 – Meios de transporte 3 – Animais 4 – Outros 5 – Não responde

Conceito: Rapidez

Tabela 2 Categorização das respostas relativas ao conceito de rapidez

Domínio		Categorias
1	Opção 1	1 – Sim 2 – Não (Opção correcta) 3 – Não responde
	Escolha	1 - A 2 - B (Não há qualquer opção correcta.) 3 - C 4 - D
	Justificação 1	1 – Relaciona a distância com o intervalo de tempo 2 – Rapidez é a distância 3 – Rapidez é o tempo 4 – Rapidez é atingir a velocidade máxima 5 – Linguagem/literacia (<i>rapidez é ser rápido; distância num espaço de tempo; ...</i>) 6 – Não responde 7 – Outra 8 – Varia com o tempo 9 – Rapidez é velocidade
2	Opção 2	1 – Hiena 2 – Atleta (Opção correcta) 3 – Mosquito 4 – Bala 5 – Não responde 6 – Nenhum
	Justificação 2	1 – Relaciona com a massa e/ou a temperatura 2 – Relaciona de forma correcta a distância com o intervalo de tempo 3 – Relaciona de forma errada a distância com o intervalo de tempo 4 – Sem significado 5 – Não responde 6 – Relaciona apenas com a distância 7 – Linguagem/literacia (<i>ser muito rápido; é mais lento embora possa ter mais resistência;...</i>)

Conceitos: Peso e Massa

Tabela 3 Categorização das respostas relativas aos conceitos de peso e massa

Domínio		Categorias
1	Opção	1 – I 2 – II 3 – III (Opção correcta) 4 – IV 5 – V 6 – Mais que uma resposta 7 – Não responde
2	Frase sobre massa	1 – Massa é o peso 2 – Massa é o volume 3 – Massa é a densidade 4 – Massa é a quantidade de matéria 5 – Massa é o número de partículas 6 – Massa mede-se numa balança 7 – Não responde 8 – Literacia / linguagem (é a quantidade de substâncias; é o valor em gramas; massa é a massa; ...) 9 – Massa como característica do corpo

3	Frase sobre peso	1 – Peso é a força gravítica / força 2 – Peso é a massa 3 – Peso mede-se em dinamómetros 4 – Peso mede-se em balanças 5 – Peso depende da gravidade 6 – Não responde 7 – Literacia / linguagem (<i>é o que um corpo pesa; é o peso total da matéria; ...</i>) 8 – Peso é a pressão 9 – Peso é o volume
----------	-------------------------	--

Conceito: **Movimento**

Tabela 4 Categorização das respostas relativas ao conceito de movimento

Domínio		Categorias
1	Opção	1 – A 2 – B (Opção correcta) 3 – C 4 – D 5 – Mais do que uma resposta 6 – Não responde
2	Desenho	1 – Refere o referencial 2 – Não refere o referencial 3 – Sem significado 4 – Não responde
	Contexto	1 – Desporto 2 – Meios de transporte 3 – Outro 4 – Sistema Solar 5 – Pessoas

Conceito: **Pressão**

Tabela 5 Categorização das respostas relativas ao conceito de pressão

Domínio		Categorias
1	Frase	1 – Refere as variáveis força e/ou área sem as relacionar 2 – Relaciona as variáveis força e área correctamente 3 – Pressão é a força 4 – Sem significado 5 – Não responde 6 – Pressão como efeito biológico / psicológico 7 – Pressão é potência/energia 8 – Linguagem/literacia (<i>pressão são duas forças: uma contra a outra; pressão é pressionar; ...</i>)
2	Opção	1 – A 2 – B 3 – C 4 – D (Opção correcta) 5 – Não responde
	Justificação	1 – Pressão diminui com o peso 2 – Pressão diminui com o peso, mantendo-se a área 3 – Sem significado 4 – Não responde 5 – Confunde o gráfico $P = f(d)$ com a trajectória 6 – Literacia / linguagem (<i>teve de exigir mais do carro, logo teve que puxar mais pelo veículo; quando o carro tem gasolina, tem</i>)

		capacidade para; ...) 7 – Sem significado
--	--	--

Conceito: **Força**

Tabela 6 Categorização das respostas relativas ao conceito de força

Domínio		Categorias
1	Opção 1	1 – A 2 – B (Opção correcta) 3 – C 4 – D 5 – Não responde 6 – Mais que uma escolha
	Opção 2	1 – Verdadeira 2 – Falsa 3 – Incompleta 4 – Não responde
2	Justificação	1 – Resposta correcta 2 – Relaciona a força com a velocidade 3 – Relaciona a força com a pressão 4 – Linguagem / literacia (<i>força é ter muita força; força é força; ...</i>) 5 – Não responde 6 – Sem significado 7 – Movimento necessita de força (concepção aristotélica) 8 – Confunde força com velocidade
	Desenho	1 – Relaciona força com a velocidade 2 – Relaciona a força com a variação de velocidade 3 – Sem significado 4 – Não responde 5 – Confunde força com velocidade 6 – Movimento necessita de força (concepção aristotélica)
	Contexto	1 – Violência 2 – Desporto 3 – Pessoas 4 – Meios de transporte 5 – Outro

5.2.2 – Análise do pré-teste e do pós-teste

5.2.2.1 – Conceito: aceleração

Na observação dos dados recolhidos relativamente ao conceito de aceleração, faremos a seguinte análise:

- Opção escolhida (Gráfico 1A e B)
- Justificação dada (Gráfico 2A e B);
- Relação entre a opção escolhida e a justificação (Tabela 7A e B);
- Relação entre a opção escolhida e a situação descrita (Tabela 8A e B);
- Contexto que os alunos utilizaram para expressar a existência de aceleração (Gráfico 3A e B).

1. Opção escolhida (resposta correcta: 1)

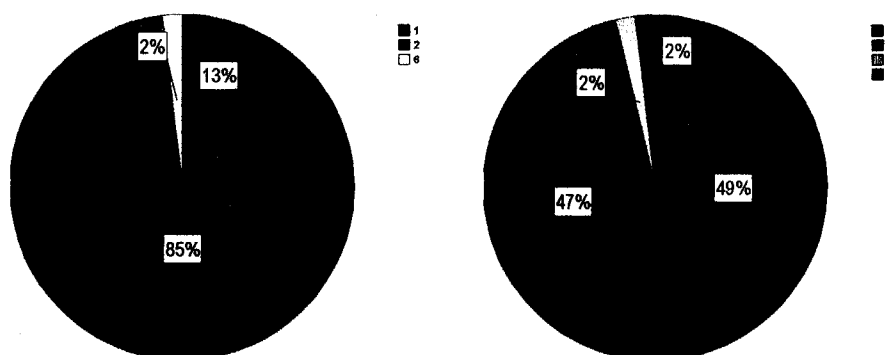


Gráfico 1A – Opção escolhida no pré-teste. **Gráfico 1B** – Opção escolhida no pós-teste.

A análise dos gráficos representados mostra que, ao iniciar-se o subtema “Em trânsito”, a quase totalidade dos alunos associa o conceito de aceleração a um aumento do valor da velocidade (resposta 1), havendo uma percentagem muito reduzida que considera a existência de aceleração quer quando há aumento de velocidade como quando há uma diminuição do valor dessa grandeza física (resposta 2). Esta percepção do conceito muda substancialmente após a intervenção feita com estes alunos.

Pelo gráfico correspondente aos resultados relativos ao pós-teste, gráfico 1B, verifica-se que aproximadamente 50% dos alunos que responderam ao questionário já associam a existência de aceleração tanto quando há aumento do valor da velocidade como quando há redução. Contudo, continua a ser muito significativo o número de alunos que ainda mantêm a ideia de que a aceleração apenas corresponde a um aumento do valor da velocidade.

2. Justificação dada

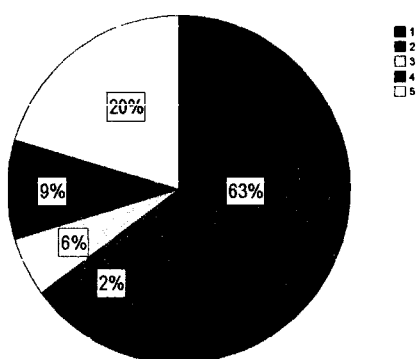


Gráfico 2A – Justificação no pré-teste.

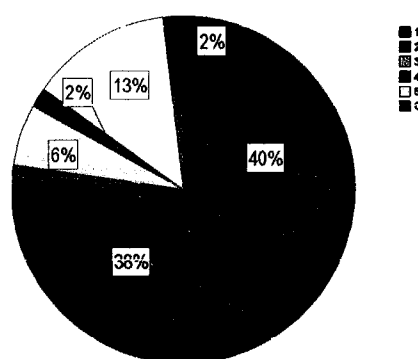


Gráfico 2B – Justificação no pós-teste.

Quando, no pré-teste, é analisada a justificação dada relativamente à opção escolhida, verifica-se que há concordância entre a opção escolhida e a justificação dada, ou seja, também na justificação há uma percentagem muito elevada de alunos a mostrarem a concepção errada de que a aceleração está apenas relacionada com um aumento do valor da velocidade (justificação 1) e somente uma percentagem reduzidíssima associa a existência de aceleração a uma variação não nula da velocidade (justificação 2).

Por exemplo, encontramos justificações do tipo:

- “A partir do ponto B o concorrente começa a travar para quando chegar ao ponto C já não ter aceleração”;
- “Só sofreu aceleração no percurso AB porque ao atingir o valor máximo permitido, ao chegar ao ponto B não pode acelerar mais”.

Estas justificações mostram de forma evidente a não conceptualização da grandeza física aceleração, dando-lhe apenas significado numa situação de aumento do valor da velocidade.

É ainda de realçar no pré-teste a percentagem considerável de alunos que para dar a justificação recorre à diferença de comprimento entre A e B e entre B e C, confundindo o conceito com a representação esquemática do problema. Este aliás é um facto recorrente que irá ser encontrado, mais adiante, noutros conceitos.

No pós-teste já há uma percentagem considerável de alunos que associa a aceleração à variação de velocidade, quer quando esta aumenta como quando diminui (justificação 2). Por exemplo, algumas respostas são do tipo “O motociclista sofreu aceleração nos dois percursos porque acelerou até ao ponto B e a aceleração desde o ponto B até ao ponto C foi negativa, logo sofreu aceleração nos dois percursos”. Contudo, não podemos deixar de realçar que cerca de 40% dos alunos que

responderam ao questionário terminaram o 3.º ciclo com a mesma concepção que tinham antes de ser leccionado o subtema, ou seja, de que a aceleração só existe quando há um aumento do valor da velocidade (justificação 1).

É ainda de realçar que, quer no pré-teste como no pós-teste, se identificam cerca de 6% de alunos que recorrem à linguagem corrente para justificar a opção feita, revelando, desse modo, ausência de linguagem científica adequada.

3. Opção vs Justificação

Tabela 7A – Opção vs Justificação no pré-teste.

			Justificação					Total
			1	2	3	4	5	
Opção	1	Frequência	2	0	1	2	2	7
		% Opção	28,6	0	14,3	28,6	28,6	100,0
		% Justificação	5,9	0	33,3	40,0	18,2	13,0
	2	Frequência	31	1	2	3	9	46
		% Opção	67,4	2,2	4,3	6,5	19,6	100,0
		% Justificação	91,2	100,0	66,7	60,0	81,8	85,2
	6	Frequência	1	0	0	0	0	1
		% Opção	100,0	0	0	0	0	100,0
		% Justificação	2,9	0	0	0	0	1,9
Total		Frequência	34	1	3	5	11	54
		% Opção	63,0	1,9	5,6	9,3	20,4	100,0
		% Justificação	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Na tabela 7A, é feito um cruzamento entre a opção escolhida e a justificação dada. Pode-se observar que dos 46 alunos que afirmam que só havia aceleração no percurso AB, 31 usam como justificação argumentos que estão de acordo com a opção escolhida, ou seja, ao justificar mostram que efectivamente acreditam que só há aceleração quando há aumento do valor da velocidade. Isto revela a importância da linguagem comum nas concepções prévias dos alunos, pois eles associam aceleração apenas ao acto de “acelerar”.

Por outro lado, dos 7 alunos que escolheram a opção correcta, nenhum utiliza uma justificação adequada, havendo mesmo 2 que consideram que para haver aceleração é necessário que o valor da velocidade aumente.

Tabela 7B – Opção vs Justificação no pós-teste.

			Justificação						Total
			1	2	3	4	5	6	
Opção	1	Frequência	3	18	2	0	3	0	26
		% Opção	11,5	69,2	7,7	0	11,5	,0	100,0
		% Justificação	14,3	90,0	66,7	0	42,9	,0	49,1

	2	Frequência	17	2	1	1	3	1	25
		% Opção	68,0	8,0	4,0	4,0	12,0	4,0	100,0
		% Justificação	81,0	10,0	33,3	100,0	42,9	100,0	47,2
	3	Frequência	1	0	0	0	0	0	1
		% Opção	100,0	0	0	0	0	0	100,0
		% Justificação	4,8	0	0	0	0	0	1,9
	4	Frequência	0	0	0	0	1	0	1
		% Opção	0	0	,0	0	100,0	0	100,0
		% Justificação	0	0	,0	0	14,3	0	1,9
Total		Frequência	21	20	3	1	7	1	53
		% Opção	39,6	37,7	5,7	1,9	13,2	1,9	100,0
		% Justificação	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Com a tabela 7B, referente aos dados do pós-teste, podemos observar grandes alterações na relação entre a opção escolhida e a justificação dada, relativamente aos resultados no pré-teste. Verifica-se que:

- dos alunos que escolheram a opção correcta (26), 69% justificaram de forma concordante a escolha feita;
- aqueles que consideram que apenas há aceleração no percurso AB (opção 2), que ainda são 25, 68% justifica de acordo com a opção escolhida, o que revela que não houve aprendizagem do conceito. Isto reforça o fortíssimo poder da linguagem comum, para manter as concepções erradas nos alunos como real alternativa à correcta interpretação dos conceitos.

4. Opção vs Situação

Tabela 8A – Opção vs Situação no pré-teste.

			Situação				Total
			1	2	3	5	
Opção	1	Frequência	0	1	2	4	7
		% Opção	0	14,3	28,6	57,1	100,0
		% Situação	0	33,3	15,4	16,7	13,0
	2	Frequência	14	2	10	20	46
		% Opção	30,4	4,3	21,7	43,5	100,0
		% Situação	100,0	66,7	76,9	83,3	85,2
	6	Frequência	0	0	1	0	1
		% Opção	0	0	100,0	0	100,0
		% Situação	0	0	7,7	0	1,9
Total		Frequência	14	3	13	24	54
		% Opção	25,9	5,6	24,1	44,4	100,0
		% Situação	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Pela análise da tabela 8A, que relaciona a opção escolhida com a situação descrita, verifica-se que só 3 alunos (5,6%) descrevem uma situação onde é realçada

a existência de aceleração, quer quando há aumento do valor da velocidade, como quando há redução. Cerca de 44% da totalidade dos alunos não descreve qualquer situação, ou seja, não é capaz de descrever um contexto em que intervenha o conceito. Isto é perfeitamente admissível dado que o conceito ainda não havia sido formalmente introduzido numa abordagem de sala de aula.

Tabela 8B – Opção vs Situação no pós-teste.

			Situação							Total
			1	2	3	4	5	6	7	
Opção	1	Frequência	4	11	2	0	6	1	2	26
		% Opção	15,4	42,3	7,7	0	23,1	3,8	7,7	100,0
		% Situação	57,1	55,0	25,0	0	54,5	50,0	50,0	49,1
	2	Frequência	3	9	6	1	4	1	1	25
		% Opção	12,0	36,0	24,0	4,0	16,0	4,0	4,0	100,0
		% Situação	42,9	45,0	75,0	100,0	36,4	50,0	25,0	47,2
	3	Frequência	0	0	0	0	0	0	1	1
		% Opção	0	0	0	0	0	0	100,0	100,0
		% Situação	0	0	0	0	0	0	25,0	1,9
	4	Frequência	0	0	0	0	1	0	0	1
		% Opção	0	0	0	0	100,0	0	0	100,0
		% Situação	0	0	0	0	9,1	0	0	1,9
Total		Frequência	7	20	8	1	11	2	4	53
		% Opção	13,2	37,7	15,1	1,9	20,8	3,8	7,5	100,0
		% Situação	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

- A tabela 8B, relativa ao pós-teste, mostra que:
- cerca de 38% dos alunos descreveu uma situação em que se denota que consideram que há aceleração sempre que ocorre variação de velocidade e destes, 55% tinha escolhido a opção correcta. Parece-nos que podemos inferir que para estes alunos houve efectivamente uma mudança conceptual no conceito de aceleração. Dos 38% de alunos que descrevem uma situação com o conceito correcto de aceleração, 45% haviam escolhido a opção 2 (aceleração associada apenas ao aumento de velocidade). Isto sugere uma evolução na aprendizagem do conceito, embora estes alunos revelam ainda não o ter interiorizado por completo. Em particular, parece haver uma barreira entre a definição conceptual e a sua contextualização.
 - mesmo depois de o conceito ter sido trabalho em contexto de sala de aula, ainda restam cerca de 21% de alunos que não arriscam qualquer descrição de uma situação que revele o conceito de aceleração;
 - 15% dos alunos continuam a utilizar apenas linguagem corrente para descrever uma situação em que consideravam que existia aceleração, depois de ter

sido leccionado o conceito; todavia este valor é bastante menor que o registado no pré-teste (24%), revelando uma melhoria na literacia científica.

5. Contexto escolhido

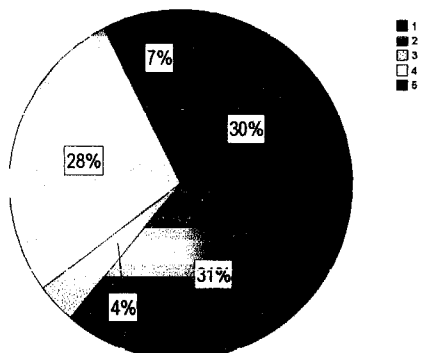


Gráfico 3A – Contexto no pré-teste.

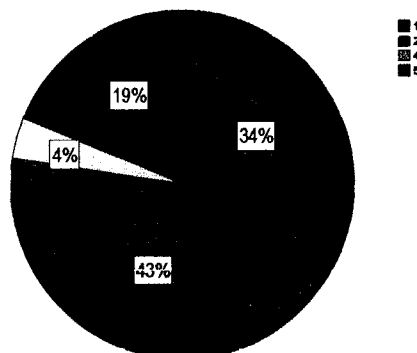


Gráfico 3B – Contexto no pós-teste.

Quando analisados os contextos em que os alunos “criam” situações em que consideram que há aceleração, verifica-se que recorreram fundamentalmente a contextos de desporto e de meios de transporte, tanto no pré-teste como no pós-teste. Contudo, no pós-teste é significativo o aumento percentual de exemplos com meios de transporte, certamente fruto dos contextos utilizados na sala de aula e da sua vivência diária.

Em síntese:

- Muitos alunos, mesmo depois de o conceito ter sido abordado formalmente, continuam a não associar uma aceleração às situações em que o valor da velocidade diminui;
- A linguagem corrente oferece uma forte oposição à construção de conceitos científicos.

5.2.2.2 – Conceito: rapidez

Ao contrário do conceito de aceleração, a rapidez é um conceito que já foi abordado no tema “Terra no Espaço”, pelo que no 9.º ano a sua exploração será fundamentalmente uma revisitação da abordagem ocorrida no 7.º ano.

A análise dos dados recolhidos relativamente ao conceito de rapidez, será feita do seguinte modo:

1. Opção 1 (Gráfico 4A e B)
2. Frase escolhida (Gráfico 5A e B)
3. Justificação dada (Gráfico 6A e B);

4. Relação entre a afirmação escolhida e a justificação (Tabela 9A e B);
5. Justificação dos alunos que dizem que não (Gráfico 7A e B)
6. Opção 2 (Gráfico 8A e B)
7. Justificação (Gráfico 9A e B)
8. Relação entre a opção e a justificação (Tabela 10A e B).

1. Opção 1 (resposta correcta: 2)

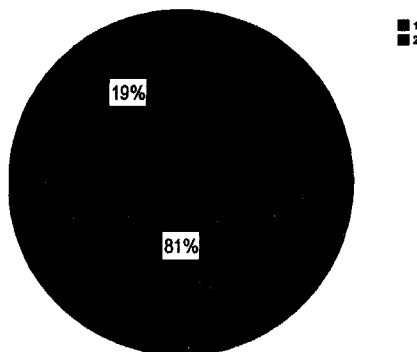


Gráfico 4A – Opção 1 no pré-teste.

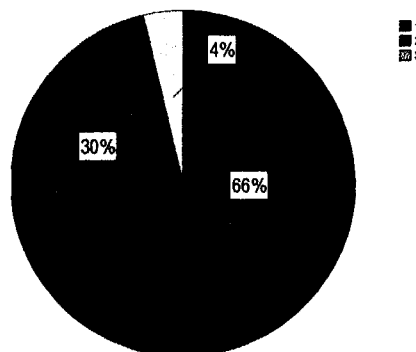


Gráfico 4B – Opção 1 no pós-teste.

Os gráficos 4 A e 4 B mostram-se que, do pré-teste para o pós-teste, houve um número significativo de alunos que reconheceu que nenhuma das afirmações define rapidez. Contudo, mesmo após o conceito ter sido revisitado, verifica-se haver um número considerável de alunos que ainda não fizeram uma aprendizagem significativa do conceito.

2. Frase escolhida

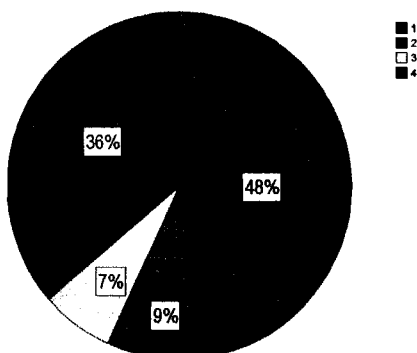


Gráfico 5A – Frase escolhida no pré-teste.

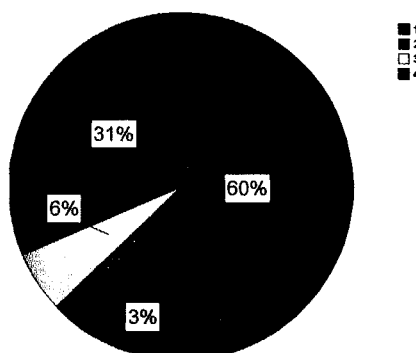


Gráfico 5B – Frase escolhida no pós-teste.

Estes gráficos mostram, para os alunos que consideraram que uma das frases definia rapidez, como se distribuiu a sua escolha. Antes de o conceito ser novamente leccionado, escolheram fundamentalmente a frase A, ou seja, os alunos consideravam

que rapidez é “o tempo que se demora a fazer qualquer coisa, de um ponto até outro.” No pós-teste, mais de metade dos alunos que considerou existir uma frase que definia rapidez continua a optar pela frase A e há alguns que passam a admitir que “rapidez é quando se atinge a velocidade máxima num curto intervalo de tempo” – frase D. Isto revela alguma ambiguidade (confusão) entre o termo “rápido” da linguagem comum e o conceito de “rapidez”: mais uma vez, as questões de linguagem actuam como obstáculo à aprendizagem conceptual.

3. Justificação dada (justificação correcta: 1)

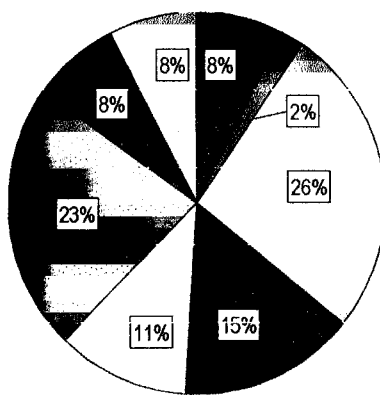


Gráfico 6A – Justificação no pré-teste.

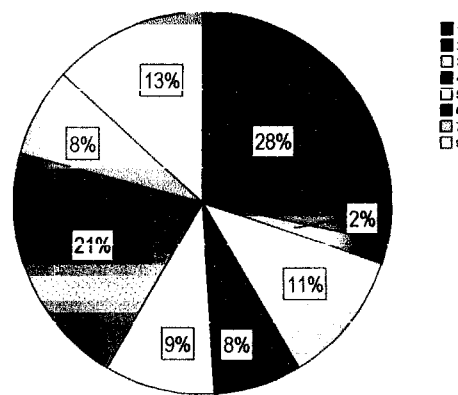


Gráfico 6B – Justificação no pós-teste.

No pré-teste, verificou-se que apenas 8% dos alunos relacionam a distância percorrida com o intervalo de tempo gasto. Ou seja, não tinham presente o conceito de rapidez. Por outro lado, cerca de um quarto dos alunos relacionam rapidez com tempo, isto é, “ser rápido” é “ter rapidez”, é “é fazer algo num curto intervalo de tempo”. Também é de realçar o facto de um número significativo de alunos considerar que a rapidez está relacionada com o “atingir a velocidade máxima”.

A análise do pós-teste mostra que mais de um quarto dos alunos (28%) passou a reconhecer e a relacionar os atributos da grandeza física rapidez. Contudo, é um facto que a maioria dos alunos continua sem o conceito de rapidez formado. De salientar o facto desse resultado se dever a uma redução do número de alunos que considera que a rapidez, é o tempo gasto ao realizar uma determinada função ou que é atingir a velocidade máxima.

4. Relação entre a afirmação escolhida e a justificação

Tabela 9A – Afirmação escolhida vs Justificação no pré-teste.

			Justificação							Total
			1	3	4	5	6	8	9	
Escolha	1	Frequência	2	8	0	1	5	3	2	21
		% Opção	9,5	38,1	0	4,8	23,8	14,3	9,5	100
		% Justificação	66,7	80,0	0	25,0	45,5	75,0	66,7	48,8
	2	Frequência	0	0	1	2	0	0	0	3
		% Opção	0	0	33,3	66,7	0	0	0	100
		% Justificação	0	0	12,5	50,0	0	0	0	7,0
	3	Frequência	0	1	0	0	1	1	0	3
		Opção	0	33,3	0	0	33,3	33,3	0	100
		% Justificação	0	10,0	0	0	9,1	25,0	0	7,0
	4	Frequência	1	1	7	1	5	0	1	16
		% Opção	6,3	6,3	43,8	6,3	31,3	0	6,3	100
		% Justificação	33,3	10,0	87,5	25,0	45,5	0	33,3	37,2
Total		Frequência	3	10	8	4	11	4	3	43
		% Opção	7,0	23,3	18,6	9,3	25,6	9,3	7,0	100
		% Justificação	100	100	100	100	100	100	100	100

Dos 21 alunos que consideram que “rapidez é o tempo que se demora a fazer qualquer coisa” (escolha 1), 38% reforça na justificação que “rapidez é o tempo” e cerca de 24% não responde. Por outro lado, dos 16 alunos que consideraram que “rapidez é quando se atinge a velocidade máxima num curto intervalo de tempo” (escolha 4), cerca de 31% não justifica a opção feita. Isto pode significar que os alunos têm memorizados certos chavões acerca do conceito, sem contudo, possuírem argumentação que fundamente a sua escolha (esta situação é típica dos processos de memorização de conceitos).

Tabela 9B – Afirmação escolhida vs Justificação no pós-teste.

			Justificação								Total
			1	2	3	4	5	6	7	9	
Escolha	1	Frequência	5	0	6	0	4	6	0	0	21
		% Opção	23,8	0	28,6	0	19,0	28,6	0	0	100
		% Justificação	83,3	0	100	0	80,0	60,0	0	0	60
	2	Frequência	0	0	0	0	1	0	0	0	1
		% Opção	0	0	0	0	100	0	0	0	100
		% Justificação	0	0	0	0	20,0	0	0	0	2,9
	3	Frequência	1	1	0	0	0	0	0	0	2
		% Opção	50,0	50,0	0	0	0	0	0	0	100
		% Justificação	16,7	100	0	0	0	0	0	0	5,7
	4	Frequência	0	0	0	4	0	4	1	2	11
		% Opção	0	0	0	36,4	0	36,4	9,1	18,2	100
		% Justificação	0	0	0	100	0	40,0	100	100	31,4

Total	Frequência	6	1	6	4	5	10	1	2	35
	% Opção	17,1	2,9	17,1	11,4	14,3	28,6	2,9	5,7	100
	% Justificação	100	100	100	100	100	100	100	100	100

No pós-teste, dos 35 alunos que continuam a considerar que alguma das afirmações define rapidez, 21 admite que a afirmação A é a correcta. Ao justificarem, 24% relaciona a distância percorrida com o intervalo de tempo e 29% reforça que “rapidez é o tempo”.

5. Justificação dos alunos que respondem “não” na Opção 1

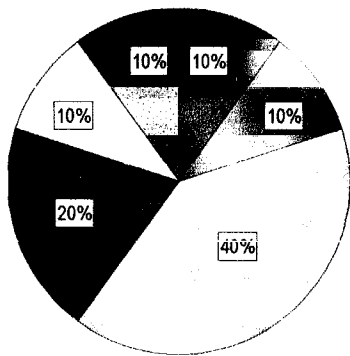


Gráfico 7A – Não: justificação no pré-teste.

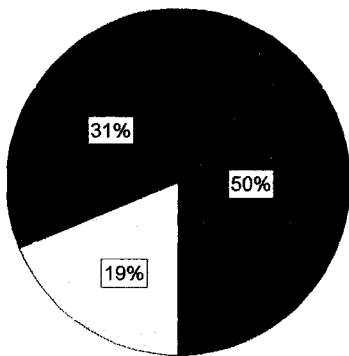


Gráfico 7B – Não: justificação no pós-teste.

Os gráficos evidenciam a justificação dada pelos alunos que dizem que nenhuma das afirmações define rapidez.

No pré-teste, 40% desses alunos dizem que nenhuma das frases define rapidez dado que a rapidez é um tempo (apesar de haver uma opção com um texto muito semelhante). Já no pós-teste, 50% dos alunos que consideram que nenhuma frase define rapidez, justifica dizendo que esta grandeza é dada pela razão entre a distância percorrida e o intervalo de tempo. Na realidade, após a intervenção, há um grupo de alunos que identifica de forma correcta os atributos da grandeza física rapidez.

6. Opção 2 (resposta correcta: 2)

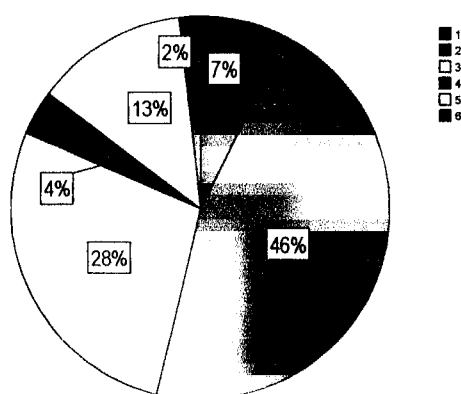


Gráfico 8A – Opção 2 no pré-teste.

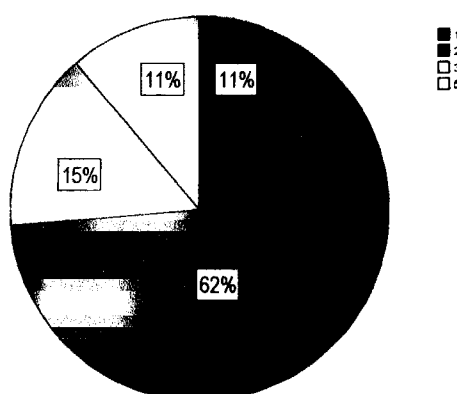


Gráfico 8B – Opção 2 no pós-teste.

Apesar das dificuldades que os alunos revelaram em associar os atributos correctos ao termo “rapidez”, quando lhes é pedido que relacionem dados quantitativos para identificar a qual dos sistemas melhor se adequa a expressão “a rapidez pode ser lenta”, cerca de 50% identifica correctamente logo no pré-teste e cerca de 75% no pós-teste. Refira-se que para esta resposta, os alunos necessitavam de fazer um pequeno cálculo numérico (que não lhes era dito), dividindo a distância percorrida pelo intervalo de tempo.

7. Justificação 2 (justificação correcta: 2)

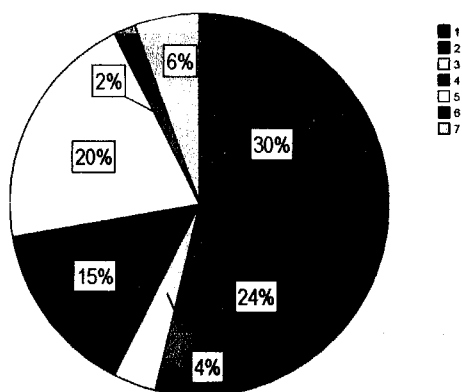


Gráfico 9A – Justificação 2 no pré-teste.

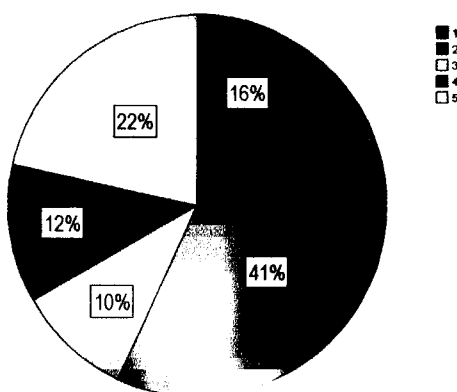


Gráfico 9B – Justificação 2 no pós-teste.

No pré-teste, houve um número considerável de alunos que justificou correctamente qual dos “sistemas” tinha menor rapidez (24%), mas também há um número significativo de alunos que tenta dar a justificação recorrendo às informações sobre a massa e a temperatura (30%), presentes na tabela dada.

No pós-teste o número de alunos que recorre a esses dois dados diminui para metade e aumenta o daqueles que utilizam de forma correcta a definição do conceito para determinar o sistema com rapidez mais lenta (41%).

8. Relação entre a opção e a justificação

Tabela 10A – Opção vs Justificação no pré-teste.

			Justificação							Total
			1	2	3	4	5	6	7	
Opção	1	Frequência	4	0	0	0	0	0	0	4
		% Opção	100,0	0	0	0	0	0	0	100
		% Justificação	25,0	0	0	0	0	0	0	7,4
	2	Frequência	5	11	0	6	1	0	2	25
		% Opção	20,0	44,0	0	24,0	4,0	0	8,0	100
		% Justificação	31,3	84,6	0	75,0	0	0	66,7	46,3
	3	Frequência	6	1	2	2	3	1	0	15
		% Opção	40,0	6,7	13,3	13,3	20,0	6,7	0	100
		% Justificação	37,5	7,7	100,0	25,0	27,3	100,0	0	27,8
	4	Frequência	1	0	0	0	0	0	1	2
		% Opção	50,0	0	0	0	0	0	50,0	100
		% Justificação	6,3	0	0	0	0	0	33,3	3,7
	5	Frequência	0	0	0	0	7	0	0	7
		% Opção	0	0	0	0	100,0	0	0	100
		% Justificação	0	0	0	0	63,6	0	0	13,0
	6	Frequência	0	1	0	0	0	0	0	1
		% Opção	0	100,0	0	0	0	0	0	100
		% Justificação	0	7,7	0	0	0	0	0	1,9
Total		Frequência	16	13	2	8	11	1	3	54
		% Opção	29,6	24,1	3,7	14,8	20,4	1,9	5,6	100
		% Justificação	100	100	100	100	100	100	100	100

No pré-teste, dos 25 alunos que consideram que é o atleta que possui uma “rapidez lenta” (46% do total dos alunos), menos de metade (mais precisamente 44%) relaciona de forma correcta a distância percorrida com o intervalo de tempo. 20% recorre à massa e/ou à temperatura para justificar a escolha dessa opção e 28% apresenta argumentos sem significado físico, ou então não responde.

Tabela 10B – Opção vs Justificação no pós-teste.

			Justificação					Total
			1	2	3	4	5	
Opção	1	Frequência	2	1	1	1	1	6
		% Opção	33,3	16,7	16,7	16,7	16,7	100
		% Justificação	25,0	4,8	20,0	16,7	9,1	11,8

	2	Frequência	4	17	3	4	5	33
		% Opção	12,1	51,5	9,1	12,1	15,2	100
		% Justificação	50,0	81,0	60,0	66,7	45,5	64,7
	3	Frequência	2	3	1	1	1	8
		% Opção	25,0	37,5	12,5	12,5	12,5	100
		% Justificação	25,0	14,3	20,0	16,7	9,1	15,7
	5	Frequência	0	0	0	0	4	4
		% Opção	0	0	0	0	100,0	100
		% Justificação	0	0	0	0	36,4	7,8
Total		Frequência	8	21	5	6	11	51
		% Opção	15,7	41,2	9,8	11,8	21,6	100
		% Justificação	100	100	100	100	100	100

No pós-teste, dos 33 alunos que escolheram a 2.^a opção (opção correcta), cerca de 52% justifica correctamente por que razão é o atleta que possui “rapidez mais lenta”. Contudo, tal como já foi referido anteriormente, cerca de 16% do total de alunos que responderam ao questionário, recorre a atributos inadequados para justificar, isto é, justificam com base na massa e na temperatura dos sistemas. Os resultados obtidos no pré-teste e no pós-teste relativamente à opção 2 e justificação 2, sugerem que os alunos estão “treinados” para fazerem aplicações numéricas do conceito, usando fórmulas que memorizam, mas que não reflectem a aprendizagem do seu significado físico.

Em síntese:

- Devido à linguagem corrente, muitos alunos confundem rapidez com rápido, o que se traduz no facto de não considerarem situações com significado físico em que a “rapidez é lenta”;
- Quando são fornecidos dados de distâncias percorridas e intervalos de tempo gastos em percorrê-los, vários alunos conseguem aplicar correctamente a “fórmula” para determinar a rapidez; contudo o estudo realizado evidencia falhas graves na aprendizagem efectiva do conceito: este é o resultado previsível da memorização de um conceito formal.

5.2.2.3 – Conceitos: peso e massa

Em Física, os conceitos de peso e massa são formalmente abordados pela primeira vez no 7.º ano, no tema Terra no Espaço. Contudo, no 1.º ciclo, em Estudo do

Meio, os alunos têm um primeiro contacto (embora sem grande rigor científico) com esses conceitos, embora nem sempre abordados com uma linguagem adequada.

Para estes conceitos faremos a seguinte análise:

1. Opção escolhida (Gráfico 10A e B)
2. Frase relativa a massa (Gráfico 11A e B)
3. Frase relativa a peso (Gráfico 12A e B);

1. Opção escolhida (resposta correcta: 3)

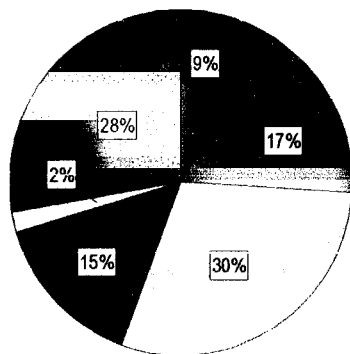


Gráfico 10A – Opção no pré-teste.

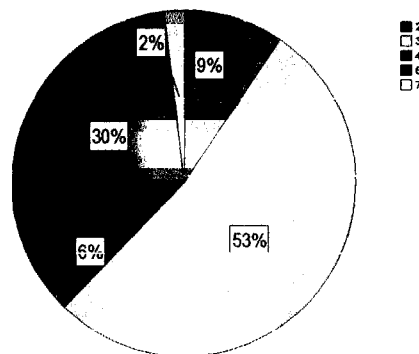


Gráfico 10B – Opção no pós-teste.

O gráfico relativo ao pré-teste mostra que 30% dos alunos consideram que “a massa de vapor de água é igual à massa de água líquida”, ou seja, escolhem a opção correcta. Contudo, há também um número considerável que admite que “a massa de vapor de água é menor que a massa de água líquida” e que “o peso de vapor de água é igual ao peso de água líquida” (respostas 2 e 5), apesar de as medições serem feitas na Terra e na Lua.

No pós-teste, mais de 50% dos alunos escolhe a única opção correcta, mas ainda há vários a considerarem que “a massa de vapor de água é menor que a massa de água líquida”.

2. Frase relativa a massa

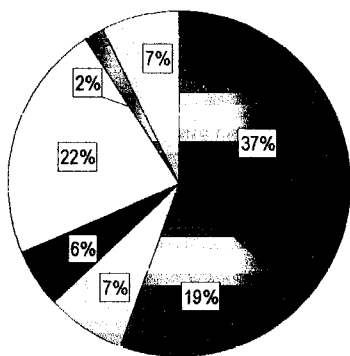


Gráfico 11A – Frase no pré-teste.

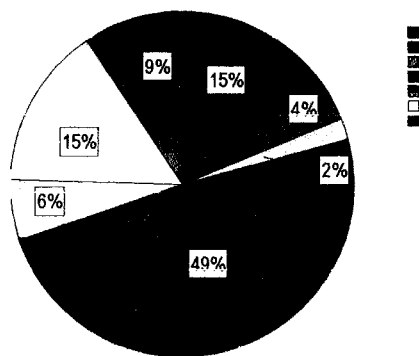


Gráfico 11B – Frase no pós-teste.

No pré-teste verificamos que uma percentagem muito considerável de alunos considera que “massa é o peso” (37%). Outros confundem massa com volume e com densidade. Há, também, 6% de alunos que relaciona a massa de um corpo com a quantidade de matéria que o constitui e 7% que relaciona com a densidade. Relacionar a massa com a densidade resulta, provavelmente, do facto de no dia a dia se dizer que um corpo flutua ou não flutua como consequência da sua massa. De realçar que nenhum aluno relaciona a massa com a grandeza medida no instrumento de medida, ou seja, com a balança.

No pós-teste diminui significativamente o número de alunos que admitem que “a massa é o peso”. Cerca de metade relaciona a massa com “a quantidade de matéria existente no corpo”, ou seja, utiliza a definição operacional de massa para definir o conceito.

De realçar que depois de ter sido abordado o conceito de massa, construído o glossário e integrado num mapa de conceitos:

- alguns alunos ainda evidenciam ausência de linguagem científica para exprimir o que entendem por massa de um corpo;
- alguns alunos já relacionam a massa com a grandeza medida no instrumento de medida.
- nenhum aluno escreve uma frase que evidencie que a massa é uma característica do corpo.

Parece-nos que podemos considerar que estes resultados revelam um avanço considerável na aprendizagem do conceito de massa.

3. Frase relativa a peso

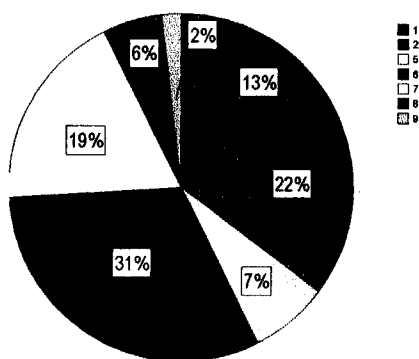


Gráfico 12A – Frase no pré-teste.

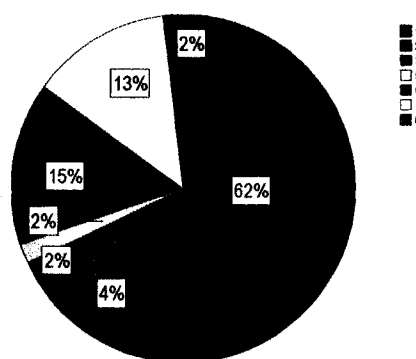


Gráfico 12B – Frase no pós-teste.

Relativamente ao conceito de peso, no pré-teste verifica-se que:

- uma percentagem reduzida de alunos relaciona o peso com a força gravítica ou reconhece que se trata de uma força (frase 1);

- 31% não escreve qualquer frase ou não tem qualquer opinião sobre o conceito.
- 22% admite que “o peso é a massa”; (apesar de tudo, trata-se de um valor percentual inferior aos que consideraram que “massa é o peso”, o que revela alguma falta de coerência nas respostas, ou então definições alternativas para o peso);
- uma percentagem considerável evidencia falta de linguagem científica (literacia científica) para expressar o que entende por peso (frase 7).

Mais uma vez é de realçar o facto de nenhum aluno associar o peso de um corpo à grandeza medida no instrumento de medida, ou seja, ao dinamómetro.

No pós-teste, mais de 65% dos alunos associa o peso à força gravítica ou considera que o peso é uma força. Todavia, continua a haver um número considerável de alunos a revelar falta de linguagem científica para escrever uma frase sobre o conceito de peso, que é apenas ligeiramente inferior ao do pré-teste (19% no pré-teste e 13% no pós-teste). Por outro lado, já há alunos a introduzir o termo “dinamómetro” na frase que escreve, mostrando possuir a definição operacional do conceito. Apenas uma reduzida percentagem ainda confunde o peso com a massa (4%) ou com a pressão (2%). Já nenhum aluno afirma que peso é o volume.

De uma maneira geral, parece-nos ter havido uma evolução muito positiva na compreensão do conceito, revelando os alunos possuir, na sua grande maioria (77%), quer a definição operacional, quer a definição geralmente aceite (opções 1 + 6).

Em síntese:

- Antes da intervenção, muitos alunos consideravam que massa e peso são a mesma grandeza física. Admitimos que esta confusão é simultaneamente resultado da dificuldade associada ao conceito de peso e da ambiguidade desses termos na linguagem corrente.
- Após a intervenção, alguns alunos utilizam uma definição operacional de massa e associam o peso à força gravítica a que o corpo está submetido; isto mostra que o ensino do conceito foi feito com base numa das definições encontradas na literatura.
- Poucos alunos referem que as grandezas massa e peso podem ser determinadas, respectivamente, numa balança e num dinamómetro.



– Conceito: movimento

Tal como os conceitos de peso e massa, também o conceito de movimento foi abordado pela primeira vez no 7.º ano, no tema Terra no Espaço.

Este conceito será analisado nas seguintes vertentes:

1. Opção escolhida (Gráfico 13A e B)
2. Desenho (Gráfico 14A e B)
3. Contexto (Gráfico 15A e B);

1. Opção escolhida (resposta correcta: 2)

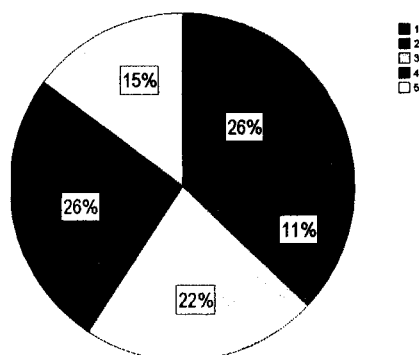


Gráfico 13A – Opção no pré-teste.

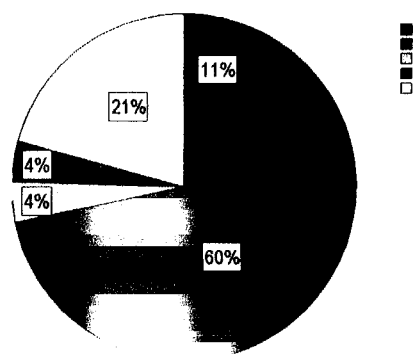


Gráfico 13B – Opção no pós-teste.

No pré-teste, é muito reduzido o número de alunos que conclui que se os carros se deslocam na mesma estrada rectilínea e com igual valor de velocidade, não estão em movimento um em relação ao outro (apenas 11%). Muitos admitem que “não se pode saber se um está em movimento em relação ao outro” (26%).

Contudo, no pós-teste cerca de 75% dos alunos já identifica que os dois veículos não estão em movimento um em relação ao outro. Isto revela uma boa assimilação do conceito de movimento relativo.

2. Desenho

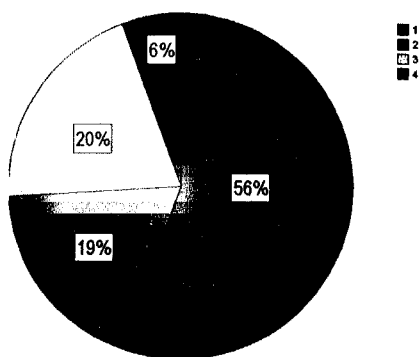


Gráfico 14A – Desenho no pré-teste.

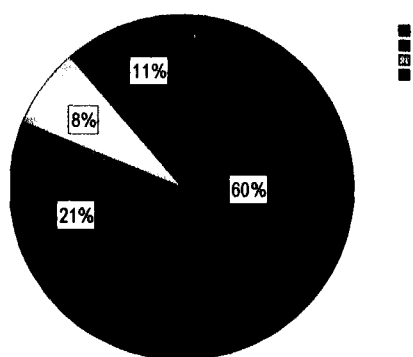


Gráfico 14B – Desenho no pós-teste.

No desenho realizado, tanto no pré-teste como no pós-teste, há mais de 50% de alunos a fazerem referência ao referencial, elemento fundamental para discutir a existência ou não de movimento. No entanto, não se registou um aumento significativo do pré-teste para o pós-teste. De referir que no desenho do pré-teste, há alunos que

desenham o referencial sem contudo lhe ser atribuída a importância na construção do conceito.

Tendo em conta os resultados obtidos com a opção da frase escolhida, concluímos que parece haver inicialmente uma ideia não interiorizada da necessidade de um referencial para descrever o movimento dos objectos, que muda substancialmente com a intervenção feita, revelando aprendizagem efectiva.

3. Contexto

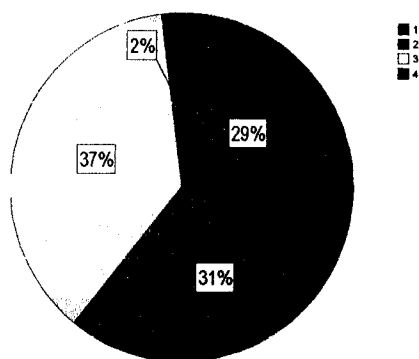


Gráfico 15A – Contexto no pré-teste.

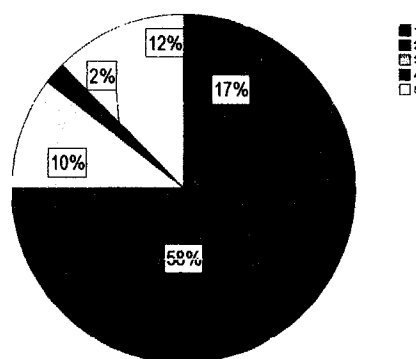


Gráfico 15B – Contexto no pós-teste.

No pré-teste, os contextos mais utilizados para expressar o que entendiam por “movimento” estão relacionados com o desporto e os meios de transporte.

No pós-teste, é reforçado o contexto dos meios de transporte. Este facto talvez tenha a ver com:

- a vivência diária dos alunos, já que os meios de transporte são fundamentais à mobilidade;
- os exemplos que são tratados nos manuais escolares disponíveis para os alunos deste nível etário.

Este resultado reforça a importância dos exemplos (dados na sala de aula e nos manuais escolares) na aprendizagem dos alunos e do efeito que os exemplos produzem na abordagem de conceitos formais.

O recurso permanente a exemplos tipificados pode reduzir o grau de abrangência do conceito, associando-o apenas a certos contextos e por isso dificultando a aprendizagem de atributos mais gerais. Dai a importância de visitar conceitos em contextos diversificados e mais enriquecidos e da aprendizagem numa perspectiva de resolução de problemas.

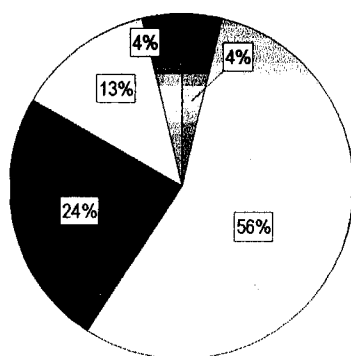
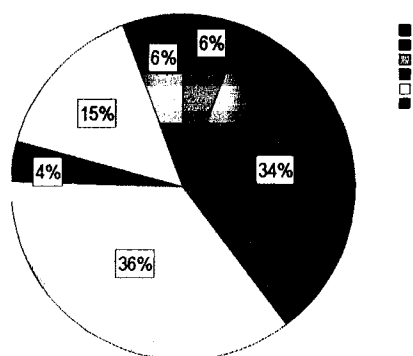
Em síntese:

- Após a intervenção, vários alunos conseguem concluir que se os veículos se movem com igual valor de velocidade na mesma estrada e no mesmo sentido, então não estão em repouso um em relação ao outro;
- A importância do referencial no conceito de movimento parece ter ficado interiorizado após a intervenção.
- Os contextos utilizados são basicamente os abordados na sala de aula ou os que estão relacionados com a sua mobilidade.

5.2.2.5 – Conceito: pressão

O termo pressão é frequentemente utilizado na linguagem corrente. Contudo, a definição formal deste conceito só é tratada a nível do 9.º ano, e nem sempre o termo é usado de forma cientificamente correcta. Partindo do contexto do *Rali Lisboa-Dakar*, decorrido em Janeiro de 2006, pretendemos estudar as concepções dos alunos relativamente ao conceito de pressão. Este será analisado nas seguintes vertentes:

1. Frase sobre pressão (Gráfico 16A e B)
2. Opção escolhida (Gráfico 17A e B)
3. Justificação (Gráfico 18A e B);
4. Relação entre a opção escolhida e a justificação (Tabela 11A e B)

1. Frase sobre pressão (frase correcta: 2)**Gráfico 16A** – Frase no pré-teste.**Gráfico 16B** – Frase no pós-teste.

Na análise dos gráficos anteriores é de realçar o facto de:

- no pré-teste, 56% dos alunos considerarem que a pressão é uma força. No pós-teste, a percentagem dos que continuam com a mesma percepção é de 36%, o que traduz uma redução considerável;
- no pré-teste haver alunos a associarem o termo pressão a efeitos biológicos / psicológicos (4%);

- no pós-teste haver 34% de alunos a relacionarem correctamente a força exercida com a área em que é exercida, ou seja, têm presentes os atributos do conceito de pressão.

2. Opção escolhida (resposta correcta: 4)

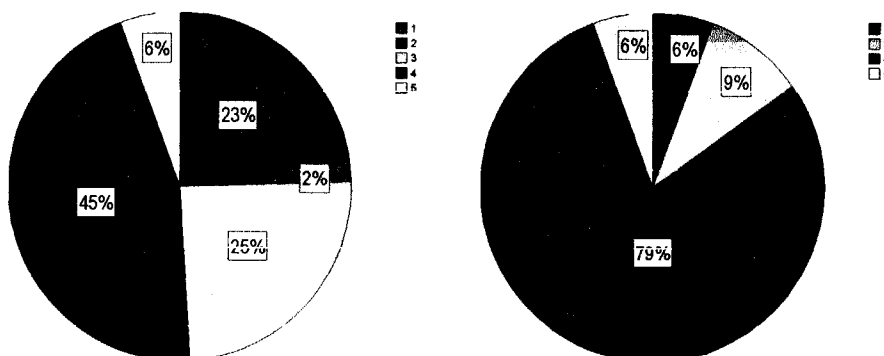


Gráfico 17A – Opção escolhida no pré-teste. **Gráfico 17B** – Opção escolhida no pós-teste.

No gráfico relativo ao pré-teste verifica-se que 45% dos alunos identificam a opção 4 – opção correcta –, aumentando essa escolha no pós-teste para 79%. No entanto, é de realçar que tanto no pré-teste como no pós-teste, há alunos a considerarem que durante o movimento do veículo, enquanto o combustível vai sendo consumido, a pressão pode diminuir e depois aumentar (opção 3). Esta análise talvez seja devida ao facto de associarem a forma do gráfico à trajectória descrita pelos veículos, durante o rali através do deserto.

É também de realçar que, no pré-teste, 23% dos alunos consideram que durante a prova a pressão dos pneus sobre o solo aumenta. Já no pós-teste só 6% faz esta escolha.

3. Justificação

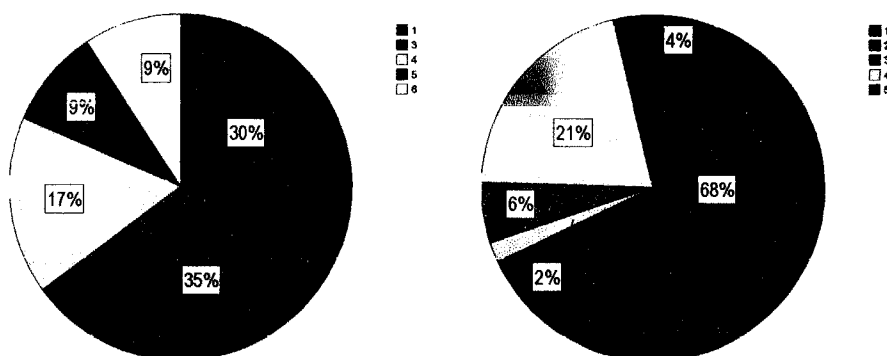


Gráfico 18A – Justificação no pré-teste. **Gráfico 18B** – Justificação no pós-teste.

No pré-teste, 35% dos alunos justificam a opção feita com uma resposta sem significado físico; no pós-teste, só 6% dá esse tipo de resposta. Se analisarmos a percentagem de alunos que associa a diminuição da pressão à diminuição do peso do veículo, verificamos que no pré-teste são 30%, contra 70% no pós-teste (destes, 2% de alunos no pós-teste justifica a sua escolha com a diminuição do peso, mando-se a área), o que evidencia uma melhor compreensão do conceito de pressão após a intervenção realizada.

É, ainda, de salientar que:

- apenas no pré-teste, 9% dos alunos revelam ausência de linguagem científica para justificar a escolha que fizeram;
- tanto no pré-teste como no pós-teste, há alunos que justificam a escolha feita recorrendo à forma do gráfico.

4. Relação entre a opção escolhida e a justificação

Tabela 11A – Opção escolhida vs Justificação no pré-teste.

			Justificação					Total
			1	3	4	5	6	
Opção	1	Frequência	1	5	2	1	3	12
		% Opção	8,3	41,7	16,7	8,3	25,0	100
		% Justificação	6,3	27,8	22,2	20,0	60,0	22,6
	2	Frequência	0	0	1	0	0	1
		% Opção	0	0	100,0	0	0	100
		% Justificação	0	0	11,1	0	0	1,9
	3	Frequência	1	7	0	4	1	13
		% Opção	7,7	53,8	0	30,8	7,7	100
		% Justificação	6,3	38,9	0	80,0	20,0	24,5
	4	Frequência	14	6	3	0	1	24
		% Opção	58,3	25,0	12,5	0	4,2	100
		% Justificação	87,5	33,3	33,3	0	20,0	45,3
	5	Frequência	0	0	3	0	0	3
		% Opção	0	0	100	0	0	100
		% Justificação	0	0	33,3	0	0	5,7
Total		Frequência	16	18	9	5	5	53
		% Opção	30,2	34,0	17,00	9,4	9,4	100
		% Justificação	100	100	100	100	100	100

A análise da tabela anterior mostra que dos 24 alunos que escolhem a opção 4 – opção correcta – cerca de 58% justifica a opção feita argumentando que durante a prova, há uma diminuição da pressão porque diminui o peso do veículo. É também significativo que dos 13 alunos que escolhem a opção 3, 7 dão uma resposta sem significado e 4 evidenciam de forma clara, confusão entre a variação da pressão e a

possível forma da trajectória, o que pode significar falta de competências básicas na interpretação de gráficos.

Tabela 11B – Opção escolhida vs Justificação no pós-teste

			Justificação					Total
			1	2	3	4	5	
Opção	1	Frequência	1	0	0	2	0	3
		% Opção	33,3	0	0	66,7	0	100
		% Justificação	2,8	0	0	18,2	0	5,7
	3	Frequência	0	0	2	2	1	5
		% Opção	0	0	40,0	40,0	20,0	100,0
		% Justificação	0	0	66,7	18,2	50,0	9,4
	4	Frequência	35	1	1	4	1	42
		% Opção	83,3	2,4	2,4	9,5	2,4	100
		% Justificação	97,2	100	33,3	36,4	50,0	79,2
	5	Frequência	0	0	0	3	0	3
		% Opção	0	0	0	100	0	100
		% Justificação	0	0	0	27,3	0	5,7
Total		Frequência	36	1	3	11	2	53
		% Opção	67,9	1,9	5,7	20,8	3,8	100
		% Justificação	100	100	100,0	100	100	100

Esta tabela, relativa ao pós-teste, mostra que dos 42 alunos que escolhem a opção 4, cerca de 86% (soma das justificações 1 e 2) justifica a opção feita com base na diminuição do peso do veículo, dado que o combustível se vai gastando. De entre eles, há um aluno que de forma clara relaciona a pressão com a diminuição da força exercida sobre o solo e com o facto de se manter constante a área de contacto entre o veículo e o solo.

Em síntese:

- Para um número considerável de alunos, antes e depois da intervenção, a pressão é sinónimo de força;
- Após a intervenção há um aumento significativo de alunos que identificam e relacionam de força correcta as duas grandezas de que depende a pressão.

Força – Conceito: força

O conceito de força é abordado pela primeira vez no 7.º ano, no subtema “Planeta Terra”, com a finalidade de explicar por que motivo a Lua não cai para a Terra ou os planetas para o Sol. É um dos conceitos fundamentais de toda a mecânica e um dos mais usados no estudo da Física. É, contudo, nossa opinião que a abordagem

formal deste conceito deverá ser realizada um pouco mais tarde, dado que no início do 3.º ciclo os alunos ainda não têm destreza para, por exemplo, compreender a diferença entre grandeza escalar e vectorial, tão importante para a compreensão conceptual deste conceito (e não só!...)

O conceito de “força” será analisado nos seguintes itens:

1. Opção 1 (Gráfico 19A e B)
2. Opção 2 (Gráfico 20A e B)
3. Justificação (Gráfico 21A e B);
4. Relação entre a opção 1 e a justificação (Tabela 12A e B)
5. Relação entre a opção 2 e a justificação (Tabela 13A e B)
6. Desenho (Gráfico 22A e B);
7. Contexto (Gráfico 23A e B);

1. Opção 1 (resposta correcta: 2)

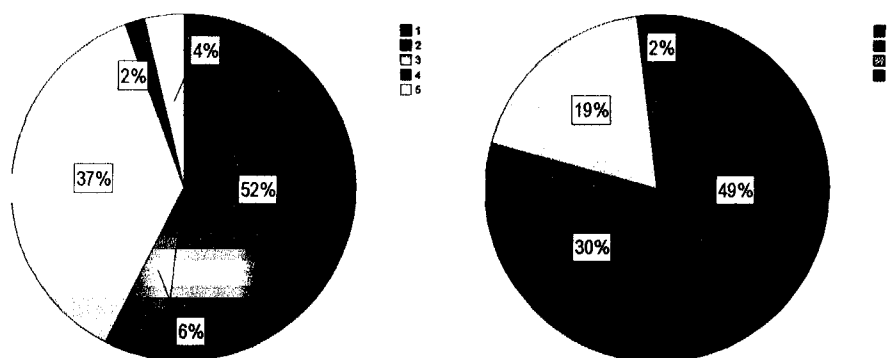


Gráfico 19A – Opção 1 no pré-teste.

Gráfico 19B – Opção 1 no pós-teste.

Ao analisar o gráfico 19A, relativo ao pré-teste, verificamos que apenas 6% dos alunos consideram que “depois do chute, a força exercida deixa de actuar na bola”. Por outro lado,

- 52% admite que “depois do chute a força continua a actuar na bola”;
- 37% possui a concepção de que “força” e “velocidade” são a mesma coisa, já que consideram que “depois do chute a bola move-se com força”.

Contudo, por incompreensível que pareça, há um aluno que acredita que “depois do chute a bola não se move porque não há força”.

No pós-teste, é significativo o aumento percentual de alunos que consideram que a força, depois do chute, deixa de actuar (30%). Contudo, mesmo depois da intervenção realizada, 49% dos alunos continuam com a concepção de que, mesmo depois do chute, a força continua a actuar. É também preocupante continuar a haver 19% de alunos a admitirem que “a bola se move com força”.

Novamente verificamos que a linguagem comum tem uma influência extremamente grande na aprendizagem de conceitos de Física, traduzindo-se na dificuldade que os professores de Física sentem, quando pretendem dar significado científico a alguns termos utilizados simultaneamente na linguagem corrente e em ciência.

2. Opção 2

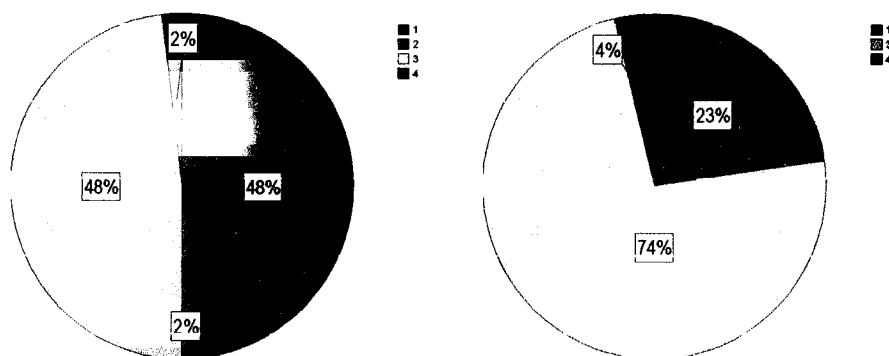


Gráfico 20A – Opção 2 no pré-teste. **Gráfico 20B** – Opção 2 no pós-teste.

Quando se perguntou aos alunos se a frase “A força faz algo se mover” seria verdadeira, falsa ou incompleta, verificamos que:

- no pré-teste, 48% dos alunos consideraram que era verdadeira e igual percentagem admitiu que era incompleta. Apenas 2% considera que a frase é falsa (resposta 2);
- no pós-teste, a percentagem de alunos que continua a considerar a frase verdadeira diminui para 23% e agora 74% admite que é incompleta. Deixa de haver alunos a classificar a frase como falsa.

3. Justificação

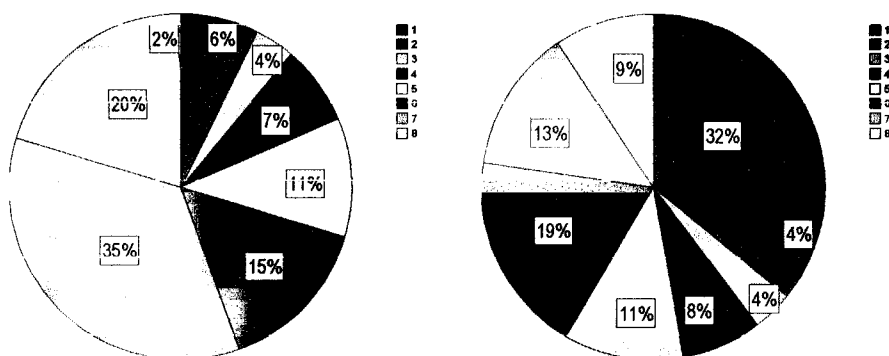


Gráfico 21A – Justificação no pré-teste. **Gráfico 21B** – Justificação no pós-teste.

Ao analisar o gráfico 21A, relativo à justificação dada no pré-teste, verificamos que houve variadíssimas respostas. Por exemplo, 6% relaciona a força com a velocidade (justificação 2), 7% apresenta influências da linguagem comum (justificação 4) e 26% não responde ou a resposta não tem significado (justificações 5 e 6). Todavia, a maioria (35%) considera que para existir movimento é necessário existir uma força (concepção aristotélica). Por outro lado, 20% confunde força com velocidade, ou seja, utiliza características da velocidade quando pretende referir-se à força (justificação 8).

No pós-teste (gráfico 21B), 32% já relaciona a força com a existência de variação de velocidade. No entanto, ainda há 13% de alunos que considera que só há movimento se existir uma força a actuar e 30% não responde ou responde sem significado. Estes resultados mostram como é difícil a aprendizagem deste conceito, mesmo quando se utilizam estratégias específicas para a sua conceptualização.

4. Relação entre a opção 1 e a justificação

Tabela 12A – Opção 1 vs Justificação no pré-teste

			Justificação								Total
			1	2	3	4	5	6	7	8	
Opção1	1	Frequência	0	2	2	3	3	4	10	4	28
		% Opção1	0	7,1	7,1	10,7	10,7	14,3	35,7	14,3	100
		% Justificação	0	66,7	100	75,0	50,0	50,0	52,6	36,4	51,9
	2	Frequência	0	0	0	0	0	0	2	1	3
		% Opção1	0	0	0	0	0	0	66,7	33,3	100
		% Justificação	0	0	0	0	0	0	10,5	9,1	5,6
	3	Frequência	1	1	0	1	3	2	7	5	20
		% Opção1	5,0	5,0	0	5,0	15,0	10,0	35,0	25,0	100
		% Justificação	100	33,3	0	25,0	50,0	25,0	36,8	45,5	37,0
	4	Frequência	0	0	0	0	0	1	0	0	1
		% Opção1	0	0	0	0	0	100	0	0	100
		% Justificação	0	0	0	0	0	12,5	0	0	1,9
	5	Frequência	0	0	0	0	0	1	0	1	2
		% Opção1	0	0	0	0	0	50,0	0	50,0	100
		% Justificação		0	0	0	0	12,5	0	9,1	3,7
Total		Frequência	1	3	2	4	6	8	19	11	54
		% Opção1	1,9	5,6	3,7	7,4	11,1	14,8	35,2	20,4	100
		% Justificação	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Da análise desta tabela podemos verificar que no pré-teste:

- dos 28 alunos que consideram que a força continua a actuar depois do chuto, cerca de 36% admite na justificação que para existir movimento é necessária a actuação de uma força (concepção aristotélica);

- os 3 alunos que escolhem a opção que refere que a força deixa de actuar depois do chuto, justificam a sua escolha considerando que para haver movimento tem de haver uma força ou fazem confusão entre força e velocidade. Assim, nem esses 3 alunos revelam ter uma concepção correcta do conceito de força;
- dos 20 alunos que escolhem a opção que refere que “Depois do chuto a bola move-se com força.”, 7 têm a concepção de que para existir movimento tem de existir uma força e 5 fazem confusão entre força e velocidade.

Tabela 12B – Opção 1 vs Justificação no pós-teste

			Justificação								Total
			1	2	3	4	5	6	7	8	
Opção1	1	Frequência	7	0	2	2	3	3	5	4	26
		% Opção1	26,9	0	7,7	7,7	11,5	11,5	19,2	15,4	100
		% Justificação	41,2	0	100	50,0	50,0	30,0	71,4	80,0	49,1
	2	Frequência	9	0	0	1	2	3	1	0	16
		% Opção1	56,3	0	0	6,3	12,5	18,8	6,3	0	100
		% Justificação	52,9	0	0	25,0	33,3	30,0	14,3	0	30,2
	3	Frequência	1	2	0	1	1	3	1	1	10
		% Opção1	10,0	20	0	10,0	10,0	30,0	10,0	10,0	100
		% Justificação	5,9	100	0	25,0	16,7	30,0	14,3		18,9
	6	Frequência	0	0	0	0	0	1	0		1
		% Opção1	0	0	0	0	0	100	0	0	100
		% Justificação	0	0	0	0	0	10,0	0	0	1,9
Total		Frequência	17	2	2	4	6	10	7	5	53
		% Opção1	32,1	3,8	3,8	7,5	11,3	18,9	13,2	9,4	100
		% Justificação	100	100	100	100	100	100	100	100	100

No pós-teste verifica-se que:

- dos 16 alunos que escolhem a opção que refere que depois do chuto a força deixa de actuar, cerca de 56% dá uma justificação que está concordante com a opção escolhida;
- dos 26 alunos que escolhem a opção “Depois do chuto a força exercida continua a actuar na bola”, 7 relaciona correctamente a força com uma variação de velocidade ou deformação. Nota-se que alguns destes alunos memorizaram a definição operacional de força sem contudo saberem tirar significado da referida definição. Mais uma vez se realça que uma aprendizagem / estudo memorístico em Física em nada contribui para uma aprendizagem significativa dos conceitos.

5. Relação entre a opção 2 e a justificação

Tabela 13A – Opção 2 vs Justificação no pré-teste

			Justificação								Total
			1	2	3	4	5	6	7	8	
Opção2	1	Frequência	0	2	0	4	4	3	9	4	26
		% Opção2	0	7,7	0	15,4	15,4	11,5	34,6	15,4	100
		% Justificação	0	66,7	0	100	66,7	37,5	47,4	36,4	48,1
	2	Frequência	0	0	0	0	0	1	0	0	1
		% Opção2	0	0	0	0	0	100	0	0	100
		% Justificação	0	0	0	0	0	12,5	0	0	1,9
	3	Frequência	1	1	2	0	1	4	10	7	26
		% Opção2	3,8	3,8	7,7	0	3,8	15,4	38,5	26,9	100
		% Justificação	100	33,3	100	0	16,7	50,0	52,6	63,6	48,1
	4	Frequência	0	0	0	0	1	0	0	0	1
		% Opção2	0	0	0	0	100	0	0	0	100
		% Justificação	0	0	0	0	16,7	0	0	0	1,9
Total		Frequência	1	3	2	4	6	8	19	11	54
		% Opção2	1,9	5,6	3,7	7,4	11,1	14,8	35,2	20,4	100
		% Justificação	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Na tabela 13A, onde se faz o cruzamento entre a opção 2 – que avalia se a frase é verdadeira, falsa ou incompleta – e a justificação, verifica-se que:

- dos 26 alunos que a consideram verdadeira, 35% tem a concepção de que para existir movimento tem de existir uma força a actuar (concepção aristotélica);
- dos 26 alunos que admitem que a frase é incompleta, só um justifica correctamente e cerca de 35% tem a concepção aristotélica.

Tabela 13B – Opção 2 vs Justificação no pós-teste

			Justificação								Total
			1	2	3	4	5	6	7	8	
Opção2	1	Frequência	0	1	0	3	1	1	4	2	12
		% Opção2	0	8,3	0	25,0	8,3	8,3	33,3	16,7	100
		% Justificação	0	50,0	0	75,0	16,7	10,0	57,1	40,0	22,6
	3	Frequência	17	1	2	0	4	9	3	3	39
		% Opção2	43,6	2,6	5,1	0	10,3	23,1	7,7	7,7	100
		% Justificação	100	50,0	100	0	66,7	90	42,9	60,0	73,6
	4	Frequência	0	0	0	0	1	0	0	0	1
		% Opção2	0	0	0	0	100	0	0	0	100
		% Justificação	0	0	0	0	16,7	0	0	0	1,9
	5	Frequência	0	0	0	1	0	0	0	0	1
		% Opção2	0	0	0	100	0	0	0	0	100
		% Justificação	0	0	0	25,0	0	0	0	0	1,9
Total		Frequência	17	2	2	4	6	10	7	5	53
		% Opção2	32,1	3,8	3,8	7,5	11,3	18,9	13,2	9,4	100
		% Justificação	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Na tabela 13B, verifica-se que dos 39 alunos que admitem que a frase é incompleta, 17 (aproximadamente 44%) justificam de forma correcta a opção feita. No entanto, 23% dá uma justificação sem significado e 10% nem sequer justifica a sua resposta, o que revela que os atributos do conceito de força não ficaram claros para estes alunos.

Verifica-se também que dos 12 alunos que consideram a frase verdadeira, 4 continuam com a concepção aristotélica de que só há movimento se existir uma força.

6. Desenho

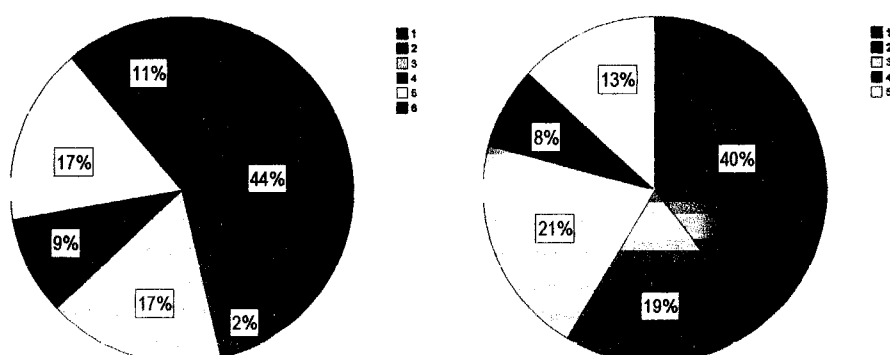


Gráfico 22 A – Desenho no pré-teste. **Gráfico 22 B** – Desenho no pós-teste.

No desenho do pré-teste:

- 44% dos alunos relacionam a força com a velocidade e não com a variação desta (desenho 1);
- 17% confunde força com velocidade (desenho 5);
- 11% considera que para haver movimento tem de existir uma força (desenho 6).
- 26% não responde ou a resposta que dá não tem significado (desenhos 3+4).

No desenho do pós-teste:

- continua a haver uma percentagem muito elevada de alunos que relaciona a força com a velocidade (40%);
- há 19% de alunos, contra 2% no pré-teste, que relaciona de forma correcta a força com a variação de velocidade. Entre estes alunos há dois que traduzem o seu raciocínio de forma extremamente clara. Partem a 2.^a Lei de Newton e da expressão da aceleração, ou seja, $\vec{F}_r = m \cdot \vec{a}$ e $\vec{a}_m = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ e concluem que, para um dado corpo, "quanto maior for a força, maior será a aceleração, ou seja, logo maior será a variação de velocidade nesse intervalo de tempo." Na

verdade, quanto não seria desejável que um número significativo de alunos terminasse o Ensino Básico com este tipo de raciocínio!

- 21% realiza um desenho sem qualquer significado físico e 8% não responde, o que mostra que mesmo depois da leccionação do conceito, esses alunos não construíram um modelo mental para o conceito de força ou construíram-no de forma errada ou incompleta.

7. Contexto

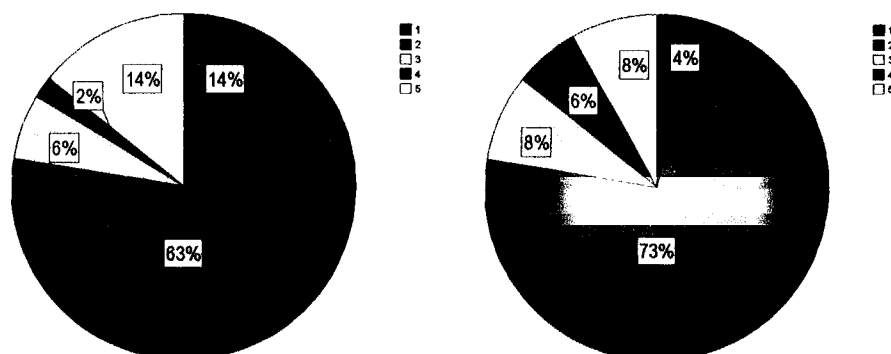


Gráfico 23A – Contexto no pré-teste.

Gráfico 23B – Contexto no pós-teste.

Como se pode verificar pelos gráficos 23 A e 23 B, tanto no pré-teste como no pós-teste, o contexto mais amplamente utilizado é o dos meios de transporte. Este resultado vem novamente reforçar o que já havia sido referido: os alunos utilizam fundamentalmente contextos que foram abordados na sala de aula e que lhes são próximos. Este facto mostra inequivocamente a importância de abordar os conceitos físicos em contextos variados, revisitando-os em abordagens mais amplas, tornando-os assim mais abrangentes.

Em síntese:

- Muitos alunos confundem força com velocidade;
- Há vários alunos a apresentarem concepções aristotélicas sobre forças e movimentos, ou seja, consideram que para existir velocidade é necessário existir uma força a actuar;
- Mesmo após a intervenção, continuam a ser poucos os alunos que relacionam a força com as variações de velocidade do objecto onde aquela é aplicada.

5.3 – Comparação de respostas em mais duas escolas

5.3.1 – Introdução

Atendendo a que a investigação no âmbito do ensino e aprendizagem, refere que a linguagem e o ambiente em que estão envolvidos os alunos é fundamental à sua aprendizagem, aplicámos o questionário elaborado em mais duas turmas, de escolas com características culturais e sócio-económicas distintas. Uma das turmas, com 27 alunos, era da Escola Básica 2,3 Frei Manuel de Santa Inês (**escola 1**), da freguesia de Baguim do Monte, no concelho de Gondomar e a outra, constituída por 29 alunos, era do Colégio Luso-Francês do Porto (**escola 2**).

5.3.2 – Caracterização das escolas

A Escola Básica 2,3 Frei Manuel de Santa Inês faz parte do Agrupamento Vertical de Escolas de Baguim, localizando-se numa freguesia de Gondomar que tem sofrido um grande aumento de população nos últimos anos e que possui as características de uma freguesia dormitório. O Projecto Educativo do Agrupamento¹ refere que:

- a Escola Básica dos 2º e 3º Ciclos Frei Manuel Santa Inês é de tipologia T 30, foi construída em 1996 e é constituída por um único edifício.
- a falta de regras de conduta por parte dos alunos e o uso de linguagem incorrecta, acompanhada de agressividade, é fomentadora da falta de respeito entre alunos e dos alunos para com os professores e funcionários da escola, e da destruição de material escolar. Alguns dos alunos, muitas vezes sem um acompanhamento familiar adequado ou com famílias desestruturadas, não se mostram capazes de complementar o trabalho desenvolvido nas aulas com o estudo em casa. Sabe-se que, normalmente, estas condições fazem aumentar progressivamente o desinteresse dos alunos pela Escola, levando ao abandono escolar.
- a grande diversidade sócio-cultural dos alunos cria constrangimentos ao ensino e consequente aprendizagem, por vezes difíceis de ultrapassar com práticas lectivas uniformizadas.

¹ <http://www.eb23-frei-manuel-sta-ines.rcts.pt/entrarprojectoedu.htm>

O outro estabelecimento de ensino escolhido, o Colégio Luso-Francês do Porto, tem características totalmente distintas da Escola Básica 2,3 de Baguim do Monte. No ideário referido no sítio do Colégio², podemos, por exemplo, ler:

- o Instituto das Franciscanas Missionárias de Nossa Senhora, querendo participar numa resposta às necessidades da sociedade "materialista" de hoje, oferece um serviço educativo por meio do Colégio Luso-Francês;
- este estabelecimento de Ensino pretende responder, pelo seu ideário, ao direito que têm os Pais de educar os seus filhos, escolhendo livremente para eles a Escola que melhor responda às suas profundas aspirações. Assim, o Colégio Luso-Francês, numa perspectiva cristã franciscana e segundo um sistema de valores que dá especial relevo à transcendência do ser humano e a sadias relações sociais, pretende ajudar a preparar as novas gerações para uma convivência de verdadeira fraternidade, solidariedade, competência profissional, liberdade responsável e compromisso, dando uma formação integral que abranja todos os aspectos da pessoa humana, e tendo em conta os seguintes parâmetros: autonomia e espiritualidade.

O texto transcrito do sítio do Colégio mostra inequivocamente o carácter seleccionado e, de alguma forma, elitista dos alunos que frequentam este estabelecimento de ensino.

Em termos da recolha de informação, é de realçar que o inquérito foi passado, nas duas escolas, na primeira semana de Fevereiro de 2006, tendo ambas as turmas referido que na disciplina de Física e Química estavam a leccionar o tema "corrente eléctrica / circuitos eléctricos", pelo que os conceitos abordados no questionário já tinham sido tratados em contexto de sala de aula.

Na análise realizada, comparámos graficamente as respostas dados pelos alunos das turmas dos dois estabelecimentos de ensino, nos itens incluídos no questionário, evidenciando as principais semelhanças e diferenças. Comparámos, também, os resultados destes estabelecimentos de ensino com os da Escola em que ocorreu a intervenção. Não foi feita a análise relativa ao conceito de rapidez média, já que, nesta pergunta, o questionário aplicado nas duas escolas de comparação era ligeiramente diferente da incluída no "questionário final". Por outro lado, quando foi feito o levantamento das respostas relativas à pressão, apercebemo-nos que este conceito não tinha sido abordado na Escola 2,3 de Baguim do Monte, pelo que

² <http://www.lusofrances.com.pt/idear/index.html#init>

excluimos os testes dessa turma, relativamente a essa questão, na comparação que realizámos.

5.3.3 – Tratamento e análise da informação recolhida

5.3.3.1 – Conceito: aceleração

1. Opção escolhida (resposta correcta: 1)

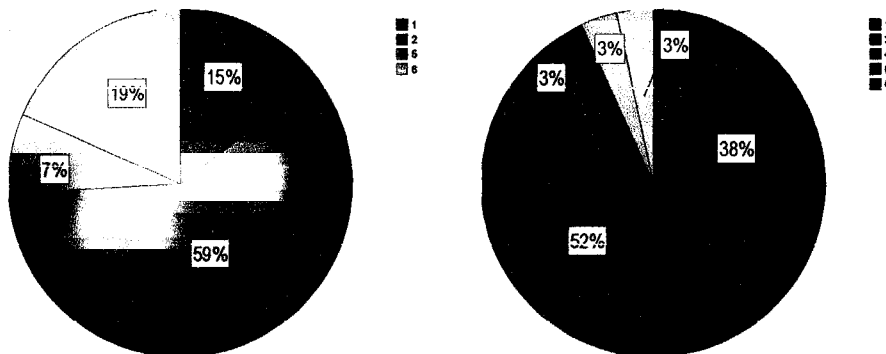


Gráfico 24A – Opção escolhida na escola 1. **Gráfico 24B** – Opção escolhida na escola 2.

A análise dos gráficos 24A e 24B permite verificar que:

- na turma da Escola Básica 2, 3 Frei Manuel de Santa Inês (escola 1), apenas 15% identifica que há aceleração no percurso AB e BC. Por outro lado, quase 59% admite que só existe aceleração entre AB e cerca de 20% não consegue identificar informação suficiente no enunciado da questão para poder concluir em que partes do percurso há aceleração, dado que escolhe a opção 6 – “Não há informação que permita tirar conclusões”.

- na turma do Colégio Luso-Francês (escola 2), 38% reconhece que há aceleração nas duas porções do percurso efectuado, mas é de realçar que 52% admite que só há aceleração entre os pontos A e B. De referir também, que a quase totalidade dos alunos desta turma (90%) resume a sua escolha às opções 1 e 2.

Em síntese ...

... o percentagem de alunos que tem uma visão correcta do conceito de aceleração na escola 2 é mais do dobro do que os da escola 1;

... 90% dos alunos da escola 2 parece ter uma ideia sobre o conceito em análise (soma das respostas 1 e 2), contra apenas 75% da escola 1.

Comparando com a escola de intervenção ...

A comparação dos gráficos 24A, 24B e 24C, permite verificar que na escola em que ocorreu a intervenção há uma maior percentagem de alunos que identifica a existência de aceleração nas duas porções do percurso, ou seja, 49% nesta escola contra 15% na escola 1 e 38% na escola 2.

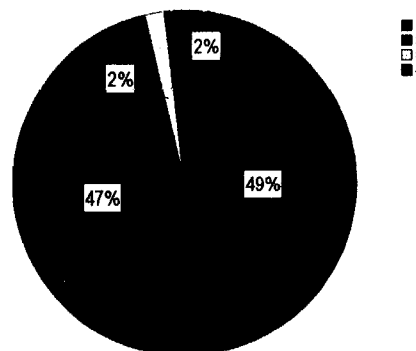


Gráfico 24C – Opção escolhida na escola de intervenção.

Por outro lado, 96% dos alunos da escola de intervenção apresenta ter ficado com uma noção do conceito de aceleração; esta é uma percentagem bastante superior à registada nas outras escolas.

2. Justificação dada (Justificação mais correcta: 2)

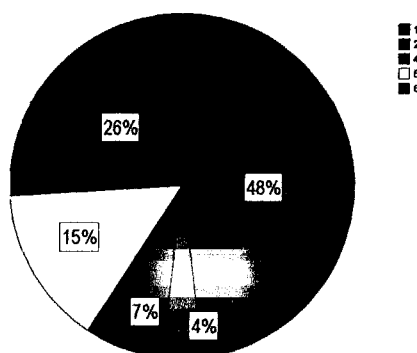


Gráfico 25A – Justificação na escola 1.

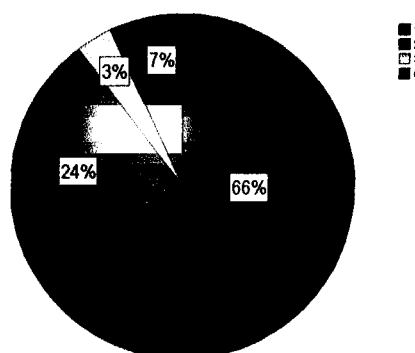


Gráfico 25B – Justificação na escola 2.

Relativamente à justificação dada, verifica-se que 24% dos alunos da escola 2 justificam correctamente a opção da sua escolha, ou seja, na justificação mostram reconhecer que existe aceleração sempre que há variação da velocidade (neste caso, sempre que há variação do valor da velocidade). Contudo, comparando os gráficos 24B e 25B, dos 38% que escolhem a opção 2 (gráfico 24B), nem todos justificam correctamente (24% - gráfico 25B). Já dos alunos da escola 1, apenas 4% reconhece que existe aceleração sempre que há variação de velocidade, de entre os 15% (gráfico 1A) a escolher a opção correcta.

Em relação à escola 1 há, ainda, a realçar que:

- 15% dos alunos não justifica a opção feita, o que revela desconhecimento do conceito ou ausência da linguagem específica para argumentar;
- 26% dos alunos dá uma justificação sem significado, o que demonstra não terem adquirido um conhecimento correcto do conceito de aceleração.

Em relação à escola 2, podemos ainda destacar que:

- 66% dos alunos considera que há aceleração apenas quando o valor da velocidade aumenta ou quando se atinge a velocidade máxima;
- os alunos, de forma correcta ou incorrecta, procuraram sempre justificar a opção feita.

Em síntese ...

... na turma da escola 1, praticamente nenhum aluno consegue expressar o que mede fisicamente a aceleração; por outro lado, revelam grande ausência de linguagem adequada à explicação do conceito;

... na escola 2, há um número significativo de alunos que parece ter interiorizado o conceito em estudo;

... em ambas as escolas, há uma elevada percentagem de alunos que embora tenham escolhido correctamente a opção com o significado físico do conceito de aceleração, não sabe justificar adequadamente a sua escolha.

Comparando com a escola de intervenção ...

Através do gráfico 25C, verifica-se que 38% dos alunos da escola de intervenção justifica correctamente a sua escolha, referindo que há aceleração quando há variação de velocidade, podendo esta aumentar ou diminuir. Nas escolas de comparação, essa percentagem fica-se pelos 4% e 24%.

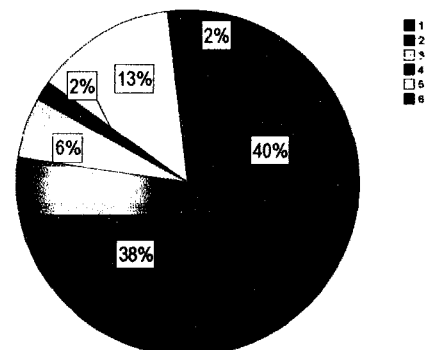


Gráfico 25C – Justificação na escola de intervenção.

Assim, é significativa a diferença de percentagem entre as três escolas, pelo que a intervenção realizada parece ser responsável pelo aumento da aprendizagem efectiva do conceito pelos alunos na escola de intervenção.

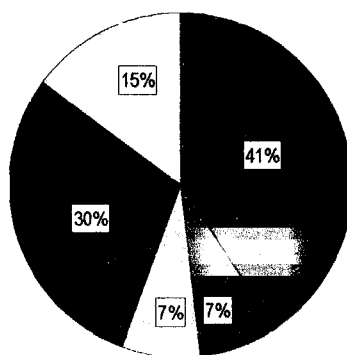
3. Situação descrita (Situação mais correcta: 2)

Gráfico 26A – Situação descritas na escola 1.

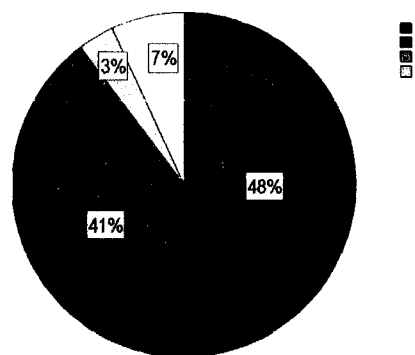


Gráfico 26B – Situação descrita na escola 2.

Na situação descrita para mostrar que existe aceleração, 41% da turma da escola 2 identifica uma situação em que essa grandeza está associada há variação de velocidade, enquanto que da escola 1 são apenas 7%. A percentagem de alunos que descreve situações em que evidenciam a existência de aceleração apenas quando há aumento da velocidade, é semelhante nas duas escolas (41% e 48%). De notar que da escola 1, 45% dos alunos não descrevem qualquer situação ou descrevem uma sem significado (opções 5 e 7). Na escola 2 há apenas 7% de alunos que descrevem uma situação sem significado. Em ambas as escolas, há 7% de alunos que apresentam situações que evidenciam ausência de literacia científica.

Em síntese ...

... na escola 1, há um percentagem elevada de alunos que não tem qualquer percepção do que é a aceleração;

... na escola 2, é considerável o número de alunos que descreve situações que revelam o conhecimento do conceito de aceleração. Esses alunos são, basicamente, aqueles que fizeram a opção correcta no gráfico 24B.

Comparando com a escola de intervenção ...

Comparativamente, podemos observar que na escola de intervenção (gráfico 26C) houve uma maior diversidade de situações. Contudo, 38% escolhe uma situação em que evidencia uma compreensão clara da existência de aceleração, ou seja, sempre que há variação da velocidade. Esta percentagem é sensivelmente igual à da escola 2.

Verifica-se também que a turma em que há maior empenho na resolução da proposta de trabalho, é a do Colégio Luso-Francês, já que todos os alunos respondem, o que não se verifica nas outras duas escolas.

Por outro lado, é também a turma da escola com maior nível cultural e sócio-económico (escola 2) que apresenta menor percentagem de respostas que evidenciam ausência de literacia científica.

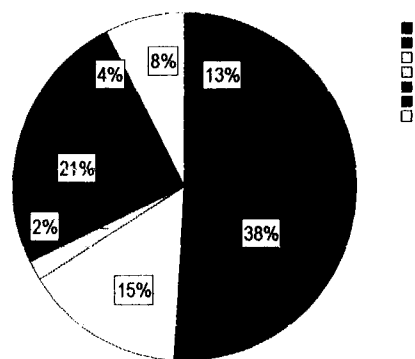


Gráfico 26C – Situação descrita na escola de intervenção.

4. Contexto escolhido

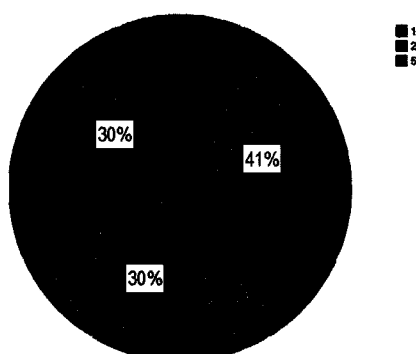


Gráfico 27A – Contexto na escola 1.

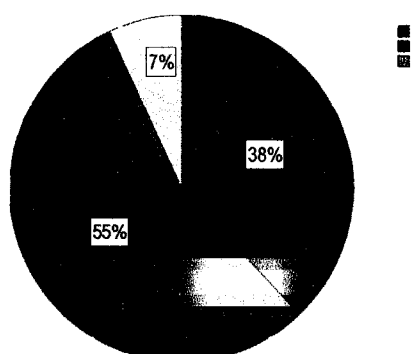


Gráfico 27B – Contexto na escola 2.

Relativamente aos contextos a que os alunos recorrem, verifica-se que tanto numa escola como na outra, predomina o desporto (opção 1) e meios de transporte (opção 2). Enquanto que a percentagem que escolhe o desporto como contexto é similar nas duas escolas, no colégio Luso-Francês predominam os “meios de transporte”.

Em síntese ...

... os contextos escolhidos nas escolas 1 e 2 são os mesmos. Assim, não é possível distinguir os dois estabelecimentos de ensino pelos contextos usados pelos alunos, provavelmente porque foram exactamente aqueles os usados pelos respectivos professores em contexto de sala de aula.

Comparando com a escola de intervenção ...

A análise dos contextos utilizados nas três escolas permite concluir que são muito semelhantes. Em todas as escolas há uma grande relevância para os contextos relacionados com o desporto e com os meios de transporte. Este resultado talvez esteja relacionado com o facto de os manuais escolares privilegiarem situações nestes contextos. Além disso, é um facto que o desporto e os meios de transporte fazem parte da vivência diária dos nossos alunos.

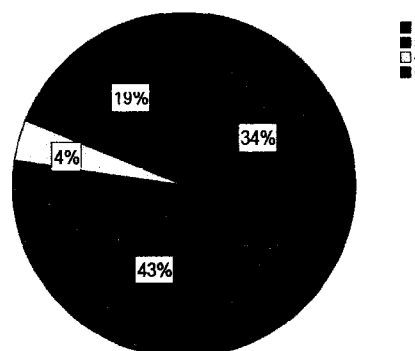


Gráfico 27C – Contexto escolhido na escola de intervenção.

5.3.3.2 Conceitos: Peso e massa

1. Opção (Resposta correcta: 3)

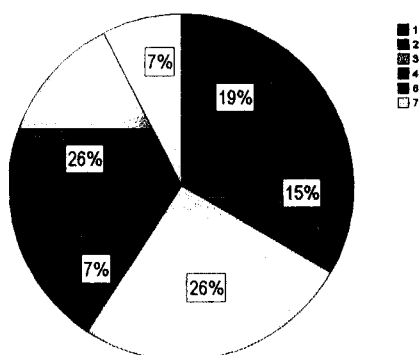


Gráfico 28A – Opção escolhida na escola 1.

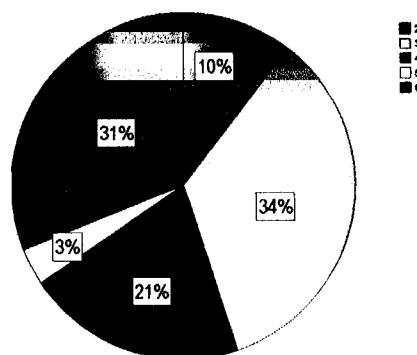


Gráfico 28B – Opção escolhida na escola 2.

Os gráficos 28A e 28B mostram que 26% dos alunos da turma da escola 1 escolheu a opção correcta, enquanto que na escola 2 foram 34%. Verifica-se, também, que, apesar de a balança estar equilibrada com o mesmo corpo na Lua e na Terra, na escola 1 há cerca de 20% de alunos a considerarem que a massa de vapor de água é maior que a massa de água líquida, pelo que demonstram não conhecer o conceito de pesagem, não havendo, contudo, qualquer aluno da escola 2 a escolher esta opção. De realçar, também, que tanto numa escola como na outra, há alunos (15% e 10%, respectivamente) que admitem que a massa de vapor de água é menor do que a de água líquida.

Em síntese ...

... tanto numa escola como na outra, há uma percentagem razoável de alunos que identifica a única opção correcta, sendo essa percentagem superior na escola 2.
... há alunos na escola 1 que não demonstram conhecer o conceito de pesagem, facto que não acontece com alunos da escola 2.

Comparando com a escola de intervenção ...

Os gráficos 28A, 28B e 28C, mostram que a escola em que maior percentagem de alunos identifica a única opção correcta é aquela em que ocorreu a intervenção, sendo significativa a diferença entre as escolas 1 e 2 e a representada no gráfico 28C. É, assim, bastante evidente que a intervenção realizada poderá ter contribuído para uma maior clarificação destes conceitos pelos alunos.

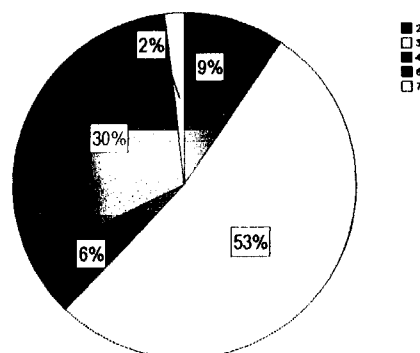


Gráfico 28C – Opção escolhida na escola de intervenção.

2. Frase sobre massa (Frases mais aceitáveis: 4, 6 e 9)

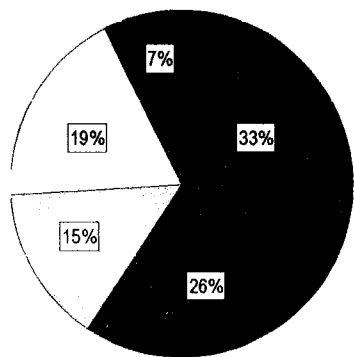


Gráfico 29A – Frase sobre massa na escola 1.

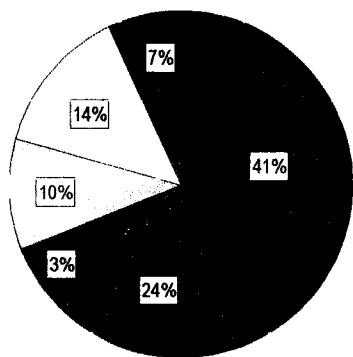


Gráfico 29A – Frase sobre massa na escola 2.

Relativamente à frase sobre “o que entendes sobre massa”, verifica-se que 33% dos alunos da escola 1 admite que a massa do corpo é o seu peso, sendo de 41% a percentagem de alunos da escola 2 que pensa o mesmo. Em termos de atributos correctos do conceito de massa, 41% dos alunos da escola 1 (frase 4 + frase 6) atribui um significado aceitável (massa como quantidade de matéria e que se mede com uma balança). A contagem percentual similar na escola 2 é apenas de 13%. De realçar a elevada percentagem de alunos da escola 2 que atribui ao conceito de massa o significado do conceito de volume (24%), não havendo qualquer aluno com esta concepção alternativa na escola 1. Por último, é também de salientar que em ambas as escolas há uma percentagem considerável de alunos que não escreve qualquer frase sobre massa (19% e 14%, respectivamente).

Em síntese ...
... os alunos turma da escola 1 têm um conceito de massa mais esclarecido que os alunos da escola 2.
... a percentagem de alunos da escola 1 com uma ideia correcta do conceito de “massa” é extraordinariamente mais elevado que o da escola 2.
... os alunos da escola 2 apresentam percentualmente mais concepções alternativas do conceito do que os da escola 1;
... há uma percentagem elevada de alunos de ambas as escolas que não é capaz de expressar a sua ideia sobre o conceito, talvez por ausência de uma definição clara do conceito ou por falta de literacia científica para se exprimir.

Comparando com a escola de intervenção ...

Das três escolas, aquela em que há uma percentagem significativamente maior de alunos a associarem a massa à quantidade de matéria do corpo é a escola em que ocorreu a intervenção. Por outro lado, somando as respostas aceitáveis para a definição deste conceito (respostas 4, 6 e 9), a escola de

intervenção é aquela que apresenta indubitavelmente maior percentagem de alunos com a definição correcta do conceito de massa.

Por outro lado, é também a escola de intervenção, a que apresenta menor percentagem de alunos a associar a massa ao peso.

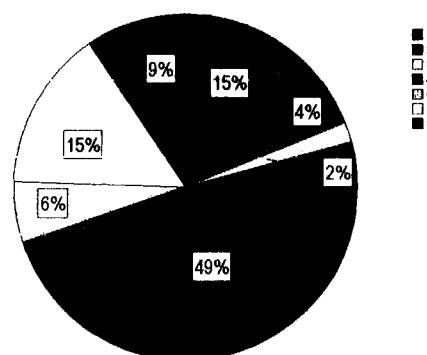


Gráfico 29C – Frase sobre massa na escola de intervenção.

3. Frase sobre peso (Frases mais aceitáveis: 1, 3 e 5)

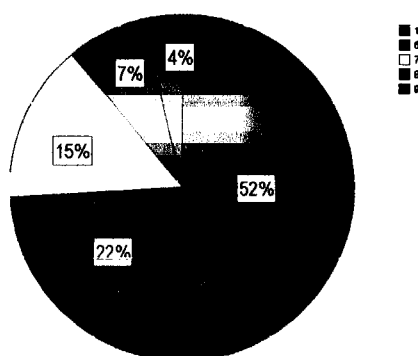


Gráfico 30A – Frase sobre peso na escola 1.

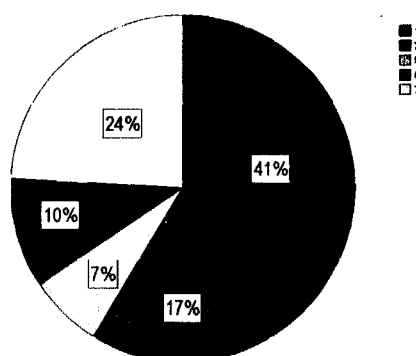


Gráfico 30B – Frase sobre peso na escola 2.

Da análise dos gráficos 30A e 30B, verifica-se que a maioria dos alunos que realizaram o questionário consideram que o peso de um corpo é uma força, mais concretamente, a força gravítica (na escola 1, são 52% e na escola 2, são 41%). De referir, também, que na escola 2 há 17% de alunos que referem que o peso é a massa, não se notando essa tendência na escola 1.

Por outro lado, tanto numa escola como noutra, há uma percentagem significativa de alunos que não responde, ou revela uma linguagem que indicia falta de literacia científica: escola 1 – 37%; escola 2 – 34%, (percentagens resultantes da soma das respostas 6 e 7).

Em síntese ...

... há uma percentagem elevada de alunos que não tem qualquer noção do significado físico do conceito de peso;

... neste conceito formal, tal como o de massa, a falta de literacia científica parece ser um obstáculo à formulação correcta de ideias, nos alunos de ambas as escolas;

... há cerca de 15% de alunos da escola 2 a considerarem que o peso é a massa.

Comparando com a escola de intervenção ...

Como se verifica pelos gráficos 30A, 30B e 30C, há nas três escolas uma percentagem muito elevada de alunos que considera que o peso é uma força e/ou que está relacionado com a força gravítica. Essas percentagens são de 52% na escola 1, 41% na escola 2 e 62% na escola de intervenção. Mais uma vez, a escola de intervenção apresenta os melhores resultados.

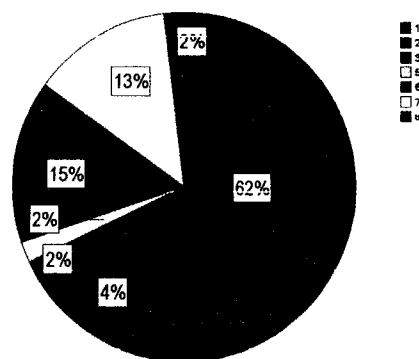


Gráfico 30C – Frase sobre peso na escola de intervenção.

De referir ainda que:

- só na escola de intervenção há alguém (um aluno) a fazer referência ao facto de o peso se medir com um dinamómetro;

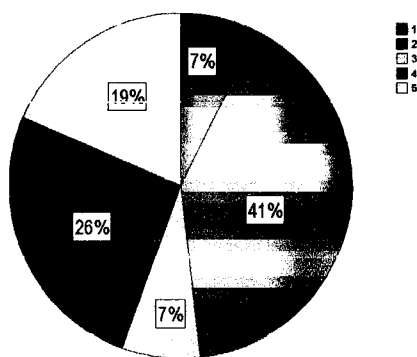
5.3.3.3 – Conceito: movimento**1. Opção (Resposta correcta: 2)**

Gráfico 31A – Opção na escola 1.

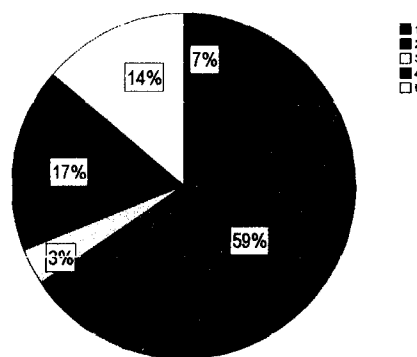


Gráfico 31B – Opção na escola 2.

A análise dos gráficos 31A e 31B permitem verificar que na escola 1, 41% dos alunos escolhe a opção correcta e na escola 2 são 59%. Assim, a diferença é

significativa e talvez esteja relacionada com o facto de na escola 2 haver maior domínio da língua materna, dado que para a resposta a esta questão era necessário que os alunos tivessem adquirido bons conhecimentos de Português, pois a resposta dependia, em parte, da interpretação da definição que era dada.

Em síntese ...

... na escola 2, os alunos demonstraram uma boa capacidade de interpretação da informação fornecida e de conhecimentos de física. Na escola 1, essa capacidade é menor ou os conhecimentos adquiridos são mais reduzidos.

Comparando com a escola de intervenção ...

Comparativamente, é na escola em que ocorreu a intervenção e na escola 2, que há maior percentagem de alunos a referir que nas condições descritas, não há movimento de um carro em relação ao outro. Este resultado vem não só da boa interpretação da informação fornecida, como também da correcta aprendizagem dos atributos do conceito de

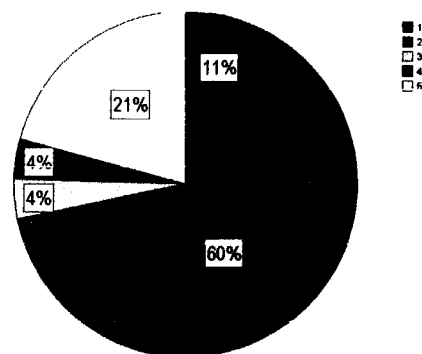


Gráfico 31C – Opção sobre movimento na escola de intervenção.

movimento, pelos alunos dessas escolas. Note-se que embora os alunos da escola 2 provenham, à partida, de meios sócio-económicos mais favorecidos e com acesso a mais informação, os resultados obtidos nesta questão são equivalentes aos da escola de intervenção, o que parece realçar o valor das estratégias de ensino usadas nesta escola.

2. Desenho (Desenho mais correcto: 1)

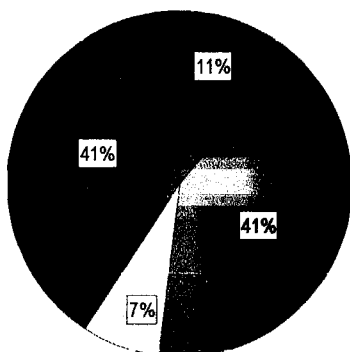


Gráfico 32A – Desenho na escola 1.

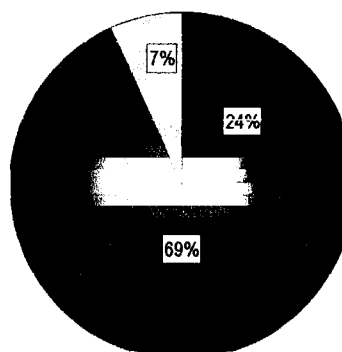


Gráfico 32B – Desenho na escola 2.

Na escola 1, 52% faz um desenho que tem algum sentido físico face ao conceito analisado. Contudo, destes, apenas 11% faz referência explícita ao referencial, sendo este fundamental na definição de repouso e movimento. Para muitos destes alunos, basta que o corpo tenha velocidade para poderem considerar que está em movimento. Assim, não ficaram com a concepção de que um corpo só está em movimento em relação a um referencial, se sofrer variação da sua posição em relação a esse referencial.

Já na escola 2, 24% constrói um desenho no qual refere o referencial. Depois há 69% de alunos que, apesar de fazer um desenho relacionado com movimento, não refere de forma clara o referencial em relação ao qual define que o corpo ou objecto está em movimento.

Em síntese ...

... nas duas escolas, a maioria dos alunos não dá relevância à necessidade de um referencial, para concluir se um objecto está em movimento ou repouso em relação a esse referencial:

... todavia, é na escola 2 que a percentagem de alunos que apresenta uma ideia correcta sobre o conceito é maior.

Comparando com a escola de intervenção

Na escola de intervenção, 81% dos alunos faz um desenho que tenta representar uma situação em que há movimento. Destes, 60% representa ou refere de forma clara o referencial em relação ao qual diz que o objecto desenhado está em movimento. Este resultado mostra uma clara aprendizagem dos atributos que formam este conceito.

Nas outras duas escolas a percentagem dos que referem o referencial é muito menor (11% e 24%).

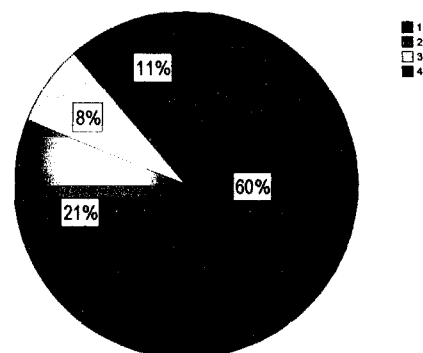


Gráfico 32C – Desenho na escola de intervenção.

3. Contexto

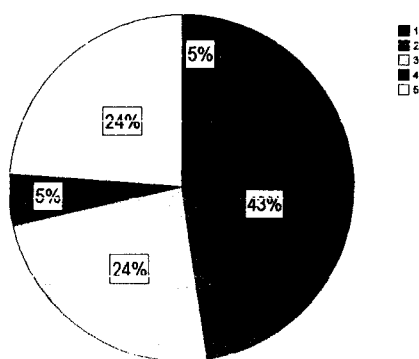


Gráfico 33A – Contexto na escola 1.

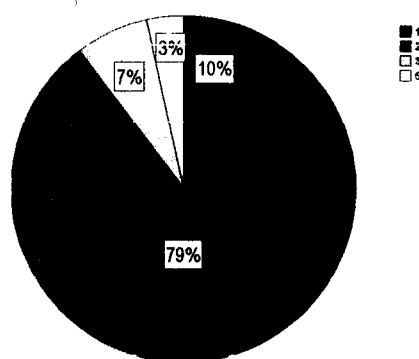


Gráfico 33B – Contexto na escola 2.

O contexto mais privilegiado nas duas escolas está relacionado com os meios de transporte. Esta “opção” é compreensível já que, a nível do 9.º ano, o contexto em que são leccionados os conteúdos de mecânica é no tema “Em trânsito”.

De realçar que na escola 1, 5% dos alunos recorre ao desenho do sistema solar, conteúdo leccionado no 7.º ano, para evidenciar a existência de movimento.

Por último, de referir que há uma percentagem reduzida de alunos (5% e 10%, respectivamente nas escolas 1 e 2) que utiliza o desporto para representar situações de movimento, contrariamente ao que prevíamos esperar, pois este contexto está muito disseminado nas conversas habituais entre os alunos.

Em síntese ...

... o contexto mais utilizado para a representação de movimento é o dos meios de transporte.

... é reduzido o número de alunos que utiliza o desporto como contexto de movimento.

Comparando com a escola de intervenção

A nível do contexto mais escolhido, as três escolas são semelhantes: os alunos escolhem, maioritariamente o contexto dos meios de transporte.

Como já foi referido anteriormente, esta escolha deverá estar relacionada com o estudo que fizeram no primeiro “capítulo” do tema “Viver melhor na Terra”, ou seja, quando foi leccionado o subtema “Em trânsito”.

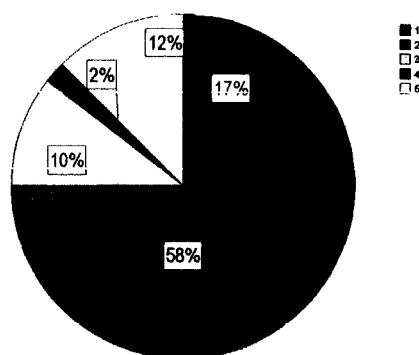


Gráfico 33C – Contexto na escola de intervenção.

5.3.3.4 Conceito: Pressão

1. Frase (Frases mais aceitáveis: 1 e 2)

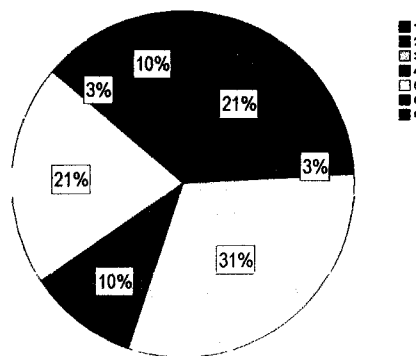


Gráfico 34A – Frase sobre pressão na escola 2.

Como foi referido na introdução, neste conceito não será feita comparação entre as escolas 1 e 2, pelo facto de a primeira não ter leccionado este conceito.

Na escola 2, apenas 24% (respostas 1 e 2) dos alunos reconhece as variáveis que influenciam a pressão, sendo que 3% (um aluno) relaciona correctamente essas variáveis. Contudo:

- 31% considera que a pressão é uma força;
- 21% não responde, mostrando desconhecimento dos atributos do conceito ou da linguagem específica necessária para o definir;
- 3% (1 aluno) vê a pressão como efeito biológico/psicológico (resposta 6).

Em síntese ...

... na escola 2, uma percentagem considerável de alunos revela não ter adquirido correctamente o conceito de pressão, nomeadamente, cerca de 30% considera que a pressão é uma força.

Comparando com a escola de intervenção ...

A análise dos gráficos 34A e 34B mostra que na escola 2, 31% dos alunos associa a pressão à força. Na escola de intervenção, essa percentagem é também elevada, correspondendo a 36%. As diferenças significativas ocorrem a nível da percentagem de alunos que identifica de forma correcta as variáveis de que depende a pressão: na escola 2 é de 24% (resposta 1 + 2) e na escola de intervenção é de 40%.

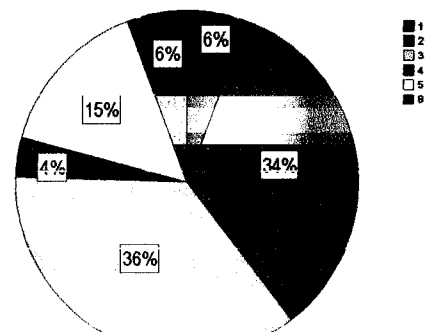


Gráfico 34B – Frase sobre pressão na escola de intervenção.

De realçar que nas duas escolas há uma percentagem relativamente elevada de alunos (21% e 15%, respectivamente) que revelam falta de literacia científica para exprimir o que entendem por pressão.

2. Opção (Opção correcta: 4)

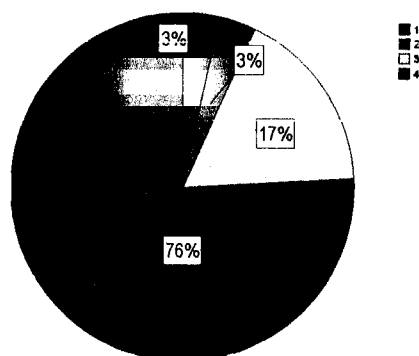


Gráfico 35A – Opção na escola 2.

Na escola 2, 76% escolhe o gráfico correcto (opção 4), mostrando que reconhecem que quanto menor for o peso do veículo (menor força exercida sobre o solo), menor é a pressão exercida sobre o solo. Contudo, é de realçar o facto de haver 17% de alunos que escolhem o gráfico C (opção 3).

Em síntese ...

... na escola 2, a grande maioria dos alunos identifica o gráfico correcto.

Comparando com a escola de intervenção ...

Relativamente à escolha do gráfico que melhor traduz como varia a pressão do veículo sobre o solo ao longo da prova, as duas escolas comparadas têm um comportamento muito semelhante. Na escola 2 respondem acertadamente 76% e na escola de intervenção, 79%.

Há, também a salientar o facto de em ambas as escolas haver uma percentagem de alunos a escolher a opção, cujo gráfico

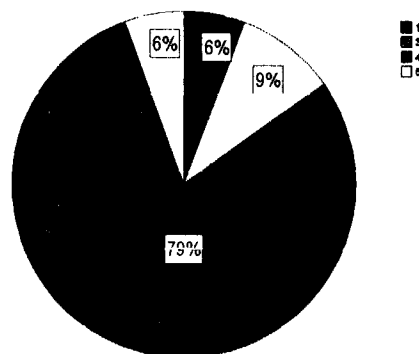


Gráfico 35B – Opção na escola de intervenção.

representa um linha em que uma das porções tem declive negativo e a outra declive positivo, embora essa percentagem seja ligeiramente menor na escola de intervenção. Talvez esta escolha se deva ao facto de associarem a forma do gráfico às irregularidades sinuosas da trajectória que os veículos percorrem. Esta, aliás, é uma concepção errada infelizmente muito frequente entre os alunos (confusão entre

trajectória e a representação gráfica de grandezas), que aparentemente as estratégias usadas nesta intervenção se revelaram eficazes a combater.

3. Justificação (Justificações mais aceitáveis: 1 e 2)

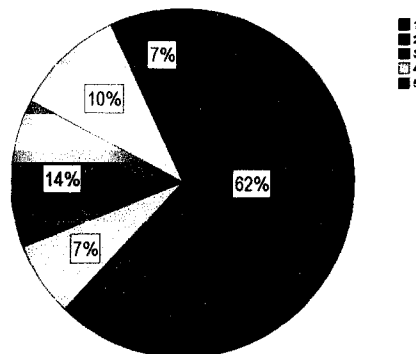


Gráfico 36A – Justificação na escola 2.

Relativamente à escola 2, 69% (62% + 7%) dos alunos justificam a escolha do gráfico D da questão anterior, referindo que a pressão diminui porque diminui o peso do veículo. Destes, 7% realça que o peso diminui e que a área de contacto com o solo se mantém constante, o que revela facilidade de articulação das duas variáveis.

Também nos parece importante salientar que 7% dos alunos (opção 5) justifica a escolha feita confundindo o gráfico $p = f(d)$ com a forma da trajetória percorrida pelos veículos de *rali* nas dunas do deserto.

Em síntese ...

... na escola 2, a grande maioria dos alunos relaciona correctamente a variação do peso do veículo com a variação de pressão exercida sobre o solo. Há mesmo alunos que recorrem, de forma correcta, às duas variáveis, demonstrando que a diminuição da pressão é apenas devida à diminuição do peso do veículo.

Comparando com a escola de intervenção ...

A análise dos gráficos 36A e 36B mostram que as duas escolas comparadas justificaram a escolha feita recorrendo a argumentos similares. Na escola 2, 62% da turma refere que a pressão diminui porque há uma diminuição do peso do veículo, já que o combustível se vai consumindo no decorrer da prova. Na escola de intervenção a percentagem de alunos que dá uma resposta equivalente é de 68%, portanto

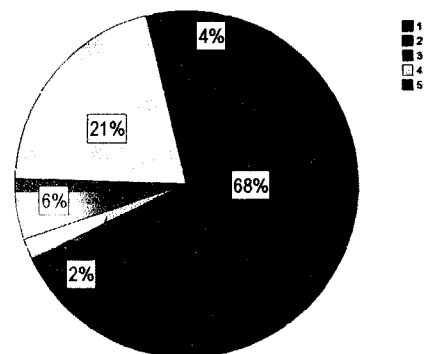


Gráfico 36B – Justificação na escola de intervenção.

ligeiramente superior.

De realçar ainda o facto de nas duas escolas haver alunos, que ao justificarem manipulam, de forma correcta, as duas variáveis de que depende a pressão, ou seja, referem que a pressão diminui porque diminui a força exercida sobre o solo, mantendo-se a área de contacto entre o veículo e o solo.

5.3.3.5 Conceito: Força

1. Opção 1 (Opção correcta: 2)

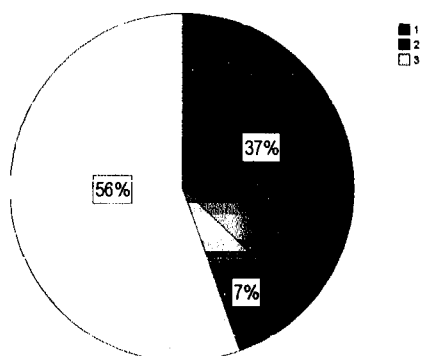


Gráfico 37A – Opção 1 na escola 1.

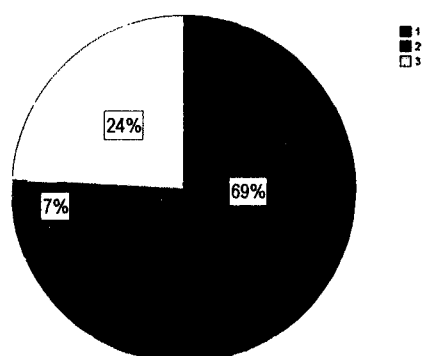


Gráfico 37B – Opção 1 na escola 2.

Nesta questão, encontramos resultados bastante diferentes nas escolas 1 e 2.

Na escola 1:

- 56% considera que a bola move-se com força, revelando confusão entre os conceitos força e velocidade;
- 37% admite que, após o chute, a força exercida continua a actuar na bola (concepção aristotélica);
- apenas 7% reconhece que, após o chute, a força exercida deixa de actuar na bola.

Já na escola 2, é de salientar que:

- 69% admite que depois do chute a força continua a actuar na bola (concepção aristotélica);
- 24% considera que a bola move-se com força;
- também, apenas 7%, reconhece que a força deixa de actuar na bola após a interacção pé-bola.

Em síntese ...

... os resultados da escola 1 e da escola 2 são francamente frustrantes, dado que revelam um total desconhecimento do que representa uma força e da diferença entre as grandezas força e velocidade, conceitos básicos na compreensão de muitas situações com que lidamos no dia-a-dia;

... os resultados mostram que independentemente do meio sócio-cultural dos alunos, há ideias enraizadas nos alunos provenientes da linguagem comum e da vivência quotidiana, que são difíceis de combater e constituem um sério obstáculo à aprendizagem da Física. Em particular, a concepção aristotélica de movimento parece, ainda, em pleno século XXI, ser bastante popular entre os jovens estudantes de Física.

Comparando com a escola de intervenção ...

A análise comparativa dos gráficos 37A, 37B e 37C, mostra que nas escolas 1 e 2 só uma percentagem muito reduzida de alunos (7%) identifica que depois do chute, a força deixa de actuar na bola. Na escola de intervenção a percentagem similar é de 30%, significativamente mais elevada. Este é um resultado verdadeiramente encorajador e que realça a eficácia dos mapas de conceitos e dos glossários de apoio, na aprendizagem dos alunos.

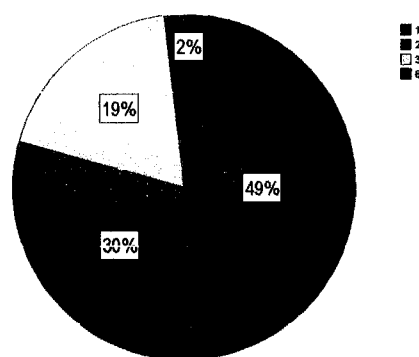
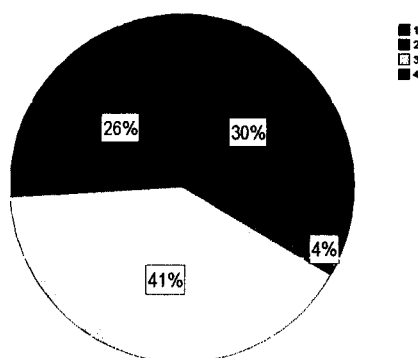
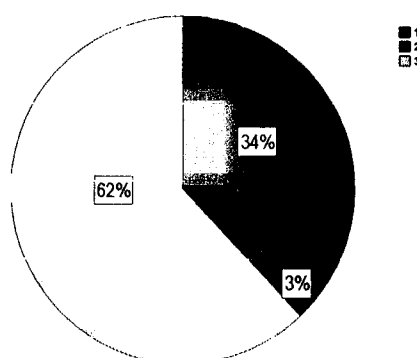


Gráfico 37C – Opção 1 na escola de intervenção.

Outro resultado a ter em conta é que enquanto que na escola 1, a maioria dos alunos considera que a “bola se move com força” - concepção muito frequente na linguagem corrente -, na escola 2 a opção mais escolhida refere que “depois do chute a força continua a actuar na bola”, ou seja, é como se a força tivesse sido transferida para bola. Na escola de intervenção a percentagem de alunos que apresenta esta concepção aristotélica do movimento é ainda muito elevada (49%), o que mostra que embora globalmente os resultados da intervenção sejam positivos, muito há ainda a fazer para combater as ideias enraizadas nos alunos acerca das forças e dos movimentos.

2. Opção 2 (resposta correcta: 3)

**Gráfico 38A** – Opção 2 na escola 1.**Gráfico 38B** – Opção 2 na escola 2.

Quando se perguntou aos alunos se a frase “A força faz algo se mover”, é verdadeira, falsa ou incompleta, obtiveram-se os resultados que se seguem.

Na escola 1:

- 30% considera a afirmação verdadeira;
- 4% admite a frase falsa;
- 41% classifica a frase com incompleta.

Na escola 2:

- 34% admite que a frase é verdadeira;
- 3% considera-a falsa;
- 62% classifica-a como incompleta.

Assim, em ambas as escolas, a maioria dos alunos admite que a frase é incompleta, sendo, contudo, a percentagem na escola 2 bastante superior. Por último, parece-nos também importante realçar que 26% da turma da escola 1 não classifica a afirmação.

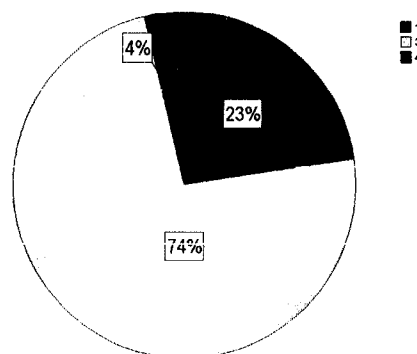
Em síntese ...

... a maioria dos alunos das turmas admite que a frase é incompleta, sendo essa percentagem na escola 2 superior a 60% dos alunos;

... há alunos da escola 1 que “não conseguem” classificar a afirmação, evidenciando falta de esclarecimento quanto ao efeito de uma força.

Comparando com a escola de intervenção

A escola em que há uma maior percentagem de alunos a considerar que a frase dada é incompleta é aquela em que ocorreu a intervenção, apesar de na escola 2 também existir uma percentagem muito elevada de alunos com a mesma opinião.



Por outro lado, há nas três escolas deste estudo uma percentagem considerável de alunos **Gráfico 38C** – Opção 2 na escola de (entre 23% e 34%) que admite que a frase é intervenção.

verdadeira, ou seja, que “a força faz algo se mover”. Esta interpretação, poderá revelar que pensam que para haver movimento tem de existir uma força, ou sempre que há uma força a actuar há movimento, como aliás se verifica nas respostas dadas na Opção 1. Contudo, é na escola de intervenção que é menor a percentagem de alunos que revelam essa opinião.

1. Justificação (Justificação correcta: 1)

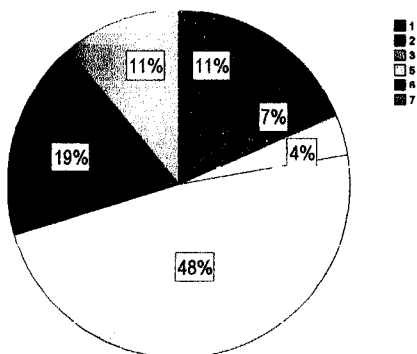


Gráfico 39A – Justificação na escola 1.

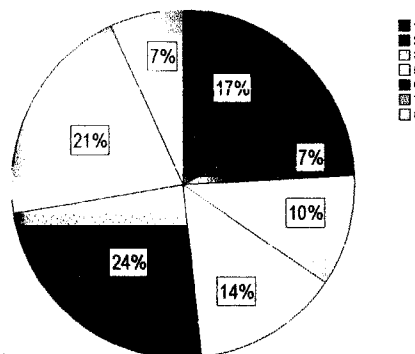


Gráfico 39B – Justificação na escola 2.

A análise dos gráficos 39A e 39B permite verificar que há uma grande diversidade de respostas, na justificação da classificação da afirmação dada. Na escola 1, 67% não justifica ou dá uma resposta sem significado físico, sendo a correspondente percentagem de 38% na escola 2 (respostas 5 + 6). De entre os alunos que dão uma resposta com algum significado, nota-se que:

- 11% na escola 1 e 21% na escola 2, consideram que para existir movimento é necessário uma força (resposta 7);

- 11% na escola 1 e 17% na escola 2, relacionam a força com variação de velocidade, ou seja, têm uma concepção correcta da acção de uma força sobre um corpo (resposta 1);

- 4% na escola 1 e 10% na escola 2, recorre ao conceito de pressão para explicar a acção da força (resposta 3);

- 7% de alunos de ambas as escolas, relaciona a força com a velocidade e não com a variação desta (resposta 2).

Por último, é de realçar que apesar de alguns alunos recorrerem à definição operacional de força, nenhum identifica que a força pode provocar deformação no corpo em que actua.

Em síntese ...

... apenas uma percentagem muito reduzida de alunos, relaciona a acção de uma força sobre um objecto com a variação de velocidade deste. Não há diferenças percentuais significativas entre os alunos das duas escolas com uma ideia correcta sobre os efeitos de uma força, embora os resultados da escola 2 sejam ligeiramente melhores

... nenhum aluno identifica que uma força pode dar origem a uma deformação.

Comparando com a escola de intervenção ...

Por observação dos gráficos 39A, 39B e 39C, verifica-se que 32% dos alunos da escola de intervenção relaciona a força com a variação da velocidade de um corpo. Na escola 1, essa percentagem é de 11% e na escola 2, é de 17%.

Observa-se, assim, que uma percentagem substancialmente maior de alunos submetidos à intervenção ficou com uma visão correcta do conceito de "força". Este resultado é muito relevante, pois sendo este conceito um dos mais usados em Física Clássica, e também na linguagem comum, é também aquele que os alunos revelam mais dificuldades em o compreender. A intervenção feita parece contribuir positivamente para uma melhor aprendizagem do conceito.

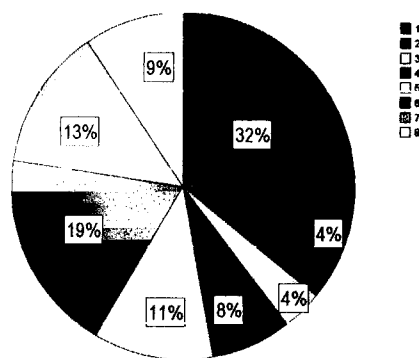


Gráfico 39C – Justificação na escola de intervenção.

2. Desenho

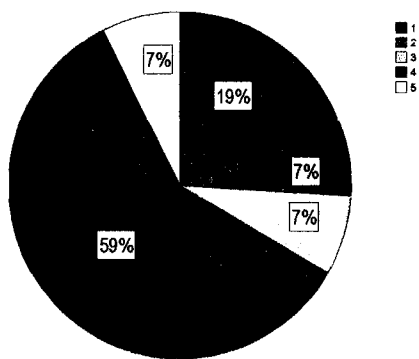


Gráfico 40A – Desenho na escola 1.

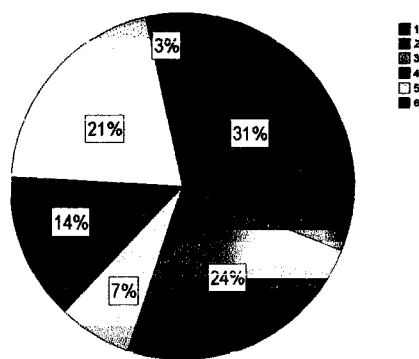


Gráfico 40B – Desenho na escola 2.

Nesta questão verificámos novamente que mais de metade dos alunos (59%) da escola 1 não responde à solicitação. Na escola 2, essa percentagem é apenas de 14%.

De entre os desenhos feitos e das frases escritas é de salientar que:

- 19% de alunos da escola 1 e 31% da escola 2, relacionam a força apenas com a velocidade e não com a sua variação (resposta 1);
- 7% na escola 1 e 24% na 2, mostram que a acção de uma força dá (ou pode dar) origem à variação de velocidade do objecto em que está aplicada (resposta 2);
- 7% na escola 1 e 21% na escola 2, confunde força com velocidade, ou seja, o desenho e/ou a frase está(ão) directamente relacionado(s) com a velocidade e não com a força.

Em síntese ...

... apenas uma percentagem muito reduzida de alunos parece ter ficado com um modelo mental adequado de força, já que poucos conseguem associar a força a variações de velocidade ou a deformações.

Comparando com a escola de intervenção ...

Em relação aos alunos que realizaram o desenho, há um número considerável que evidencia uma relação entre a força e a velocidade e não entre a força e a variação de velocidade. Contudo, os que relacionam a força com a variação de velocidade são: 7% na escola 1, 24% na escola 2 e 19% na escola de

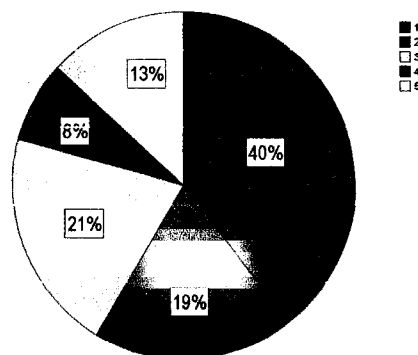


Gráfico 40C – Desenho na escola de intervenção.

intervenção, portanto, os valores obtidos para a escola 2 e para a escola de intervenção são próximos um do outro.

Por último é de referir que em nenhuma escola há alunos a relacionarem “força” com a deformação ou com efeitos de rotação, apesar de nas orientações curriculares para o tema “Viver melhor na Terra”, se sugerir que se discuta “por que motivo o volante dos camiões é maior que o dos automóveis.”

3. Contexto

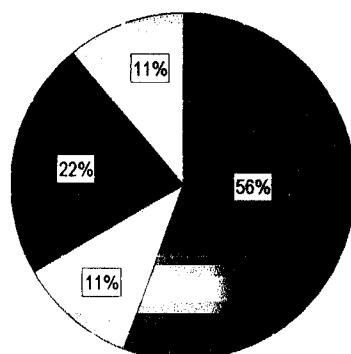


Gráfico 41A – Contexto na escola 1

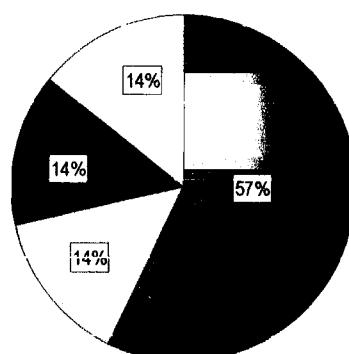


Gráfico 41B – Contexto na escola 2.

Dos alunos que fazem o desenho, mais de metade de cada escola recorre ao contexto do desporto (56% na escola 1 e 57% na escola 2). Um outro contexto privilegiado é o relacionado com os meios de transporte.

Em síntese ...

... os contextos utilizados pelos alunos da escola 1 e 2 são basicamente os mesmos, destaca-se o desporto com sendo o mais utilizado.

Comparando com a escola de intervenção

Para os alunos que realizam o desenho proposto, verifica-se que nas três escolas a maioria recorre ao desporto como contexto privilegiado.

Parece-nos, aqui, que tal se deve um pouco à fácil associação entre os conceitos de força e de velocidade, já que quando se aplica uma força, por exemplo, a uma bola em repouso, esta passa a ter velocidade e assim será mais fácil de concretizar os efeitos produzidos pelas forças.

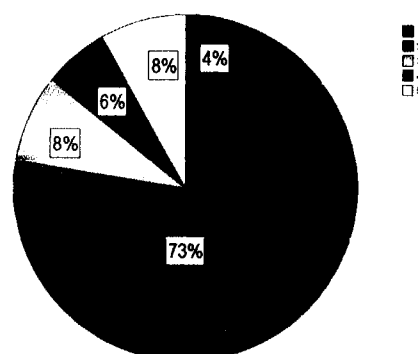


Gráfico 41C – Desenho na escola de intervenção.

CAPÍTULO 6

Conclusões

- 6.1 Principais conclusões
- 6.2 Principais dificuldades
- 6.3 Limitações do estudo
- 6.4 Recomendações para estudos posteriores

6 - Conclusões

6.1 – Principais conclusões

O estudo que realizámos permitiu que fizéssemos uma incursão sobre várias vertentes que são fundamentais na aprendizagem dos conceitos de Física.

A prática diária mostra-nos que, apesar de todo o esforço que é realizado, muitos alunos não conseguem fazer uma aprendizagem significativa dos conceitos e dos conteúdos que são abordados nas aulas de Física ou de Física e Química.

A definição de estratégias que incluam instrumentos que favoreçam uma aprendizagem conceptual, foi uma das medidas que tentámos implementar ao realizar a intervenção na Escola EB 2,3 de Aldoar. Nesta intervenção, demos principal relevância à construção de mapas de conceitos, complementados por glossários construídos pelos alunos, usando as suas próprias palavras, que contivessem o significado desses conceitos em Física, incluindo outros atributos provenientes da abordagem dos mesmos conceitos, feita noutras disciplinas.

As conclusões ao estudo realizado serão feitas a dois níveis: primeiro serão tiradas relativamente aos resultados obtidos pelos alunos das turmas de intervenção e depois analisaremos comparativamente os resultados das três escolas.

Na escola de intervenção ...

Numa primeira fase, que decorreu em Fevereiro de 2006 e antes da intervenção, foi passado o QUESTIONÁRIO FINAL (pré-teste). Dos conceitos incluídos neste questionário, cinco (peso, massa, rapidez média, força e movimento) fazem parte do tema "Terra no Espaço", abordado no 7.º ano de escolaridade. A análise dos resultados relativamente a estes conceitos mostra que os conhecimentos que os alunos mostraram ter adquirido nessa primeira abordagem durante o 7.º ano, foram diminutos ou praticamente inexistentes.

Após a intervenção, o mesmo questionário foi novamente passado aos alunos dessas turmas (pós-teste). Comparativamente, verificamos que para uma percentagem significativa de alunos, ocorreu uma aprendizagem efectiva dos conceitos abordados, dado que a análise e o cruzamento das várias respostas dadas relativamente a cada conceito, demonstram um aumento significativo dos que conseguem interpretá-lo e utilizá-lo de forma cientificamente correcto.

Conceito de aceleração

No conceito de aceleração, após a intervenção, foi significativa a percentagem de alunos que associou a aceleração a uma variação de velocidade (cerca de 50%). Na justificação, 38% dos alunos utilizam linguagem científica adequada para argumentar por que motivo há aceleração nas duas porções do percurso analisado. Estes resultados, em termos globais evidenciam um aumento da literacia científica dos alunos.

Dado o carácter abstracto do conceito *aceleração* (trata-se de um conceito formal, cujos atributos não são facilmente identificáveis pelos alunos) e ao facto deste não ser facilmente perceptível pelos nossos sentidos, ficámos agradados com os resultados obtidos.

Conceito de rapidez

Com a abordagem do conceito de rapidez média, apercebemo-nos que este conceito, quando analisado do ponto de vista conceptual, é bastante mais difícil do que à partida prevíamos.

Dadas, no questionário, algumas “definições” alternativas de rapidez, nenhuma com significado físico, verificámos que no pré-teste 81% dos alunos encontra nessas definições o significado físico da rapidez. No pós-teste, a situação sofreu uma melhoria clara, mas continua a ser preocupante o facto de ainda haver 66% com ideias erradas quanto a este conceito. Para estes alunos, foi analisada qual a opção/definição mais escolhida e verificámos que 60% escolhe “Rapidez é o tempo que se demora a ...”. Na verdade, nas respostas dadas em vários questionários, encontrámos uma relação íntima entre o conceito de rapidez e o termo “rápido”, decorrente do facto de considerarem que a maior ou menor rapidez está apenas relacionada com o tempo que se demora a realizar uma tarefa. Esta é uma concepção errada que habita em muitos dos nossos alunos e não só, com provável origem no uso indevido e indiscriminado destes termos na linguagem comum, que necessita de ser combatido. Todavia, é de realçar que entre os alunos que respondem acertadamente, metade justifica referindo que esta grandeza se define pela razão entre a distância percorrida e o intervalo de tempo gasto.

O facto de não ter havido mudança conceptual alargada a todos os alunos após a intervenção, poderá estar relacionado com a influência que a linguagem corrente tem sobre a compreensão dos conceitos de Física. A exploração da diferença entre o significado de *rápido* e o de *rapidez* é da maior pertinência aquando da

abordagem deste conceito, dado que na linguagem comum estas expressões são tomadas como sinónimas, quando, pelo menos em ciência, traduzem factos diferentes.

Nesta mesma perspectiva, Alcino do Aido e Maria Gertrudes Bastos, na nota prévia do livro “Ser Professor”, que reúne alguns textos de Rómulo de Carvalho, organizados por Nuno Crato, referem quão importante era a linguagem para o Físico-poeta. Recordam que, *“ao introduzir um termo novo, sublinhava-o”* e às suas estagiárias/os *“salientava a necessidade de ressaltar bem um termo novo que aparecesse durante uma lição, escrevendo-o, destacando-o no quadro e, sempre que possível, apresentando a sua etimologia, de forma a facilitar a compreensão do seu significado”*.

Ainda em relação ao conceito de rapidez, é de salientar que quando foi pedido aos alunos para identificarem qual dos sistemas em análise no teste apresenta “rapidez mais lenta”, tendo sido fornecidos os valores de distância percorrida e os respectivos intervalos de tempo, 62% identifica correctamente o sistema que possui menor rapidez. Este resultado leva-nos a admitir que os alunos estão mais “treinados” para a aplicação do algoritmo da rapidez do que para fazer uma análise conceptual do conceito, como consequência de uma metodologia de ensino tradicional ao longo do seu percurso escolar, que privilegia a memorização e a aplicação mecânica de fórmulas.

Conceitos de peso e massa

Na análise dos conceitos de peso e massa, houve uma clara evolução conceptual, dado que no pós-teste há diferenças muito significativas em relação à avaliação realizada no pré-teste. Contudo, a importância das questões de linguagem na formulação dos conceitos são novamente evidenciadas: a linguagem corrente é um forte impedimento à formação e reformulação dos conceitos em Física. Peso e massa são dois daqueles conceitos em que os alunos apresentam concepções erradas ao longo de todo o seu percurso nos ensinos básico e secundário, e como consequência ao longo da sua vida. Como exemplo do que **não** se deve fazer relativamente ao ensino destes conceitos, transcrevemos a primeira questão da 1.^a Chamada do Exame Nacional de **Matemática**¹ para os **alunos de 9.º**, realizado em **Junho 2006**. Diz assim o enunciado:

¹ <http://www.gave.pt/pebasico2006chamada1.htm>

"1. Muitos estudantes que usam mochilas transportam diariamente peso a mais para a sua idade.

1.1 Para evitar lesões na coluna vertebral, o peso de uma mochila e do material que se transporta dentro dela não devem ultrapassar 10% do peso do estudante que a transporta.

A marta pesou a sua mochila.

Na balança da figura que se segue, está indicado o peso dessa mochila vazia.

*Sabendo que a **Marta pesa 45 kg**, qual é, em kg, o peso máximo que ela poderá transportar dentro da sua mochila, de forma a evitar lesões na coluna vertebral.*

Apresenta todos os cálculos que efectuares."

Apetece dizer que andamos a remar em sentidos opostos ...

Neste estudo, verificámos ainda e com agrado que após a intervenção, uma percentagem considerável (49%) de alunos relaciona a massa com a quantidade de matéria que constitui o corpo. No entanto, há pouquíssimos alunos a definirem a massa operacionalmente. Por outro lado, não há qualquer aluno a considerar a massa como medida da inércia do corpo.

No que diz respeito ao peso, 62% considera que o peso é uma força, estando relacionado com a força gravítica. Também para este conceito há uma reduzida percentagem de alunos a associar o peso ao instrumento de medida (definição operacional).

Em relação aos conceitos de peso e massa, parece-nos que, ao nível do 9.º ano, pelos menos seria desejável que os alunos terminassem o 3.º ciclo compreendendo que essas grandezas são diferentes, já que possuem atributos diferentes. Associar a massa à medida numa balança e o peso à medida num dinamómetro, seria fundamental e até desejável.

Conceito de movimento

A análise do conceito de movimento foi inicialmente feita através da interpretação de uma informação dada e da compreensão da diferença entre repouso e movimento, atendendo aos referenciais definidos. Verificámos que do pré-teste para o pós-teste, a percentagem de alunos que reconheceu que dois veículos que se movem com a mesma velocidade na mesma estrada, estão em repouso um em

relação ao outro, aumentou de 11% para 60%! Consideramos francamente positiva esta evolução, dado que identificar se um corpo está em repouso ou em movimento quando o referencial é móvel, não é uma análise fácil de realizar.

Quando foi pedido aos alunos que realizassem um desenho que evidenciasse o que entendem por movimento, tanto no pré-teste como no pós-teste, aproximadamente 60% dos alunos refere o referencial em relação ao qual considera haver movimento. Há assim uma consciência, se bem que muitas vezes quase "residual", da necessidade de definir um referencial para caracterizar o movimento de um objecto.

Por último, na análise do conceito de movimento, temos de referir que o contexto mais utilizado para mostrar a existência de movimento, foi o de situações relacionadas com os meios de transporte. Consideramos que este facto tem fundamentalmente duas razões:

- a vivência diária dos alunos, dado que têm de se deslocar até à escola;
- os exemplos encontrados nos manuais escolares e os fornecidos em contexto de sala de aula.

Conceito de pressão

No conceito de pressão, após a intervenção, 34% dos alunos escreve uma frase que explica o que entende por pressão e relaciona correctamente a força exercida com a área da superfície em que é aplicada, havendo mais 6% que refere as duas grandezas mas não as relaciona. Todavia, registámos que 36% de alunos considera que falar em pressão é equivalente a falar em força. Mais uma vez, concluímos que a discussão cuidadosa do significado dos vocábulos que fazem parte da linguagem corrente, introduzidos em contexto de Ciência, é fundamental para que possa haver uma aprendizagem efectiva dos seus atributos e do seu enquadramento em Física.

Quando foi pedido aos alunos que analisassem qual dos gráficos traduzia a variação da pressão dos veículos no rali Lisboa-Dakar, em função do espaço percorrido, tendo em atenção que no início da prova o depósito de combustível estava cheio, obtiveram-se os seguintes resultados: no pré-teste, 45% dos alunos escolhe o gráfico correcto; no pós-teste, essa percentagem sobe para 79%. O resultado obtido reflecte uma aprendizagem efectiva do conceito após a intervenção. De realçar aqui, que no pós-teste alguns alunos associam ainda a forma do gráfico ao perfil do percurso, ou seja, à existência de dunas que o tornam com altos e baixos, escolhendo o gráfico que possui forma mais sinuosa (gráfico C, do questionário final).

Conceito de força

A palavra *força* faz, também, parte da linguagem corrente e da linguagem científica, e encontramos várias situações em que a aprendizagem do significado físico do conceito foi deformada devido à forma como comunicamos no dia-a-dia.

A primeira abordagem deste conceito, apesar de muito introdutória, surge no final do tema “Terra no Espaço”, ou seja, no 7.º ano, pelo que ao ser realizado o pré-teste admitíamos que os alunos já tivessem uma primeira visão do significado físico do conceito. Contudo, tanto antes como depois da intervenção, há cerca de 50% de alunos que considera que “depois do chute a força exercida continua a actuar na bola”. Em contrapartida, a percentagem daqueles que consideram que a força deixa de actuar, passa de 6% para 30%. Mesmo assim, não podemos ficar satisfeitos quando constatamos que metade dos alunos que estiveram envolvidos na intervenção tem a mesma concepção de movimento que Aristóteles possuía há cerca de 25 séculos atrás!!!! Será este resultado consequência de, por exemplo, no dia-a-dia se ouvir com frequência dizer “*aquele carro vai com força*”? Na verdade, também esta opção era dada, sendo escolhida por 37% no pré-teste e ainda por 19% no pós-teste, o que torna aquela hipótese bastante plausível.

Relativamente à frase “A força faz algo se mover”, 74% dos alunos no pós-teste consideram-na incompleta, mas justificam com uma variedade muito dispersa de razões. Na verdade, só 32% recorre a argumentos coerentes com a classificação feita, ou seja, relacionam a actuação de uma força com a variação de velocidade, isto é, com a existência de uma aceleração. De realçar que, sendo a definição operacional de força dada ao nível de 9.º ano, dada a definição operacional de força, consideramos inexplicável não haver qualquer aluno a justificar que a afirmação é incompleta invocando o facto de que quando está a ocorrer uma interacção, poder haver deformação.

No desenho solicitado, tanto no pré-teste como no pós-teste, há muitos alunos (cerca de 40%) que relacionam a força com a velocidade e não com a variação desta. Na realidade, parece ser uma concepção presente em muito alunos (não só do ensino básico, mas também do secundário e superior) que não pode haver movimento sem existir uma força a actuar. Na verdade, como será possível, mais tarde, os alunos aprenderem relatividade restrita ou relatividade geral, se não tiver havido uma aprendizagem efectiva da primeira Lei de Newton ou Lei da Inércia? Apesar dos problemas conceptuais já referidos, há 19% (uma percentagem que considerámos ínfima comparada com o que seria desejável) de alunos que, após a intervenção,

relaciona a força com a existência de variação de velocidade, ou seja, com o facto do veículo possuir aceleração.

Ainda sobre o desenho, observámos a confusão entre força e velocidade, ou seja, vários alunos utilizam a palavra força quando na realidade se estão a referir à velocidade, como por exemplo, "se empurrar o carro ele move-se com força".

Quando analisámos o contexto em que o desenho se enquadra, concluímos que, tanto no pré-teste como no pós-teste, são privilegiadas situações relacionadas com o desporto. Não estará este contexto muito mais ligado com os conceitos de movimento ou de velocidade, do que com o conceito de força? Não traduzirá, também, o contexto escolhido a confusão entre força e velocidade? Terão os alunos tido oportunidade de descrever, por suas palavras, os atributos de cada conceito?

Na comparação das três escolas ...

Como critério de escolha das duas escolas que tomámos como referência, estiveram apenas as características culturais e socio-económicas dos alunos que as frequentam. Note-se que os nossos interlocutores nessas escolas (os professores que passaram os questionários) não eram professores das turmas, e que não foi feita qualquer análise da metodologia utilizada pelos professores de Física e Química, nem do manual escolar que servia de suporte às actividades lectivas.

As conclusões da comparação realizada entre as três escolas, onde foram passados os questionários do pós-teste, serão também feitas de seguida, conceito a conceito.

Conceito de aceleração:

- é na escola de intervenção que se observa uma maior percentagem de respostas correctas relativamente aos percursos em que há aceleração, sendo seguida da escola 2 (Colégio Luso-Francês);
- é na escola de intervenção que há uma maior percentagem de alunos a justificarem que há aceleração quando ocorre variação da velocidade (seguida da escola 2);
- é na escola 2 que há maior percentagem de alunos a descreverem uma situação em que efectivamente há aceleração. Contudo, a diferença de percentagem para a escola de intervenção é de apenas de 3%, o que torna assim estes valores muito próximos. Na análise deste item, parece-nos que

uma vertente que favoreceu a escola 2 foi o facto de os seus alunos serem provenientes de um meio socialmente mais favorecido, o que provavelmente lhes permite ter, na globalidade, uma linguagem mais adequada para explicar factos e vivências. De facto, se analisarmos a percentagem de alunos da escola 1 (Escola EB 2,3 de Baguim do Monte) que descrevem uma situação onde há efectivamente aceleração, verifica-se que apenas 7% o faz, o que vem reforçar a nossa tese de que a linguagem e as vivências dos alunos são fundamentais (mas não suficientes) para uma boa expressão linguística dos alunos.

- em termos do contexto, nas três escolas predominam situações relativas desporto e meios de transporte. Na escola 2 e na de intervenção predominam os meios de transporte enquanto que na escola 1 as situações mais utilizadas estão relacionadas com o desporto.

Conceitos de peso e massa

Das três escolas, aquela em que há maior percentagem de alunos a escolherem a opção correcta (resposta III) é na que ocorreu a intervenção. De realçar que nesta escola, a percentagem de respostas correctas foi de 53%, enquanto que na escola 2 foi de 34% e na escola 1, de 26%. Assim, em relação a esta questão, podemos concluir que as estratégias usadas na intervenção realizada promoveram uma aprendizagem mais efectiva destes conceitos.

Também na frase escrita sobre massa, é na escola de intervenção que encontramos uma maior percentagem de afirmações com significado físico. Considerando que as respostas 4, 6 e 9 (só no pré-teste é que houve alunos a dar a resposta 9) são aceitáveis, a percentagem de alunos das três escolas que respondem acertadamente é de 55% na escola de intervenção, 41% na escola 1 e de somente 13% na escola 2.

É de salientar que, é nas escolas 1 e 2 onde há uma maior percentagem de alunos que associam a massa à sua medição, ou seja, ao instrumento que a permite medir. Todavia, é também nestas escolas que há a maior percentagem de alunos a terminarem o 3.º ciclo com a ideia de que massa e peso são a mesma coisa!

Na frase relativa ao peso, é na escola de intervenção que se verifica maior percentagem de alunos a considerarem que “o peso é uma força” ou que “está relacionado com a força gravítica”. De referir que esta é, também, a definição de peso que deveria figurar nos manuais escolares dirigidos a estes alunos. Por outro lado, na escola 2 há 17% de alunos que associam o peso à massa.

Mais uma vez se salienta o facto de não haver qualquer aluno a associar o peso à grandeza que é medida num dinamómetro. Sendo este um instrumento que se encontra disponível em todas as escolas, é-nos difícil de aceitar que em nenhuma resposta seja invocado o uso deste instrumento de medida do peso. Em boa verdade, de acordo com a norma ISO actualmente em vigor, dizer que o peso é uma força que se mede num dinamómetro seria, talvez, de todas as definições possíveis, a mais correcta.

Conceito de movimento

Na escola 2 e na de intervenção, a percentagem de alunos que considera que o carro B não está em movimento em relação ao A é igual a 60%. Na escola 1, esta percentagem é relativamente inferior (41%). Contudo, nas escolas 1 e 2, é considerável a percentagem de alunos que admite que não há informação suficiente para tirar conclusões acerca do movimento de um veículo em relação ao outro. (!)

Quando analisamos o desenho realizado pelos alunos, verificamos que é na escola de intervenção onde há maior percentagem de alunos a associar um referencial ao esquema feito: nesta escola, essa percentagem é de 60%, enquanto que nas escolas 1 e 2, obteve-se, respectivamente, 11% e 24%. Assim, na globalidade, podemos concluir que os alunos da escola de intervenção ficaram com o conceito de movimento melhor formado do que os das outras escolas, sendo, inequivocamente, este resultado uma consequência das estratégias definidas, nomeadamente a utilização de mapas de conceitos pois estes fomentam o estabelecimento de ligações entre conceitos, com significado físico.

Ao nível do contexto utilizado para realizarem o desenho, em todas as escolas a escolha recaiu maioritariamente sobre os meios de transporte. Na escola de intervenção há também 17% de alunos a escolher situações associadas ao desporto. O facto de nas três escolas se privilegiar fundamentalmente o mesmo contexto, deverá ser associado aos exemplos que aparecem nos manuais escolares e aos exemplos que são dados na sala de aula. Parece-nos que se pretendemos que os alunos fiquem com uma visão mais alargada dos conceitos, devemos mostrar e analisar diferentes contextos em que o conceito tem significado físico.

Conceito de pressão

Como foi referido na análise comparativa dos resultados nos três estabelecimentos de ensino, na escola 1 não foi leccionado o conceito de pressão. Este facto leva-nos a fazer uma reflexão sobre as "orientações curriculares para as

Ciências Físicas e Naturais no 3.º Ciclo”, (DEB, 2001). Na realidade, quem está em campo, ou seja, quem tem de analisar o referido documento e de definir os conteúdos que vai leccionar, sofre sempre grande hesitação, dado que o referido documento não apresenta qualquer definição da profundidade em que a abordagem deverá ser feita. Esse é um critério que, aparentemente, fica à decisão do professor, o qual frequentemente se baseia apenas no manual adoptado na escola. Assim, numa escola ou mesmo dentro da mesma escola, há turmas que abordam de forma consistente uma grande variedade de assuntos e outras que fazem uma análise superficial desses mesmos conteúdos. Deste modo, torna-se muitas vezes difícil de encontrar a nível de 10.º ano, turmas que apresentem homogeneidade no que respeita aos conteúdos leccionados e/ou ao grau de aprofundamento que foi realizado nos conteúdos abordados. Parece-nos que é urgente a Direcção-Geral de Inovação e Desenvolvimento Curricular repensar a forma como essas orientações estão organizadas, porque de outro modo os manuais escolares passarão brevemente a funcionar como programa.

Relativamente ao conceito de pressão, podemos tirar algumas conclusões tendo apenas por base a escola 2 e a de intervenção. Ao escreverem a frase sobre pressão, 40% dos alunos da escola de intervenção fazem referência às duas variáveis de que depende a pressão e desses, 34% relaciona de forma correcta a pressão com a intensidade da força exercida e com a área em que esta é aplicada. Na escola 2, 24% dos alunos faz referência às duas variáveis, mas apenas 3% mostra explicitamente como se relacionam essas grandezas. De realçar que tanto numa escola como na outra, há cerca de 30% de alunos que considera que pressão é o mesmo que força. Este resultado é muito claro quanto à vantagem dos mapas de conceitos e os glossários, na diferenciação e consequente aprendizagem de conceitos.

Na escolha do gráfico, 76% dos alunos da escola 2 identifica o correcto, sendo de 79% a percentagem de alunos da escola de intervenção que faz a mesma escolha. Saliente-se que na escola 2, há 17% de alunos a escolher o gráfico que se “assemelha” com a forma da trajectória, enquanto que na escola de intervenção são apenas 9% os que o fazem.

A justificação dada relativamente à escolha do gráfico recai, nas duas escolas, fundamentalmente sobre o facto de à medida que o veículo se deslocava consumia combustível, diminuindo assim o seu peso. Na escola 2 e na de intervenção, é de 62% e 68%, respectivamente, a percentagem de alunos que recorre a esse argumento. Não podemos deixar de realçar que na escola 2 há 7% de alunos que na justificação,

articulam de forma clara o facto de o peso do veículo diminuir, mantendo-se aos área de contacto.

Na verdade, a nossa experiência diz-nos que quando é pedido aos alunos que justifiquem situações similares a esta, verifica-se que os alunos argumentam em relação à grandeza que varia mas não fazem qualquer referência à ou às grandezas que permanecem constantes, isto é, parece-nos que não conseguem perceber a importância do controlo de variáveis. Este é um aspecto muito importante nas ciências experimentais e deverá ser devidamente explorada com os alunos, quer em actividades experimentais como na interpretação conceptual dos fenómenos, para lhes garantir uma boa aprendizagem da Física.

Conceito de força

O conceito de força, pela sua abrangência, é estruturante para toda a Física. Parece-nos que seria fundamental que os alunos terminassem o ensino obrigatório com uma visão relativamente alargada dos atributos deste conceito físico. Atendendo aos resultados obtidos, concluímos que este é, talvez, um dos conceitos mais abstractos e difíceis de ensinar em mecânica.

Em relação às respostas dadas pelos alunos, na escola 1, 93% termina o 9.º ano com a ideia que “depois do chuto” a força exercida continua a actuar na bola, ou então que a bola se move com força, predominando esta segunda concepção. Tanto uma como a outra demonstram claramente que o significado físico do conceito de força não foi minimamente aprendido. Na escola 2, a percentagem dos que escolhem essas opções é, também, de 93%, mas predomina a opção que considera que “a força continua a actuar na bola” (concepção Aristotélica). Na escola de intervenção, essa percentagem é menor e de valor 68%, todavia ainda um valor muito elevado. Contudo, há 30% de alunos que afirmam que “a força exercida deixa de actuar na bola”, revelando assim alguma compreensão conceptual.

Quanto à classificação da afirmação dada, é na escola de intervenção que se verifica maior percentagem de alunos a considerá-la incompleta (74%). Na justificação da classificação, 32% de alunos desta escola recorre a argumentos correctos, enquanto que na escola 1 essa percentagem é de 11% e na escola 2, 17%. De salientar que na escola 1, cerca de 50% dos alunos não dá qualquer justificação para a escolha feita. Este resultado evidencia que os alunos não desenvolveram a linguagem específica que permita que argumentem, face à escolha que fizeram. Nas outras duas escolas a percentagem correspondente é bastante menor (escola 2 – 14%; escola de intervenção – 11%).

Em relação ao desenho efectuado, verifica-se que é na escola 2 que há maior percentagem de alunos (24%) a associarem a acção de forças a variações de velocidade, contra 19% na escola de intervenção. É também de realçar que na escola 1 quase 60% dos alunos não faz qualquer desenho.

Por último, saliente-se que o contexto mais utilizado no desenho realizado é o mesmo em todas as escolas e contempla situações relacionadas com o desporto.

Sintetizando ...

É nossa opinião que:

1. A intervenção realizada na Escola EB 23 de Aldoar, baseada na construção pelos alunos e sob orientação do professor, de **mapas de conceitos** e de **glossários** de apoio, contribuiu claramente para uma melhor compreensão dos conceitos, ou seja, fez com que ocorresse uma aprendizagem efectiva dos conceitos, numa percentagem de alunos, significativamente superior à das outras escolas de comparação, onde o estudo foi também realizado.
2. A metodologia usada no ensino da Física é fortemente responsável pelo sucesso na aprendizagem dos alunos. É, assim, possível não só **melhorar a qualidade de ensino e aprendizagem na escola pública** (compare-se a escola 1 com a escola em que foi realizada a intervenção), **como também torná-la superior à das escolas privadas** de nível elevado.
3. É necessário dar maior relevância a estes instrumentos metacognitivos, de modo a que os alunos criem uma articulação correcta e diversificada dos conceitos que aprendem.
4. Na construção dos glossários, deve-se dar grande importância ao significado etimológico da palavra que é usada para o conceito.
5. A análise de um conceito deve ser feita a partir dos atributos de que depende e não, logo à partida, com base no algoritmo.
6. A linguagem utilizada nas discussões, realizadas em contexto de sala de aula, deve ser **cientificamente adequada e rigorosa**, para que não se criem concepções erradas. Os alunos devem ainda ser incentivados a desenvolver **competências de comunicação**, tanto a nível escrito como oral, de forma a desenvolverem a sua literacia científica.

7. Deve ser promovida uma reflexão com os alunos, acerca dos conceitos cujas palavras que os representam sejam também usadas na linguagem comum. É vital que a sua correcta aplicação seja discutida e que os alunos sejam incentivados a usar uma linguagem apropriada, sempre que sejam confrontados com situações do seu quotidiano.

8. Os mapas de conceitos devem ser usados como uma **ferramenta no processo de aprendizagem**, trabalhados em grupo e individualmente, e não como um mero exercício académico em que o aluno tem de preencher espaços em branco. Atenção especial deverá ser dada às ligações entre conceitos (tantas vezes negligenciadas), pois são elas que garantem a efectiva integração dos conceitos e portanto a sua aprendizagem significativa.

Para finalizar, gostaríamos de fazer um comentário acerca dos mapas de conceitos e dos glossários construídos pelos alunos; alguns desses são apresentados, como exemplos, **nos anexos 5 e 6**, respectivamente.

Como se pode verificar, os mapas construídos pelos alunos não coincidem com aqueles por nós propostos; e ainda bem, pois não é esse o objectivo do uso desta ferramenta de aprendizagem! Os mapas dos alunos apresentam uma estrutura própria, fruto certamente de discussão alargada, em que a forma como os conceitos aparecem dispostos evidencia ter havido reflexão crítica e cuidado pelos alunos na sua elaboração. As ligações entre conceitos já aparentam, em alguns casos, alguma complexidade (ligações múltiplas e cruzadas), embora as frases de ligação sejam quase sempre minimalistas (e em alguns casos, tenham mesmo sido omitidas).

Relativamente aos glossários, nota-se um certo tom coloquial na elaboração das definições, revelando assim o cuidado dos alunos na construção das frases e no emprego das palavras, para definir termos científicos. Algumas definições vão até um certo detalhe, o que mostra a preocupação dos alunos em torná-los o mais completos possível.

Mais do que analisar se um certo mapa de conceitos construído pelo aluno tem ou não erros, ou se aquela definição podia ou não ser melhorada, o que é **verdadeiramente importante** é o empenho do aluno pela tarefa, a sua reflexão crítica sobre os conceitos envolvidos, analisando os atributos e relacionando-os entre si, frequentemente associando-lhes leis ou expressões algébricas, num processo cognitivo cujo resultado queremos que conduza (e que geralmente conduz!) à aprendizagem conceptual.

6.2 – Principais dificuldades

Depois da construção do QUESTIONÁRIO FINAL, as maiores dificuldades sentidas neste estudo surgiram aquando da categorização das respostas, dadas pelos alunos nas questões abertas e nos desenhos realizados.

Na verdade, a diversidade de respostas dadas e a linguagem utilizada tornou-se por vezes uma resistência à análise que estávamos a realizar.

Uma outra dificuldade, que admitimos tenha prejudicado os resultados no pós-teste da escola de intervenção, foi o momento em que este se realizou. Dado que no 9.º ano havia provas globais e as aulas terminavam mais cedo que nas restantes turmas do ensino básico, o pós-teste foi realizado no penúltimo dia das actividades lectivas e fora das aulas de Física e Química, depois de os alunos já terem realizado e recebido a classificação da prova global. Admitimos que este conjunto de factos fez com que alguns alunos não demonstrassem grande esforço na elaboração do teste final de recolha de informação. Se o tivessem feito, poderíamos ter resultados ainda superiores aos que obtivemos. O mesmo não se verificou nas outras duas escolas, já que devido à ordem em que foram leccionadas as orientações curriculares, o teste foi realizado antes de se iniciar o estudo dos conteúdos de Química, portanto numa fase em que o empenhamento dos alunos era inequívoco.

É apropriado notar que, atendendo às causas da atitude pouco esforçada dos alunos da escola de intervenção na realização do pós-teste, é de admitir que os resultados nas Provas de Aferição, nos exames de Português e Matemática de 9.º ano, sejam muito fracos devido à falta de empenho na sua realização. De facto, estas provas não têm qualquer influência na classificação e mesmo os exames têm um contributo muito pequeno.

6.3 – Limitações do estudo

Os resultados do estudo que realizámos contêm algumas aproximações que consideramos serem limitações deste trabalho. Algumas dessas aproximações estão relacionadas com os seguintes factos:

1. O número de alunos que respondeu aos pós-teste nas três escolas. Enquanto que na escola de intervenção foram cerca de 55, nas outras escolas foram aproximadamente metade em cada uma.

2. Não termos controlado o número de alunos que já haviam tido alguma retenção ao longo do seu percurso escolar, tanto na escola de intervenção como nas outras. Admitimos que a percentagem de alunos com alguma retenção no Colégio Luso Francês seja substancialmente mais reduzida que nas outras duas escolas;

3. Não conhecermos a metodologia utilizada no desenvolvimento da actividade lectiva nas duas escolas de comparação;

4. Os conceitos utilizados neste estudo serem todos oriundos da mesma área, neste caso a mecânica;

5. O número de conceitos avaliados ser reduzido, quando comparado com a quantidade de conceitos que são abordados ao longo do 3.º ciclo em Física e Química.

6.4 – Recomendações para estudos posteriores

Atendendo a que o estudo empírico foi realizado durante cerca de 3 meses e os conceitos abordados estão todos enquadrados no mesmo contexto, parece-nos que seria oportuno realizar investigações similares que:

1. Fossem mais alargadas no tempo;
2. Contemplassem conceitos de outros temas de Física, como por exemplo no âmbito do som, da luz, da energia e da corrente eléctrica.

Por outro lado, para dar mais consistência à pesquisa, ela deveria ser realizada em várias escolas, de modo a verificar se há regularidade nos resultados da intervenção realizada.

Um aspecto que não foi contemplado no estudo que realizámos, foi a inclusão da realização de mapas de conceitos nos testes de avaliação escrita. Seria interessante observar até que ponto as práticas de elaboração desses instrumentos metacognitivos se transfere para um momento de avaliação individual.

Fica também como recomendação para estudos posteriores, a avaliação do grau de satisfação dos alunos envolvidos numa intervenção similar à que realizámos. Na realidade, dado que não fomos intervenientes presentes no processo desenvolvido com os alunos e não criámos qualquer documento de registo, não podemos tirar quaisquer conclusões sobre o seu grau de envolvimento e satisfação.

ANEXOS



- Questionário
- Questionário final
- Diálogo
- Mapas de conceitos de apoio
- Mapas de conceitos dos alunos
- Glossário feito pelos alunos

QUESTIONÁRIO

Anexo 1

Este questionário insere-se num trabalho de investigação, na área do Ensino da Física, e não contribuirá para a avaliação realizada pelo/a teu/tua professor/a. As respostas que deres serão confidenciais. Com este trabalho pretende-se:

1.º Conhecer como evolui a compreensão, pelos alunos, de alguns conceitos básicos de Física ao longo do 3.º ciclo do Ensino Básico;

2.º Identificar esquemas mentais associados aos conceitos referidos.

Agradecemos, desde já, a tua colaboração sincera.

Alguns dados:

Escola a que pertences:

Ano que frequentas: _____ Turma: _____ Número _____ Idade _____

Sexo: ☐ Feminino

☐ Masculino

Nesta altura, que assuntos estão a ser leccionados na disciplina de Física e Química?

Data ____/____/____

Nota introdutória:

Muitos conceitos usados na disciplina de Física são também utilizados na linguagem do dia a dia, mas nem sempre com um significado fisicamente correcto. O que te é pedido é que construas frases em que os conceitos sejam usados com significado físico.

Conceito:	Movimento
------------------	-----------

1- Escreve uma frase com significado físico onde incluas o conceito de *movimento*.

2 – Faz um pequeno desenho onde evidencies o que entendes por *movimento*. Se necessário, inclui legendas.

Conceito:	Intervalo de som
------------------	------------------

1- Escreve uma frase com significado físico onde incluas o conceito de *som*.

2 – Faz um pequeno desenho onde evidencies o que entendes por *som*. Se necessário, inclui legendas.

Conceito:	Energia
------------------	---------

1- Escreve uma frase com significado físico onde incluas o conceito de *energia*.

2 – Faz um pequeno desenho onde evidencies o que entendes por *energia*. Se necessário, inclui legendas.

Conceito:	Rapidez
------------------	---------

1- Escreve uma frase com significado físico onde incluas o conceito de *rapidez*.

2 – Faz um pequeno desenho onde evidencies o que entendes por *rapidez*. Se necessário, inclui legendas.

Conceito:	Radiação
------------------	----------

1- Escreve uma frase com significado físico onde incluas o conceito de *radiação*.

2 – Faz um pequeno desenho onde evidencies o que entendes por *radiação*. Se necessário, inclui legendas.

Conceito:	Massa
------------------	-------

1- Escreve uma frase com significado físico onde incluas o conceito de *massa*.

2 – Faz um pequeno desenho onde evidencies o que entendes por *massa*. Se necessário, inclui legendas.

Conceito:	Força
------------------	-------

1- Escreve uma frase com significado físico onde incluas o conceito de *força*.

2 – Faz um pequeno desenho onde evidencies o que entendes por *força*. Se necessário, inclui legendas.

Gratos pela colaboração

Anexo 2

QUESTIONÁRIO

NOTA INTRODUTÓRIA:

Muitos conceitos utilizados em Física são também utilizados na linguagem do dia-a-dia, mas nem sempre com o mesmo significado.

Este questionário insere-se num trabalho de investigação, na área do Ensino da Física, que está a ser realizado na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. As respostas que deres serão confidenciais. Com este trabalho pretende-se:

1.º Conhecer como evolui a compreensão, pelos alunos, de alguns conceitos básicos de Física ao longo do 9.º ano;

2.º Identificar formas de pensar dos alunos sobre esses conceitos.

Agradecemos que respondas com o máximo empenho. Só assim os resultados obtidos a partir deste trabalho poderão ter algum significado.

Muito obrigado pela tua colaboração.

Joaquim Morgado

Alguns dados:

Escola a que pertences:

Ano que frequentas: _____ Turma: _____ Número _____ Idade _____

Sexo: ☐ Feminino

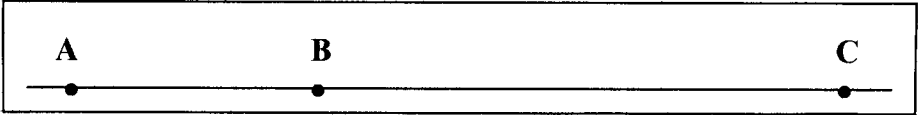
☐ Masculino

Nesta altura, que assuntos estão a ser leccionados na disciplina de Física e Química?

Data _____ / _____ / _____

Conceito:	Aceleração
------------------	------------

Numa prova de motociclismo, onde habitualmente participam “aceleras”, um dos concorrentes, partindo da posição marcada pelo ponto A, atinge o valor máximo de velocidade permitido para a prova ao chegar ao ponto B, acabando por parar no ponto C.



1 – Selecciona, com uma cruz, a afirmação correcta. Justifica a tua resposta

- ☐ I – O motociclista sofreu aceleração nos percursos AB e BC.
- ☐ II – O motociclista só sofreu aceleração no percurso AB.
- ☐ III – O motociclista só sofreu aceleração no percurso BC.
- ☐ IV – O motociclista não sofreu aceleração no percurso AB.
- ☐ V – O motociclista só sofreu aceleração no ponto B.
- ☐ VI – Não há informação que permita tirar conclusões.

Justificação: _____

2 – Descreve uma situação concreta, mas diferente da anterior, em que consideras que existiu aceleração.

Situação – _____

Conceito:	Rapidez
------------------	---------

Pediu-se a um grupo de alunos que, com base nos seus conhecimentos, explicasse numa frase o que entendia por *rapidez*. Algumas das frases escritas foram:

- A – Rapidez é o tempo que se demora a fazer qualquer coisa, de um ponto até outro.
- B – Rapidez é fazer algo muito depressa, com velocidade máxima.
- C – Rapidez é a distância percorrida num determinado percurso.
- D – Rapidez é quando se atinge a velocidade máxima num curto intervalo de tempo.

1 – Alguma das frases anteriores define rapidez? ☐ Não ☐ Sim Qual? _____

Justifica a tua resposta: _____

2 – Há quem diga que “a rapidez pode ser lenta”.

Na tabela que se segue referem-se algumas características relativas a quatro sistemas.

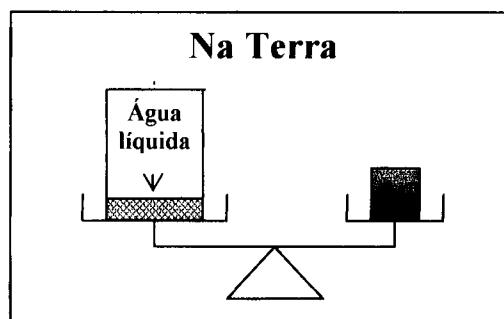
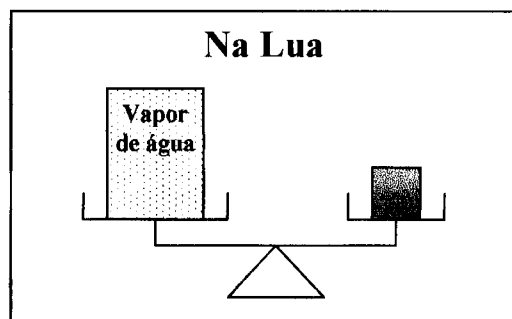
	Massa	Temperatura a que se encontra	Distância percorrida e intervalo de tempo necessário
Hiena	80 kg	36 °C	100 m → 5 s
Atleta	65 kg	36 °C	6 m → 1 s
Mosquito	4 g	25 °C	1 m → 0,1 s
Bala	20 g	25 °C	2 m → 0,01 s

A qual dos sistemas anteriores melhor se adequa a afirmação “a rapidez pode ser lenta”. _____

Justifica a tua resposta. _____

Conceitos:	Peso e Massa
-------------------	--------------

Observa os esquemas que se seguem. Uma das medições foi realizada na face da Lua exposta ao Sol e a outra na Terra. O corpo sombreado a negro e o recipiente contendo num caso vapor de água e no outro água líquida são os mesmos, nas duas medições.



1 – Assinala, com uma cruz, a/s afirmação/ões correcta/s.

- ☐ I – A massa de vapor de água é maior que a massa de água líquida.
- ☐ II – A massa de vapor de água é menor que a massa de água líquida.
- ☐ III – A massa de vapor de água é igual à massa de água líquida.
- ☐ IV – O peso de vapor de água é igual ao peso de água líquida.
- ☐ V – O peso de vapor de água é maior que o peso de água líquida.

2 – Escreve uma frase em que evidencies o que entendes por *massa* de um corpo.

3 – Escreve uma frase em que evidencies o que entendes por *peso* de um corpo.

Conceito:	Movimento
------------------	-----------

Um corpo está em movimento em relação a um referencial (casa, árvore, etc.) se a posição desse corpo em relação a esse referencial varia no tempo.

1 – Dois carros, A e B, vão na mesma estrada rectilínea, com igual valor de velocidade, seguindo o A atrás do B.

Em relação aos dois carros, (assinala com uma cruz a/s opção/ões correcta/s) ...

- ☐ ...podemos concluir que o B está em movimento em relação ao A.
- ☐ ...podemos concluir que o B não está em movimento em relação ao A.
- ☐ ...podemos concluir que o A está em movimento em relação ao B.
- ☐ ...não se pode saber se um está em movimento em relação ao outro.

2 – Faz um desenho em que ilustres o que entendes por *movimento*. Se necessário inclui uma legenda.

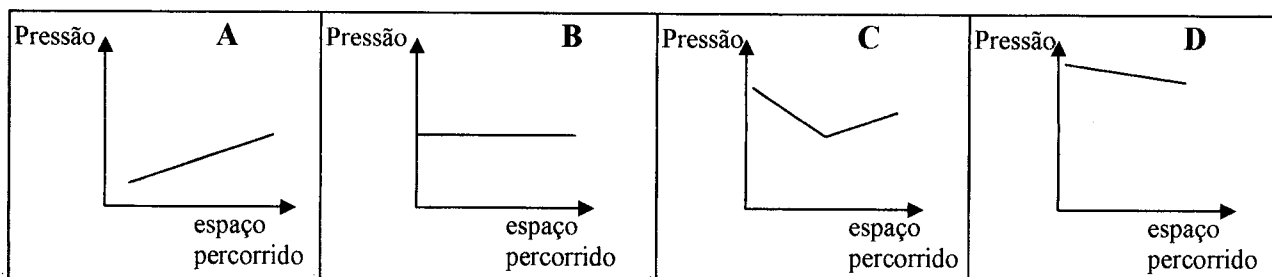
Conceito: Pressão

Nas notícias sobre o *Rali Lisboa-Dakar*, decorrido em Janeiro de 2006, falava-se frequentemente em *pressão*.

1- Escreve uma frase onde expliques o que entendes por *pressão*.

2 – Num dos veículos do *rali*, desde que o depósito de combustível foi cheio até que ficou vazio, houve variação da pressão do veículo sobre o solo.

Dos gráficos seguintes, qual o que melhor traduz como variou essa pressão (indica a letra do gráfico)? _____



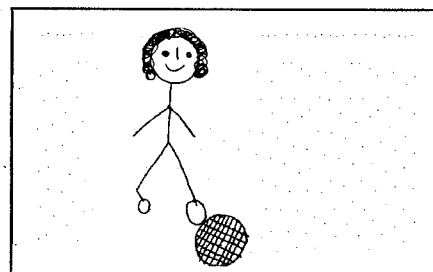
Justifica a tua escolha. _____

Conceito: Força

Pediu-se a alunos que escrevessem uma frase, com significado físico, que explicasse o conceito de *força* e a outros que fizessem um desenho onde evidenciassem o que entendiam por *força*.

Um aluno apresentou a frase transcrita do lado esquerdo e outro o desenho à direita.

"A força faz algo se mover."



1 – Assinala, com uma cruz, a opção que completa a frase:

Depois do chuto ...

- ☐ ...a força exercida continua a actuar na bola.
- ☐ ...a força exercida deixa de actuar na bola.
- ☐ ...a bola move-se com força.
- ☐ ...a bola não se move porque não há força.

2 – Se fosses professor/a de Física classificavas a frase acima transcrita em Verdadeira, Falsa, ou Incompleta?

Justifica a tua resposta. _____

3 – Faz um desenho em que relaciones força e velocidade e escreve uma frase que traduza o significado do desenho.

Obrigado, mais uma vez, pela tua colaboração

Anexo 3

Diálogo entre Salviati e Simplicio

Salviati: [...] Agora diga-me: Suponha que você tem uma superfície plana, lisa, feita de um material como o aço. Ela não está paralela ao solo e, sobre essa superfície coloca uma bola perfeitamente esférica e feita de um material pesado, como o bronze. O que prevê que irá acontecer, quando a bola for solta? Acredita que ela ficará parada?

Simplicio: A superfície está inclinada?

Salviati: Sim, isso foi assumido.

Simplicio: Não acredito que ela permanecerá parada; pelo contrário, tenho certeza de que ela irá espontaneamente rolar para baixo. [...]

Salviati: [...]. Durante quanto tempo você acha que a bola permanecerá a rolar e com que velocidade? Lembre-se que eu disse que era uma bola perfeitamente esférica e uma superfície altamente polida, de modo a remover todos os impedimentos acidentais e externos. Da mesma forma, eu quero que despreze, também, qualquer impedimento do ar, causado por sua resistência à separação, e todos os outros obstáculos acidentais, se existir algum.

Simplicio: Eu compreendi perfeitamente e respondo-lhe que a bola continuaria a mover-se indefinidamente, tão longe quanto a inclinação da superfície se estendesse e com um movimento continuamente acelerado. Pois tal é a natureza dos corpos pesados [...]; e, quanto maior a rampa, maior seria sua velocidade.

Salviati: E se alguém quisesse que a bola se movesse para cima, nessa mesma superfície, acha que a bola [poderia] ir?

Simplicio: Não espontaneamente; não. Mas arrastada ou atirada forçadamente, ela iria.

Salviati: E se a bola fosse arremessada com um ímpeto forçadamente impresso nela, qual seria o seu movimento e quão rápido [seria ele]?

Simplicio: O movimento iria diminuir constantemente e seria retardado, sendo contrário à natureza, e teria uma duração maior ou menor, de acordo com um maior ou menor impulso e menor ou maior declive.

Salviati: Muito bem; até aqui explicou-me o movimento sobre dois planos diferentes. Na descida, o corpo pesado desce espontaneamente e continua a acelerar e para mantê-lo em repouso requer o uso de força. Na subida, é necessária uma força para arremessá-lo e até para mantê-lo parado e o movimento impresso diminui continuamente até ser inteiramente aniquilado. Diz, também, que há uma diferença nas duas situações se o plano tiver diferentes inclinações, de tal forma que, na descida, uma velocidade maior é atingida com uma maior inclinação, enquanto que, pelo contrário, numa descida, um dado corpo em movimento, lançado com uma determinada força, move-se até mais longe, quando a inclinação do plano é menor. Agora, diga-me o que aconteceria, se o mesmo corpo em movimento fosse colocado numa superfície plana.

Simplicio: [...]. Não havendo inclinação, não haveria tendência natural para entrar em movimento; não havendo subida, não haveria resistência a ser movido. Assim, haveria uma indiferença quanto à propensão e à resistência ao movimento. Parece-me que a bola deveria permanecer naturalmente estável. [...].

Salviati: [...]. Acho que isso é o que aconteceria, se a bola fosse colocada firmemente. Mas o que aconteceria, se fosse dado à esfera um impulso, em qualquer direcção?

Simplicio: Deve ser concluído que ela se moveria naquela direcção.

Salviati: Mas com que tipo de movimento? Um continuamente acelerado, como numa descida, ou um continuamente retardado, como na subida de uma rampa?

Simplicio: Não havendo declive, não posso haver uma causa para desaceleração ou para a aceleração.

Salviati: Exactamente. Mas, se não existe causa para a diminuição da velocidade da bola, deve haver ainda menos [causa] para que venha a atingir o repouso. Assim, até onde supõe que a bola se moveria?

Simplicio: Tão longe quanto a extensão da superfície continuasse sem se elevar ou decair.

Salviati: Então, se tal espaço fosse ilimitado, o movimento nele seria, da mesma forma, ilimitado? Isto é, perpétuo?

Simplicio: Assim parece-me [...].

Tendo feito com que a opinião comum concordasse com a existência de um movimento (que chamamos de) inercial, Galileu pergunta qual será a causa do comportamento de corpos quando se encontram numa superfície inclinada.

Salviati: Agora, diga-me, o que considera ser a causa da bola se mover espontaneamente, quando numa descida, e somente forçada, quando numa subida?

Simplicio: Que a tendência dos corpos pesados é de se mover para o centro da Terra e de se mover para cima, a partir de sua circunferência, somente [forçadamente]; ora, é numa descida que se aproxima do centro [da Terra], enquanto que aquela numa subida se afasta para longe [do centro da Terra].

Embora, nessa passagem, Galileu associe "gravidade" com uma maior ou menor proximidade com o centro da Terra, ele foi suficientemente inteligente para notar numa outra passagem que "gravidade" é o nome de algo, cuja natureza ele não conhece.

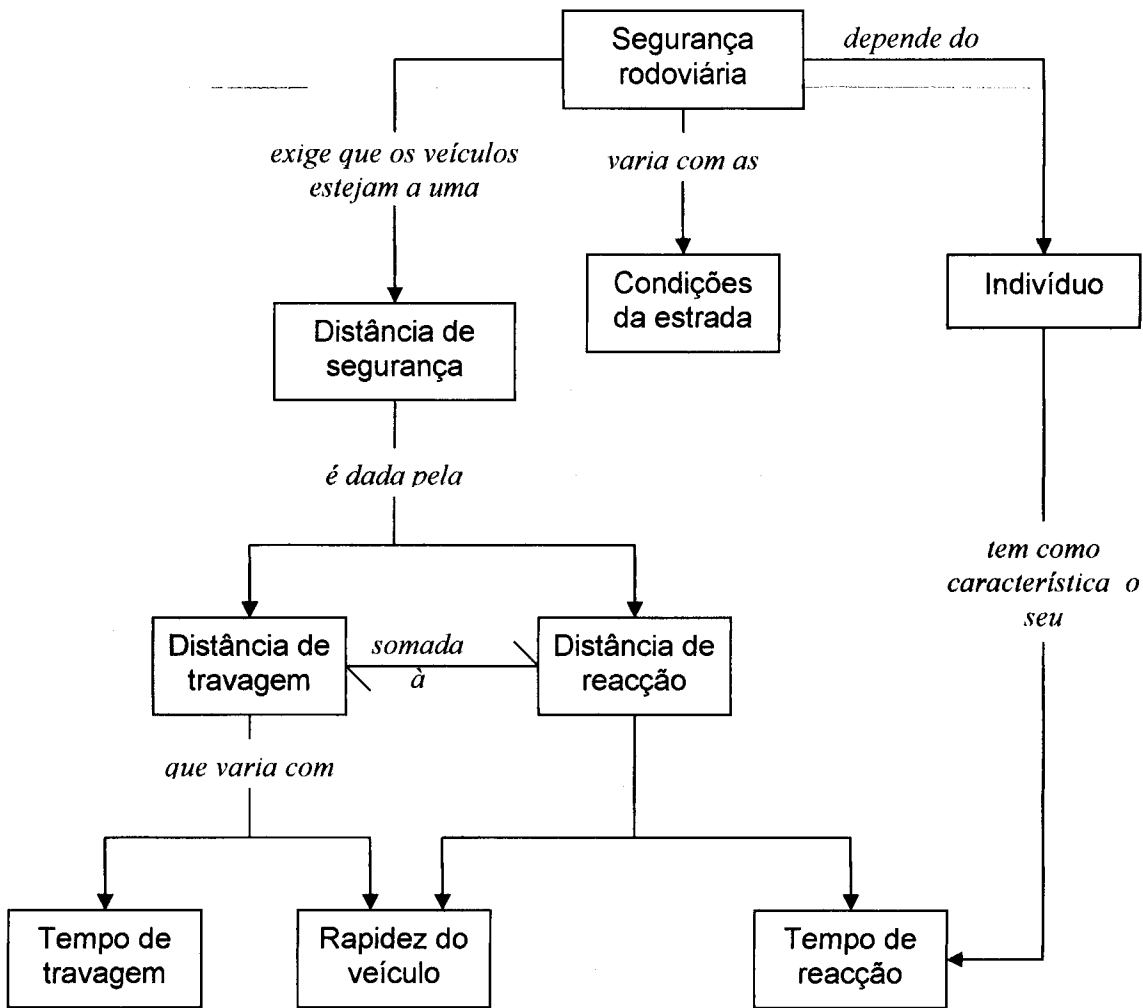
Assim, Galileu apresenta um exemplo do que seria a superfície inercial. Existe uma ironia na situação, pois o exemplo é o de uma superfície, na qual um movimento inercial seria impossível; no entanto, erros de grandes homens são grandes erros.

Salviati: Então para que uma superfície não esteja inclinada, todas as suas partes devem ser igualmente distantes do centro. Existe tal superfície no mundo?

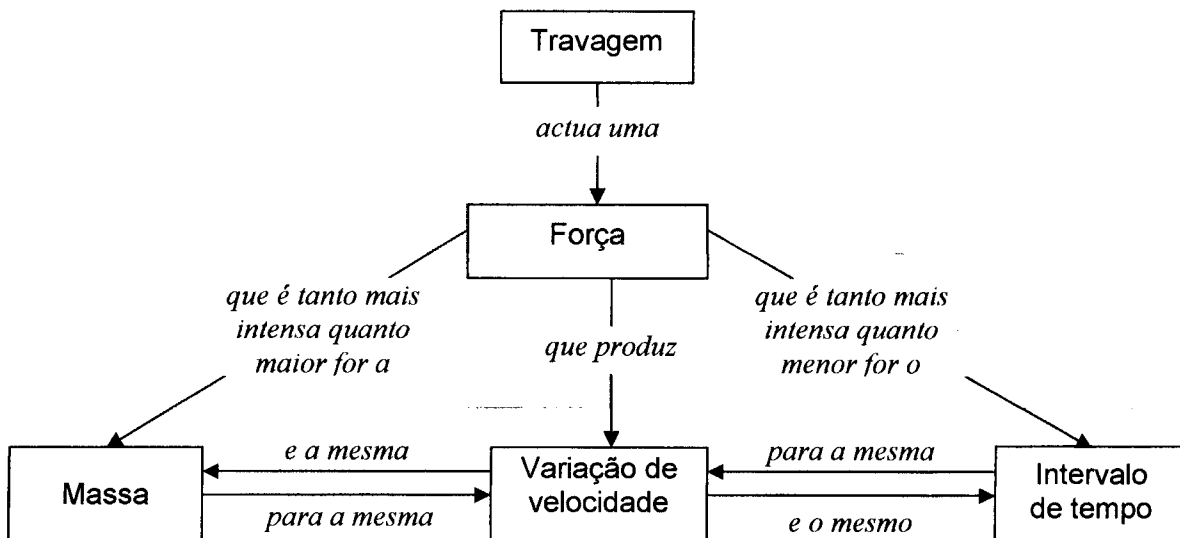
Simplicio: Muitas delas; tal seria a superfície de nosso globo terrestre, se ele fosse liso e não ondulado e montanhoso, como é. [...].

O erro de Galileu parece ter origem na limitação do sistema físico que considera (queda livre) e do aparato conceptual de que dispõe: A origem da Gravitação, para ele, é a maior ou menor proximidade do centro da Terra, como explicitado no diálogo. Nesse contexto, a sua conclusão é inevitável, pois, de facto, uma superfície que não se aproxime nem se afaste do centro só pode ser uma esfera (no caso, a Terra). Acontece que, para se andar sobre uma esfera, por exemplo, ao longo, de um grande círculo, a pessoa faz curvas, o que exige uma aceleração centrípeta e o movimento nessa superfície deixa de poder ser inercial.

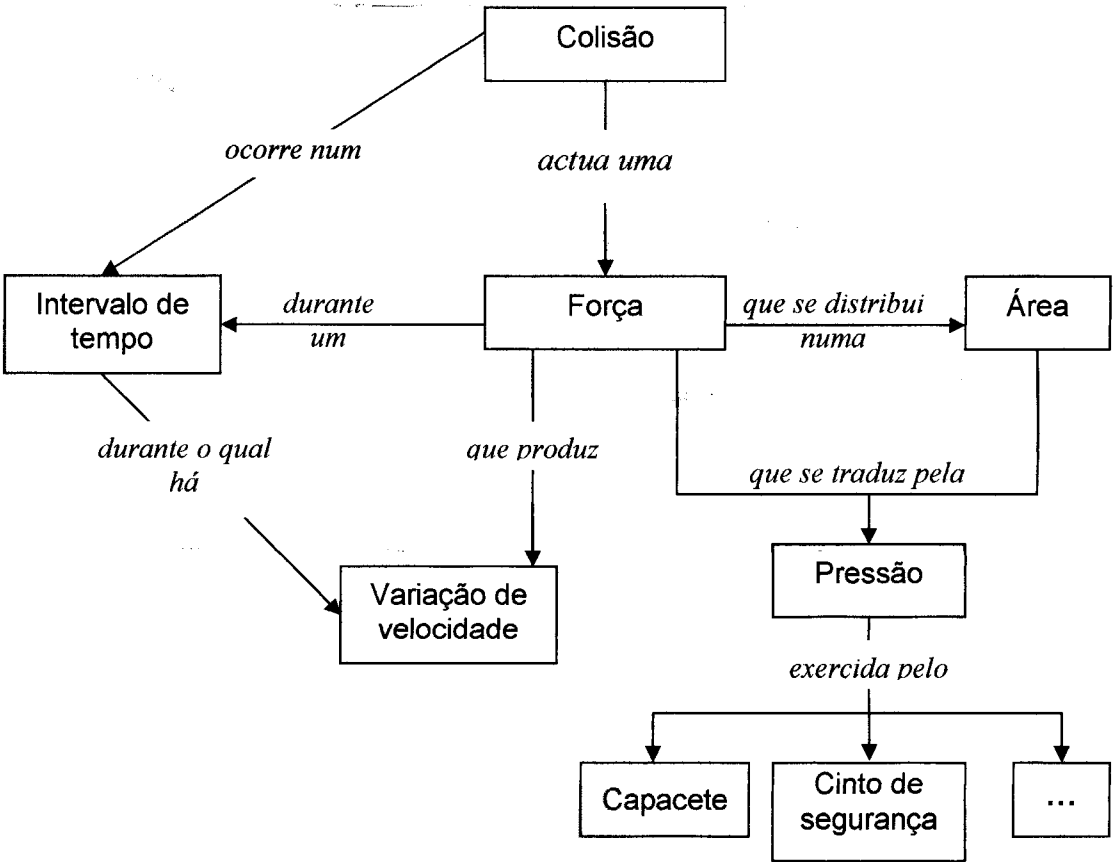
Mapa 1 – Segurança rodoviária



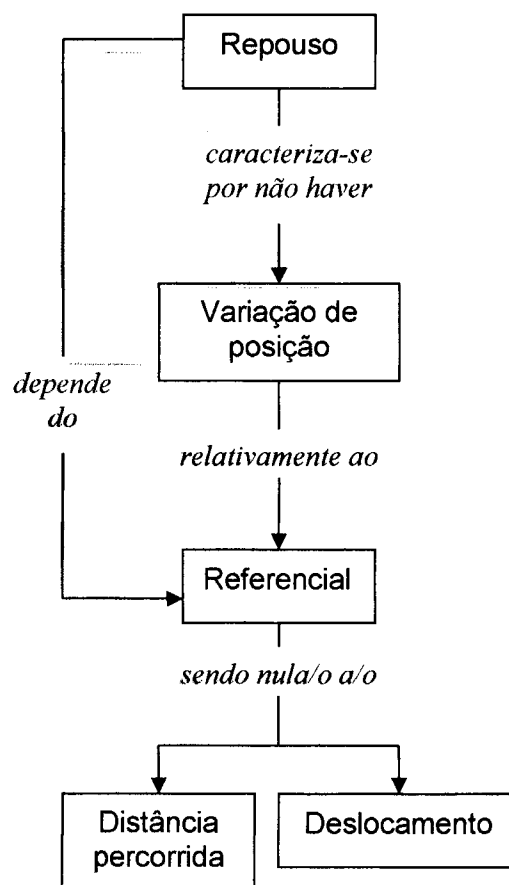
Mapa 2 – Travagem



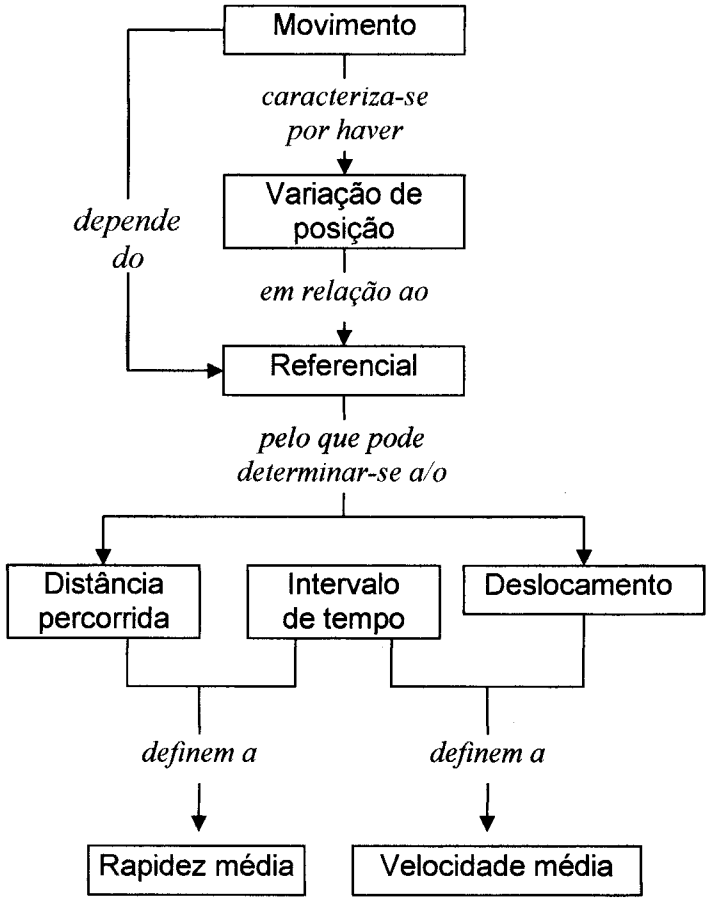
Mapa 3 – Colisão



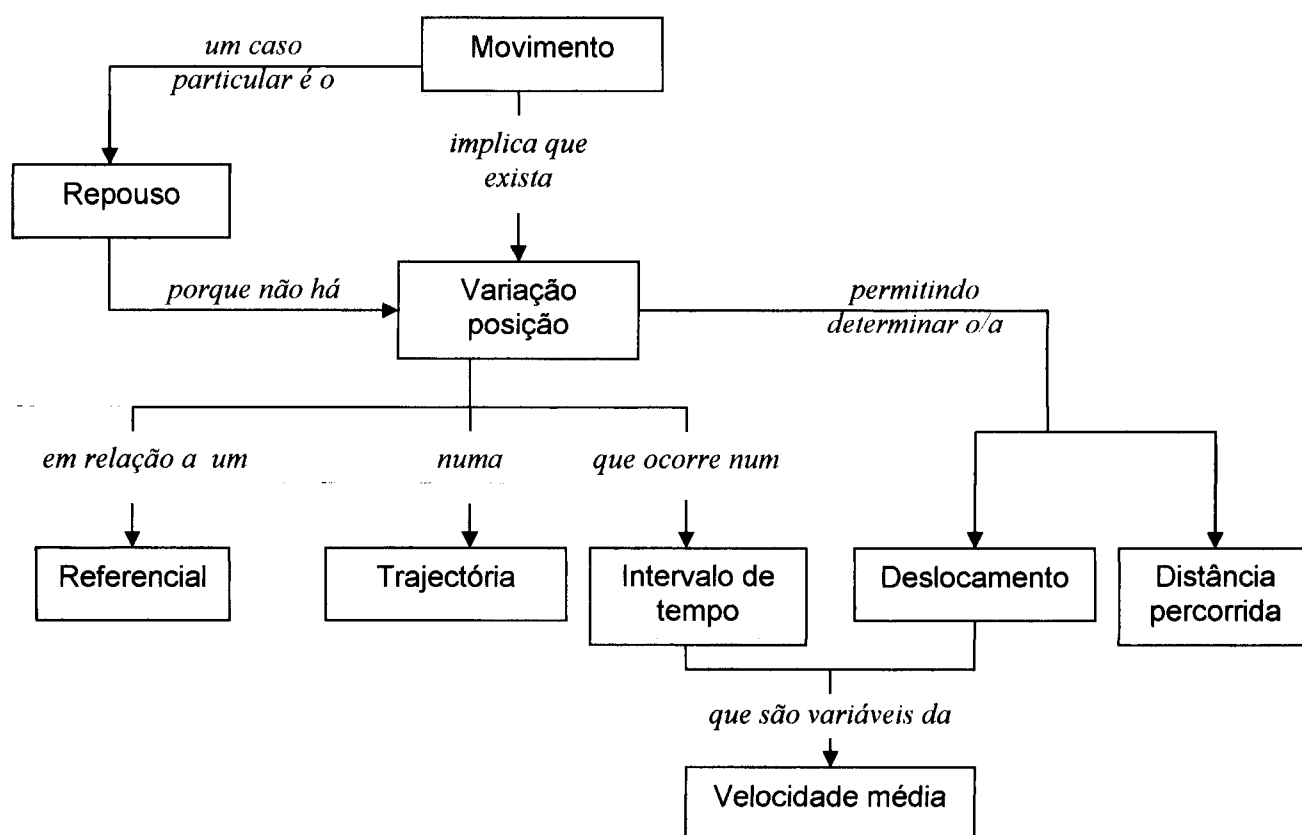
Mapa 4 – Repouso



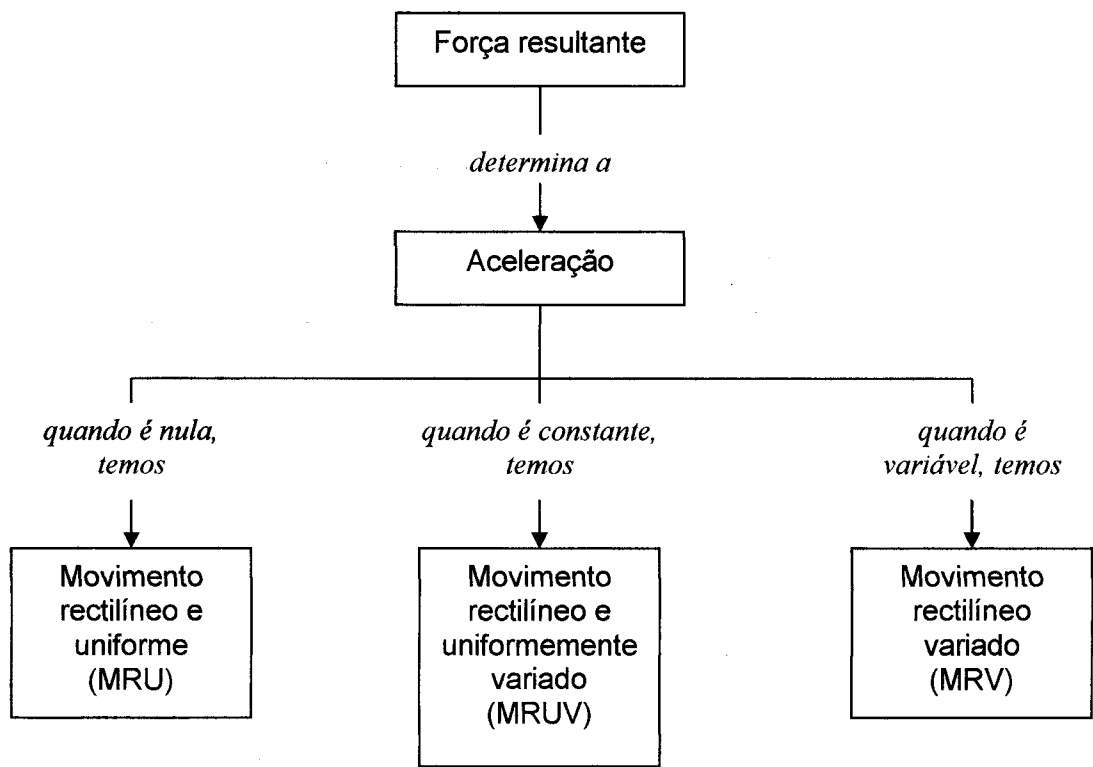
Mapa 5 – Movimento



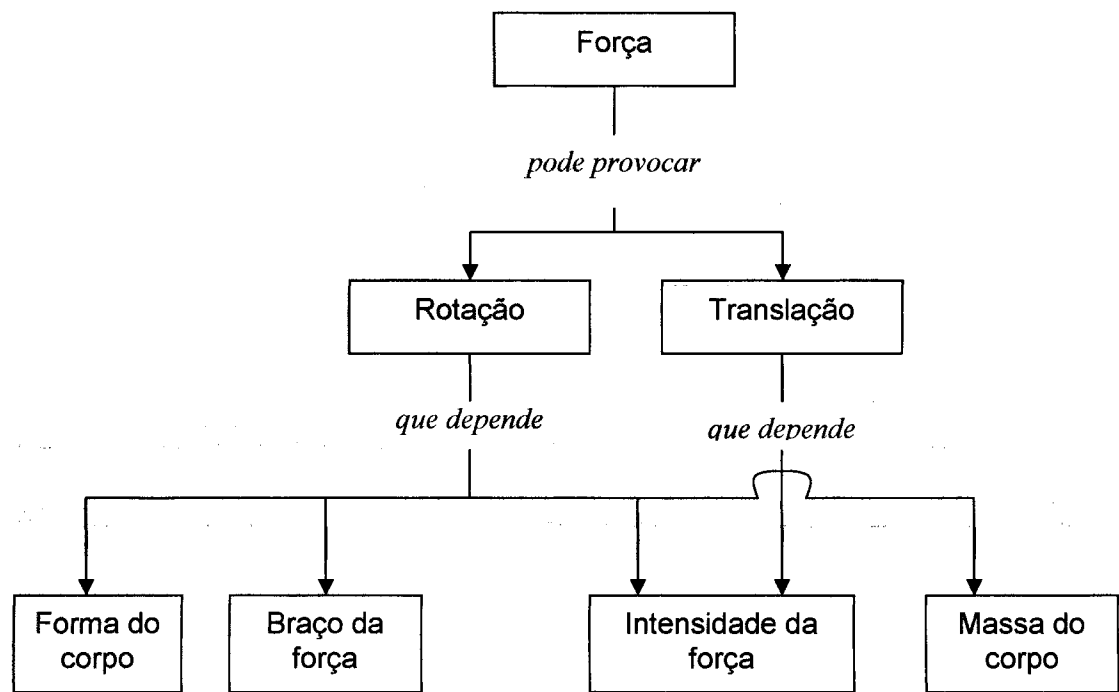
Mapa 6 – Movimento e repouso



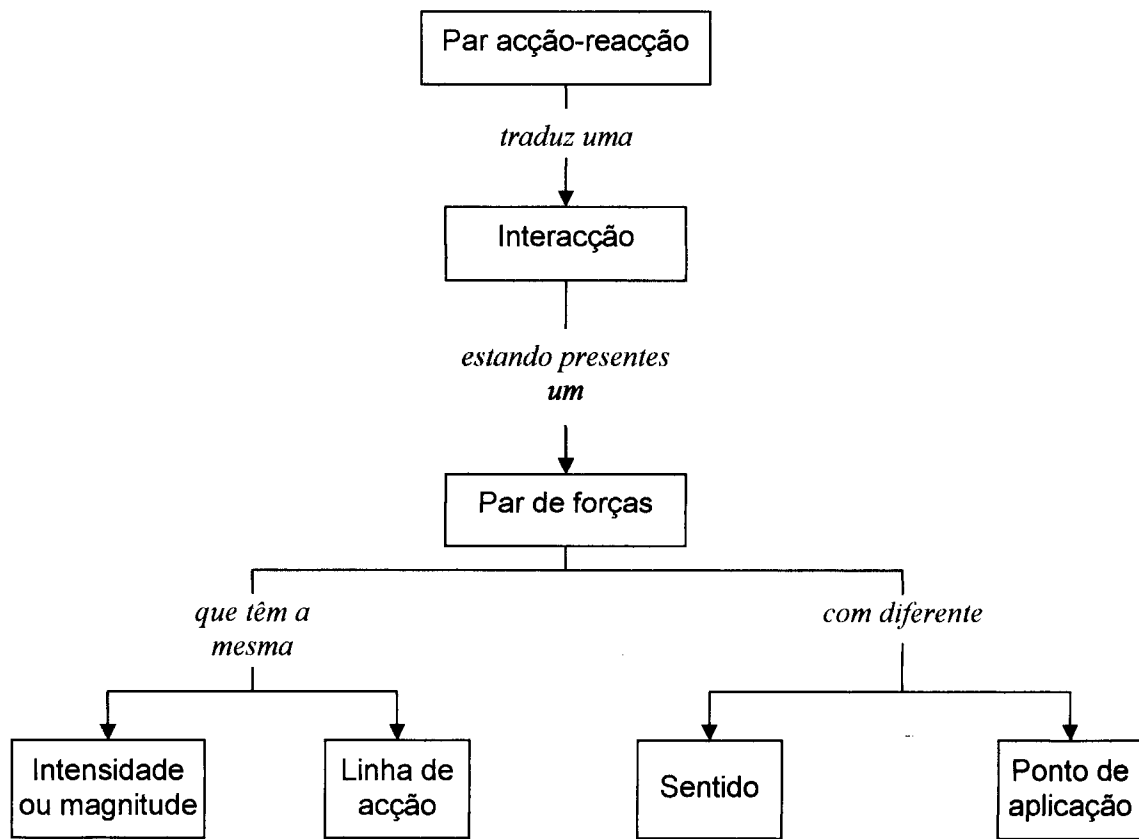
Mapa 7 – Força resultante



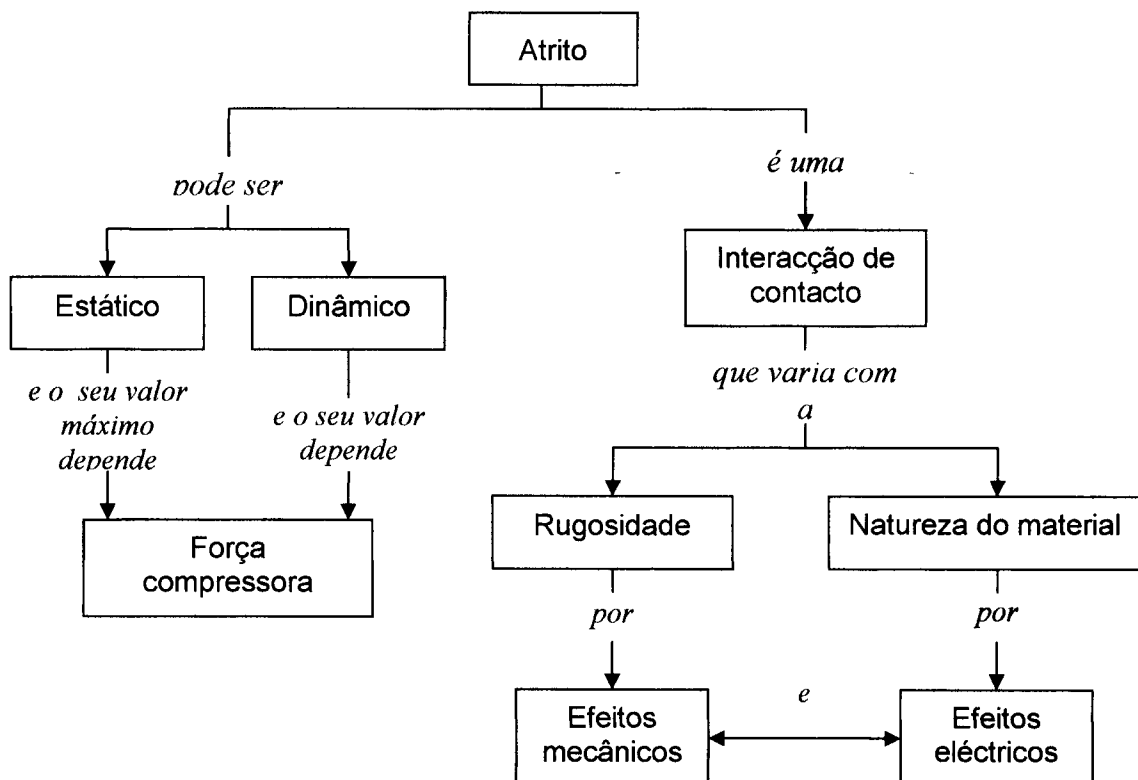
Mapa 8 – Força



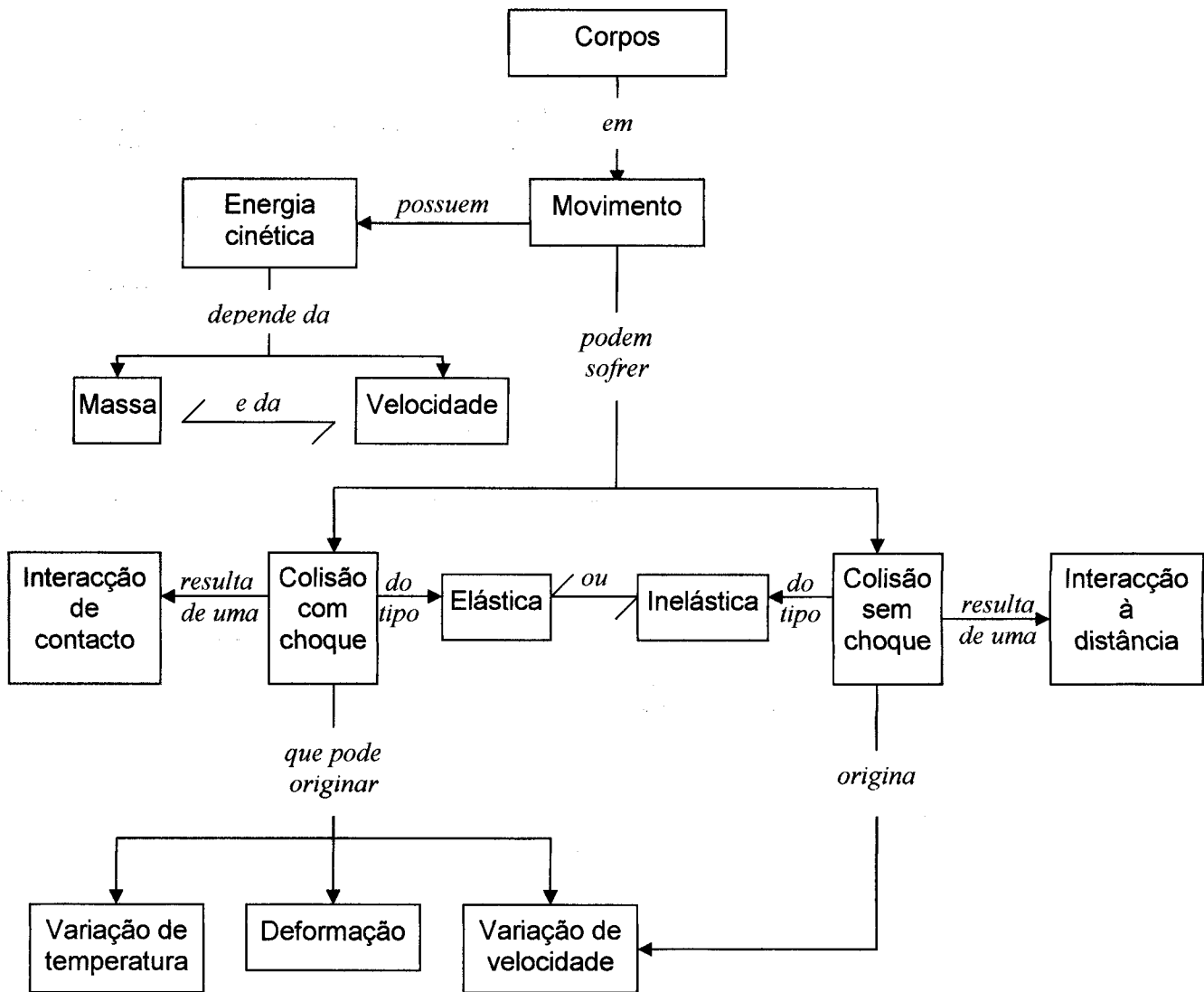
Mapa 9 – Par acção-reacção



Mapa 10 – Atrito

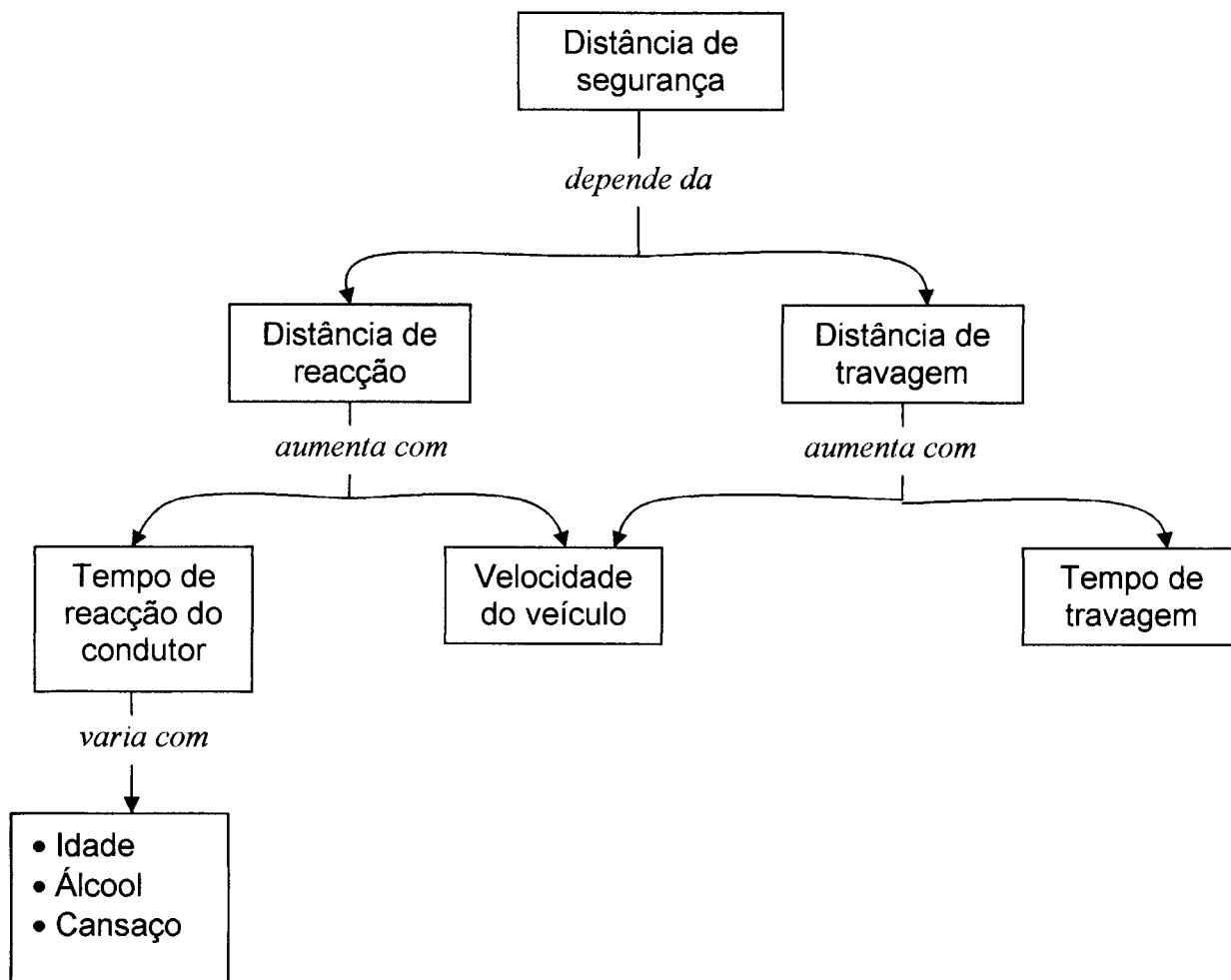


Mapa 11 – Energia nas colisões

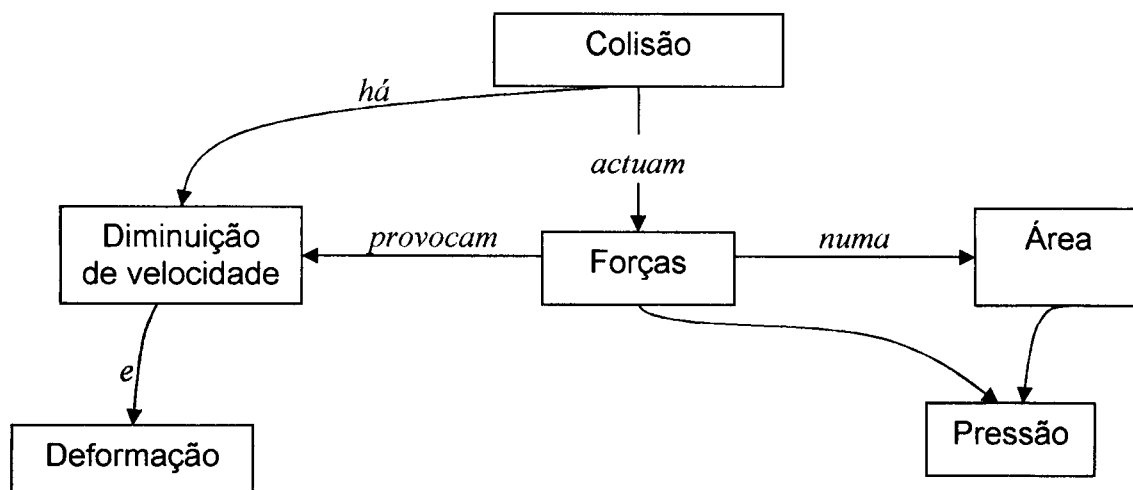


Anexo 5

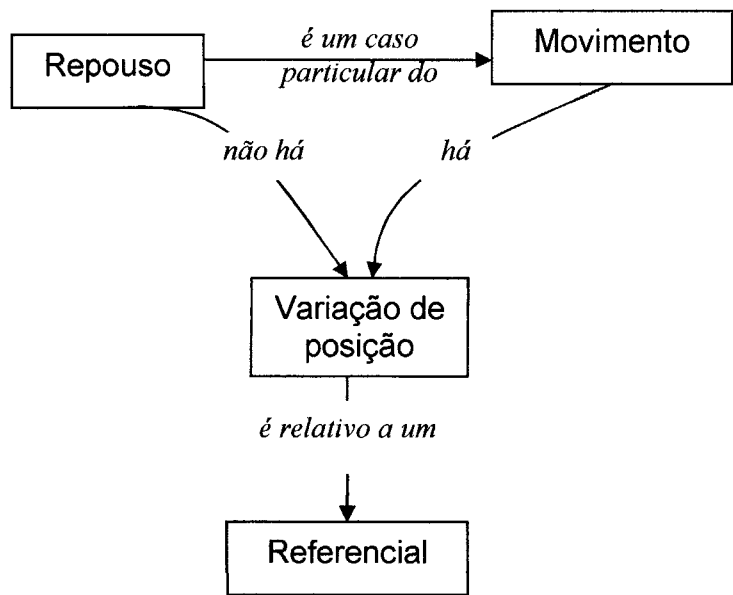
Mapa 1 – Distância de segurança



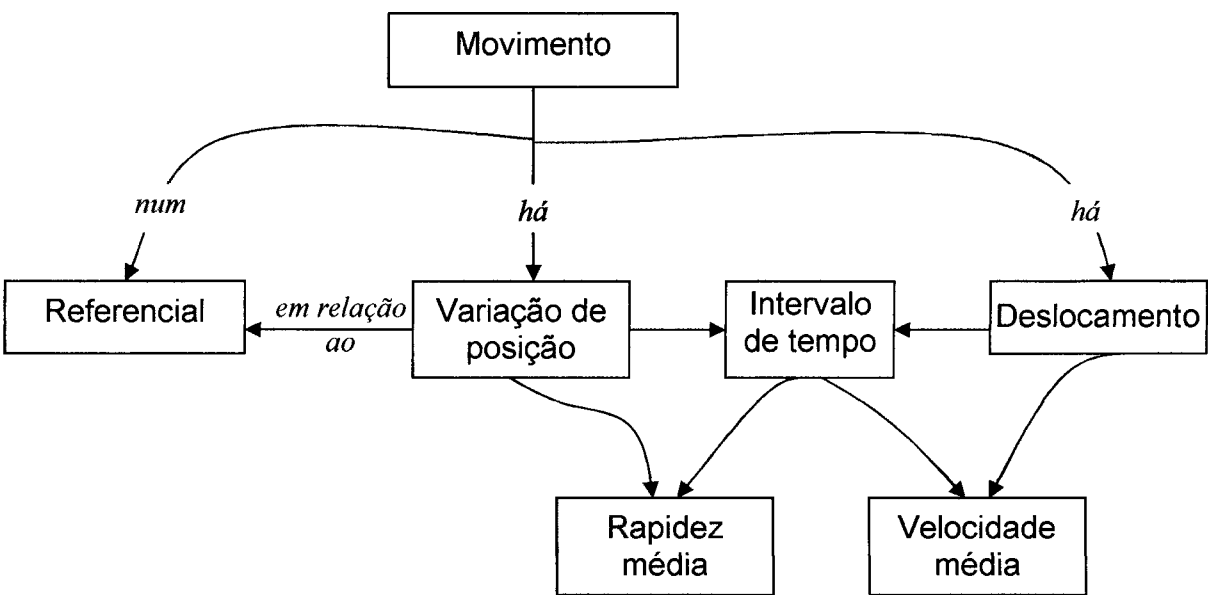
Mapa 2 – Colisão

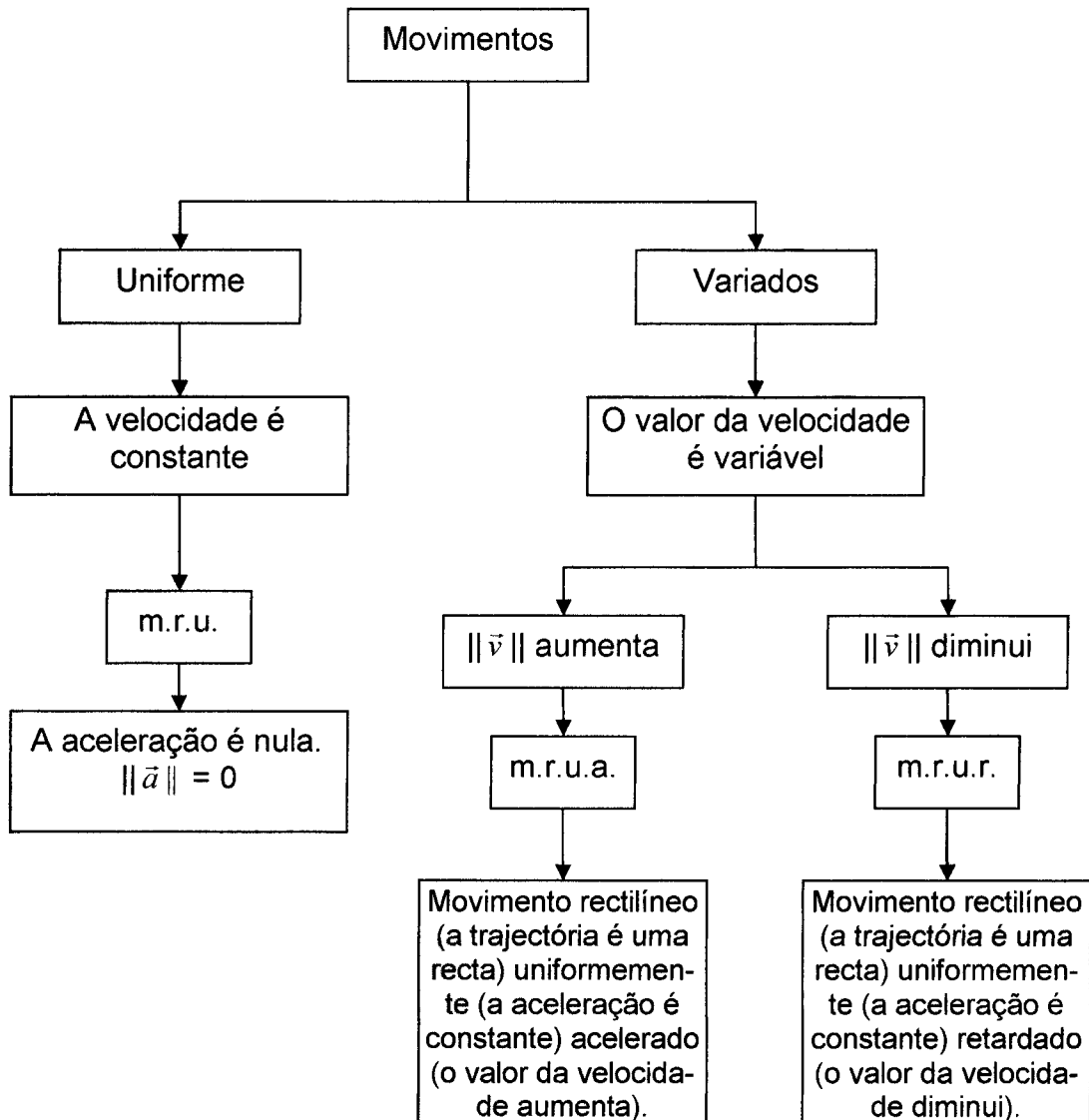


Mapa 2 – Repouso e Movimento

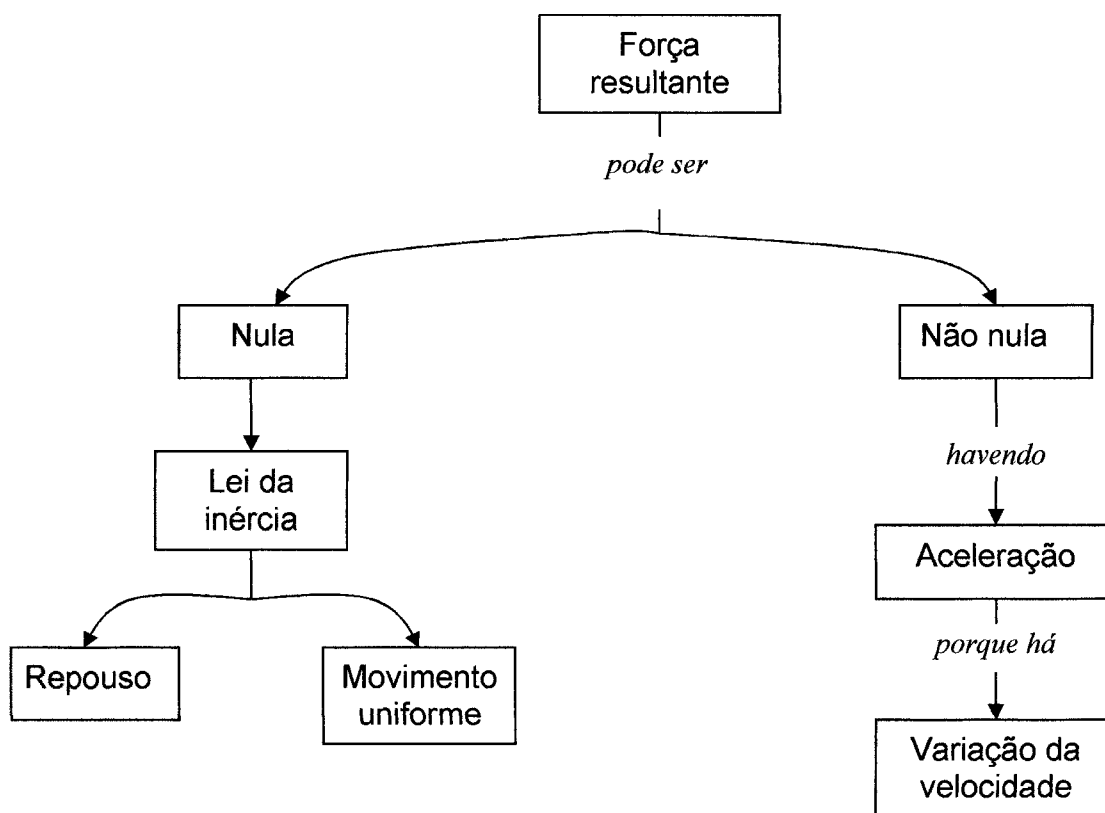


Mapa 4 – Movimento

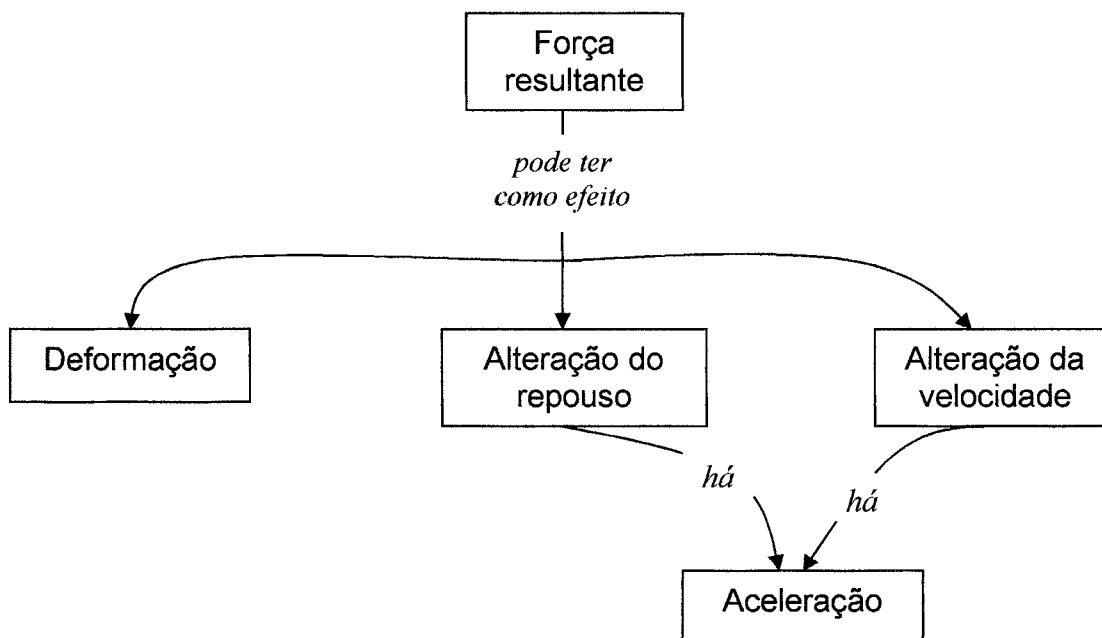


Mapa 5 – Movimentos

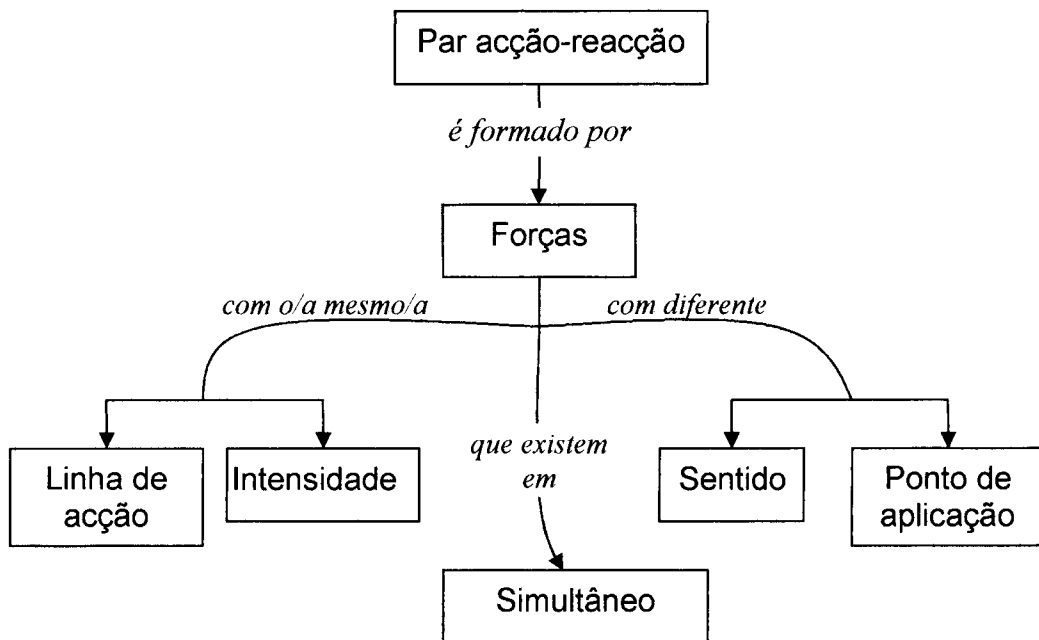
Mapa 6 – Força resultante



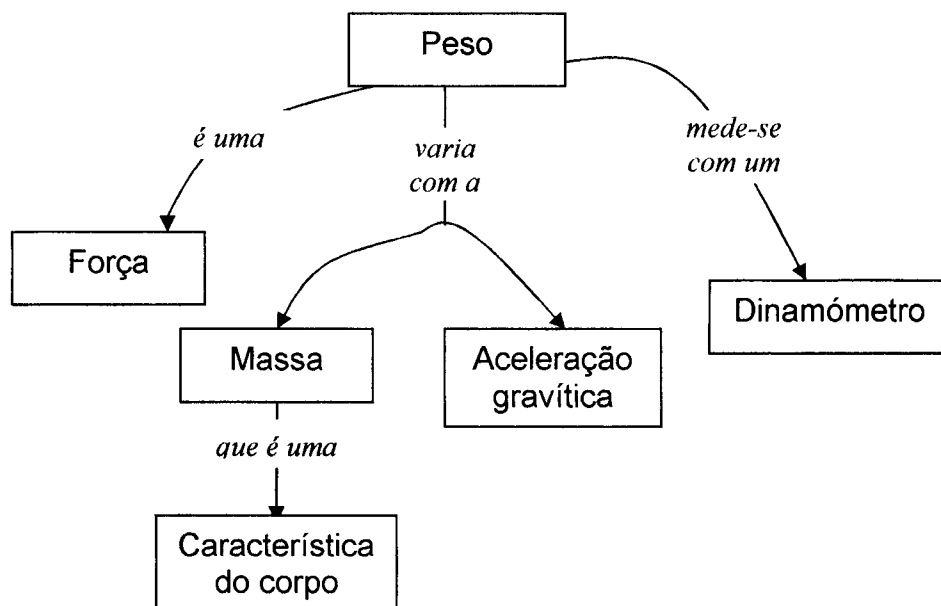
Mapa 7 – Força resultante



Mapa 8 – Par acção-reacção



Mapa 9 – Peso e massa



Glossário

Anexo 6

Aceleração média

Indica-nos a variação da velocidade num dado intervalo de tempo.

João Silva nº 11, 9º C

Capacete

Quanto maior é a área de superfície de contacto menor é a pressão exercida sobre a cabeça da pessoa, logo menores serão os danos sofridos.

Por outro lado, os capacetes são revestidos com um material esponjoso o que faz aumentar o intervalo de tempo de colisão (desde que a cabeça bate no capacete até que pára), diminuindo a força de impacto sobre a cabeça fazendo com que as consequências de colisão não sejam tão graves.

Manuela Pinho nº 14, 9º C

Distância percorrida / espaço percorrido: d ou e

Comprimento do percurso efectuado do ponto de partida ao ponto de chegada. É uma grandeza sempre positiva, visto que não há comprimentos negativos. Mede-se em metros no SI.

Ana Dias nº 3, 9º A

Distância de reacção

É a distância percorrida durante o tempo de reacção, ou seja, durante o intervalo de tempo que decorre desde o instante em que o condutor avista o obstáculo até ao instante em que começa a travar. Representa-se " d_r ".

Maria do Rosário Salvador nº 13, 9º A

Distância de travagem (d_t)

Distância percorrida desde o instante em que o condutor vê o obstáculo até ao instante em que imobiliza o veículo.

Eva Lemos nº 7, 9º B

Força

É toda a causa capaz de alterar o estado de repouso ou de movimento de um corpo e/ou lhe provocar deformação.

- As forças são grandezas vectoriais.
- Representam-se por vectores.
- As forças medem-se com dinamómetros.
- A unidade SI é o newton (N).
- Actuam sempre aos pares.

Paula Teixeira, nº 17, 9ºB

Força

É toda a causa capaz de alterar o estado de repouso ou de movimento de um corpo e/ou de lhe provocar deformações. Representa-se por vectores e é uma interacção entre corpos.

Ana Filipa Arcos

Lei Fundamental da Dinâmica ou 2ª Lei de Newton

A resultante das forças que actuam num corpo é directamente proporcional à aceleração que o corpo adquire. A constante de proporcionalidade entre essas grandezas é a massa (m) do corpo, ou seja:

$$F_r = m \times a$$

1 N 1 kg 1 m/s²

Paula Teixeira, nº 17, 9ºB

Massa

Quantidade de matéria que um corpo contém. O instrumento que serve para medir é a balança. A unidade SI é o quilograma (kg). A massa não varia, é constante.

Ana Silva, nº 1, 9ºA

Movimento

Diz-se que um corpo está em movimento se a sua posição variar relativamente ao referencial escolhido.

João Silva nº 11, 9º C

Movimento rectilíneo e uniforme

Movimento cuja trajectória é rectilínea e o valor da velocidade não varia, é constante.

Paula Teixeira, nº 17, 9ºB

Movimento rectilíneo e uniforme

Movimento cuja trajectória é rectilínea e o valor da velocidade não varia, é constante.

Paula Teixeira, nº 17, 9ºB

Movimento rectilíneo uniformemente acelerado (m.r.u.a)

Movimento em que a trajectória é uma recta; a aceleração é constante; o valor da velocidade aumenta.

Ana Rita, nº 3, 9ºB

Peso

Força com que a Terra nos atrai. O instrumento com o qual se determina o valor do peso é designado dinamómetro. A unidade SI é o newton (N). O peso varia de local para local.

Ana Silva, nº 1, 9ºA

Pressão

Grandeza física definida pelo quociente entre a força exercida sobre um elemento de superfície de um corpo e área da superfície sobre a qual se exerce.

$$\text{Pressão} = \frac{\text{Força}}{\text{Superfície}} \quad p = \frac{F}{S}$$

Manuela Pinho nº 14, 9º C

Rapidez média

Grandeza que nos indica a distância percorrida, em média, num determinado intervalo de tempo. É uma grandeza escalar, ou seja, indica apenas o valor.

Ana Silva, nº 1, 9ºA

Rapidez média

Razão entre a distância percorrida e o intervalo de tempo gasto a percorrer essa distância.

João Silva nº 11, 9º C

Reacção normal

Força que a superfície de apoio exerce sobre o corpo.

Ana Silva, nº 1, 9ºA

Tempo de travagem (t_t)

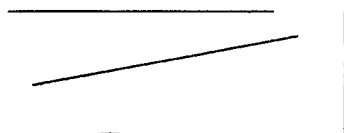
É o intervalo de tempo que decorre desde o instante em que o condutor começa a travar até ao instante em que imobiliza o veículo.

Ana Filipa Arcos

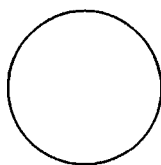
Trajectória

Conjunto das sucessivas posições que o corpo ocupa, num determinado intervalo de tempo, relativamente ao referencial escolhido. As trajectórias podem ser:

- Rectilíneas



- Circulares



- Curvilíneas



Manuela Pinho nº 14, 9º C

Variação de posição

Consiste na subtracção da posição inicial à posição final na trajectória e mede-se em metros no SI.

Ana Filipa Arcos

Vector aceleração média

Indica a variação de velocidade num determinado intervalo de tempo (m/s^2).

Ana Silva, nº 1, 9º

Vector deslocamento

Une a posição inicial à posição final. É caracterizado pelo ponto de aplicação, direcção, sentido e intensidade.

Ana Silva, nº 1, 9ºA

Bibliografia

Artigos

- Alarcão, I., **Professores reflexivos em uma escola reflexiva**, São Paulo, Cortez, 2003;
- Angotti, J. A., Bastos, F. P. e Mion, R. A., **Educação em Física: discutindo Ciência, Tecnologia e Sociedade**, Ciência&Educação, vol. 7, n.º 2, 183 – 197, 2001;
- Baptista, J. P. e outro, **A Construção do Princípio da Inércia e do Conceito de Inércia Material**, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 22, n.º 2, Junho de 2000;
- Bao, L. e Redish, E. R., **Concentration analysis: a quantitative assessment of student states**. Physical Education Resources, American Journal of Physics Supplement, 69(7), 2001
- Carvalho, P.S. e Sousa, A. S., **Física e Química – A mesma linguagem?** Boletim da Sociedade Portuguesa de Química, nº 93, 71, 2004;
- Castellani, O., **Discussão dos conceitos de Massa Inercial e Massa Gravitacional**, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol 23, n.º 3, Setembro de 2001;
- Cattani, M., **Dedução das Equações da Teoria da Gravitação de Einstein num Curso de Graduação**, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 20, n.º 1, Março, 1998;
- Chagas, I., **Literacia Científica. O Grande Desafio para a Escola**, Comunicação apresentada no 1º Encontro Nacional de Investigação e Formação, Globalização e Desenvolvimento Profissional do Professor. Escola Superior de Educação de Lisboa (1999);
- Coady, James. **Research on ESL/EFL vocabulary acquisition: Putting it in context**. In Huckin, T., Haynes M. & Coady, J. (Eds.) Second Language Reading and Vocabulary Learning. Norwood, NJ: Ablex, 1993.
- Costa, S. S. e Moreira, M. A., **O Papel da Modelagem Mental dos Enunciados na Resolução de Problemas de Física**, Revista Brasileira de Ensino da Física, vol. 24, n.º 1, Março de 2002;
- Dicke, R. H., **The Equivalence of Inertial and Gravitational Mass**, General Relativity and Gravitation, 1969
- Ciliberti, N. e Galagovsky, L. R., **Las redes conceptuales como instrumento para evaluar o nivel de aprendizaje conceptual de los alumnos**. Un ejemplo para el tema de dinámica, Enseñanza de las ciencias, 1999, 17 (1), 17-29;
- Figueiredo, J. M. L., **É o conceito de “peso de um corpo” necessário em Física?**, Revista Brasileira de Ensino de Física, 2006;
- Franchi, Anna. **Considerações sobre a teoria dos campos conceituais**. In: MACHADO, Sílvia D. A. et al. Educação Matemática: uma introdução. São Paulo: EDUC, 1999;
- French, A. P., **On weightlessness**, Am. J. Phys., 63 (2), 105, (1995);
- Garnham, A., **Representing information in mental models**. In: CONWAY, M.A.(ed.). *Cognitive Models of Memory*, Cambridge, MA: The MIT Press, 1997;
- Galagovsky, L. e Adúriz-Bravo, A., **Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico**. Enseñanza de las ciencias, 19(2), 2001;
- Gentner, D., Stevens, A. L., (Eds) **Mental Models**, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1983.
- Greca, I. M. e Moreira, M. A., **Do saber fazer ao saber dizer: uma análise do papel da resolução de problemas na aprendizagem conceitual da Física**, ENSAIO – Pesquisa em educação em ciências, vol 5, n.º 1 – Março de 2003.

- Hodson, D., *Teaching and learning. Towards a personalized approach*. Buckingham, Open University Press. (1998);
- Iona, M., *International Weight*, Am. J. Phys., 63 (2), 106, (1995);
- Johnson-Laird, P. N., *Mental models*. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.
- Krieger, E. M., *Aprendizagem das ciências e acesso à cidadania*, Texto apresentado no 3.º Encontro Latino-Americano "Mão na Massa", São Paulo 1 e 2 de Abril de 2004;
- Le Guern, M., *Sur les relations entre terminologie et lexique*. Meta, vol 34, n. 3, pag. 340-343, 1989 ;
- Leal Ferreira, G., *Comparação entre a mecânica relativista e a mecânica newtoniana*, Revista Brasileira de Ensino da Física, vol. 26, n.º 1, 2004;
- Leite, M.S., Almeida, M.J., *Compreensão de Termos Científicos no Discurso da Ciência*, Revista Brasileira de Ensino da Física, 23 (4), 2001
- Lemeignan, G. & Weil-Barais, A. -1994 - *A developmental approach to cognitive change in mechanics*. International Journal of Science Education, v. 16(1), 1994;
- Lemos, N., *$E = mc^2$: Origem e significado*, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 23, n.º 1, Março, 2001;
- Moraes, A. e outro, *Avaliação conceitual de Força e Movimento*, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol 22, n.º 2, Junho de 2000;
- Moreira, M. A., *Linguagem e aprendizagem significativa*, Conferência de encerramento do IV Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, Brasil, 8 a 12 de Setembro de 2003;
- Moreira, M. A., *Mapas conceituais e aprendizagem significativa*, Revista Galaico Portuguesa de Sócio-Pedagogia e Sócio-Linguística, Pontevedra/Galícia/Espanha e Braga/Portugal, N.º 23 a 28: 87-95, 1988;
- Moreira, M. A., *Aprendizagem significativa subversiva*, Actas do III Encontro Internacional sobre Aprendizagem significativa, Lisboa (Peniche), 11 a 15 de Dezembro de 2000.
- Moreira, M.A. e Sousa, C.M.S.G.; *Dificuldades de alunos de Física Geral com o conceito de potencial elétrico*, 2002;
- Mortimer, E., Chagas, A. N., Alvarenga, V. T., *Linguagem Científica Versus Linguagem Comum*, Investigações em Ensino de Ciências, UFRGS, vol. 3, n.º 1, Porto Alegre, 2001;
- Neves, Marcos C. D., *Uma Investigação Sobre a Natureza do Movimento ou Sobre uma História para a Noção do Conceito de Força*, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 22, n.º. 4, Dezembro de 2000;
- Ostermann, Fernanda, *Relatividade restrita no Ensino Médio: os conceitos de massa relativística e de equivalência massa-energia em livros didáticos de Física*, Cadernos. Brás. Ens. Fís., v. 21, n. 1, Abril. 2004;
- Pedrosa, M. A, e Henriques, M. H, *Encurtando Distâncias entre Escolas e Cidadãos: Enredos Ficcionalis e Educação em Ciências*, Revista electrónica de enseñanza de las Ciencias, vol 2, n.º 3, 2003;
- Penik, J. E., *Ensinando "alfabetização científica"*, Educar, Curitiba, p91-113, 1998, Editora da UFPR;
- Praia, J., *Aprendizagem significativa de D. Ausubel: Contributos para uma adequada visão da sua teoria e incidência no ensino*, Em Actas do III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa (pp. 343-350). Lisboa, 2000
- Puri, A., *The art of free-body diagrams*, Physics Education, Volume 31, Number 3, 1996, pp. 155-157(3)

- Roche, J., **What is mass?**, European Journal of Physics, 26 (2005), p. 225-242;
- Sansão, M. O., Castro, M. L. e Pereira, M. P., **Mapa de conceitos e aprendizagem dos alunos**, Instituto de Inovação Educacional – <http://www.iie.min-edu.pt>, Biblioteca Digital, Dezembro de 2002;
- Schnetzler, R. e Aragão, R. M. R., **Importância, sentido e contribuições de pesquisas para o ensino da Química**. Revista Química Nova na Escola, Maio, 1995;
- Silva, J. P. e Silvestre, A. J., **Uma Normal Muito Anormal**, Gazeta de Física, vol 23, Fasc. 1 (2000), 13-16;
- Smolka, A. L. B., **Conhecimento e produção de sentidos na escola: A linguagem em foco**, Cadernos Cedes, ano XX (35), pg. 50-61, (2000);
- Tavares, R., **Aprendizagem significativa**, Revista conceitos, n.º 10, 2004.
- Tavares, R. e Luna, G., **Mapas conceituais: Uma ferramenta pedagógica na consecução do currículo**, I Colóquio Internacional de Políticas Curriculares, Novembro de 2003;
- Tunes, E., **Os conceitos científicos e o desenvolvimento do pensamento verbal**, Cadernos Cedes, ano XX (35), pg. 36-49, (2000);
- Valadares, J., **O conceito físico de massa – I – Introdução histórica**, Gazeta de Física, vol. 16, Fascículo 1, 1993;
- Valadares, J., **O conceito físico de massa – II – Análise do Conceito**, Gazeta de Física, vol. 16, fasc 4, 1993;
- Valente, M. O., **Literacia e Educação Científica**, Encontro na Universidade de Évora, Maio de 2002;
- Vergnaud, G. **La théorie des champs conceptuels**. *Récherches em Didactique des Mathématiques*, 10 (23): 133-170, 1990;
- Vergnaud, G. **Teoria dos campos conceituais**. In Nasser, L. (Ed.) *Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro*. pp. 1-26, 1993;
- Vergnaud, G. (1994). **Multiplicative conceptual field: what and why?** In Guershon, H. and Confrey, J. (1994). (Eds) *The development of multiplicative reasoning in the learning of mathematics*. Albany, N.Y.: State University of New York Press. (1994);
- Vieira, S. e outros, **Uma comparação entre deduções da equação $E = mc^2$** , Revista Brasileira de Ensino da Física, vol. 26, n. 2, p.93-98;
- Vosniadou, S., **Capturing and modeling the process of conceptual change**. *Learning and Instruction*, 4, 1994;
- Williamson, V. M. & Abraham, M. R., **The Effects of Computer Animation on the Particulate Mental Models of College Chemistry Students**. *Journal of Research in Science Teaching*, 32 (nº 5), 1995;

Livros

- Adão, À., **As políticas educativas nos debates parlamentares: o caso do ensino liceal**, Assembleia da República, Lisboa, 2001;
- Almeida, G., **Sistema internacional de unidades (SI)**, Plátano edições técnicas, 2.ª Edição, Lisboa, Maio de 1997;
- Almeida, M. J. B. M., **Preparação de professores de Física – uma contribuição científico-pedagógica e didáctica**, Livraria Almedina, Coimbra, Junho de 2004;
- Alonso, M., Finn, E. J., **Física um curso universitário** (volume 1), Tradução de Mário A. Guimarães e outros, Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1981;

- Alonso, M., Finn, E. J., **Física**, Addison-Wesley, Madrid, pg 73-75, 1981;
- Ausubel, D. P.; Novak, J. D.; Hanesian, H., **Psicologia Educacional**, Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- Bakhtin, M., **Estética da criação verbal**, 2ª Edição, Editora Martins Fontes, São Paulo, 1997;
- Bakhtin, M. e Volochinov V.N., **Marxismo e Filosofia da Linguagem**, Editora Hucitec, São Paulo, 1997;
- Bello, A., Caldeira, H. e Gomes, J., **Ontem e Hoje – Física 12.º ano** (volume 1 e 2), Porto Editora, 1.ª Edição, Porto, 2005;
- Bello, A., Portela, C. e Caldeira, H., **Ritmos e Mudanças – Física 12.º**, Porto Editora, Porto 2001;
- Carvalho, R., **História do Ensino em Portugal**, F. C. Gulbenkian, 1996;
- Carvalho, R., **Ser Professor – Antologia de textos de pedagogia e didáctica**, organização de Nuno Crato, Gradiva, 1.ª Edição, Lisboa, Novembro de 2006;
- Costa, M. M. e Almeida, M. J. B. M., **Fundamentos de Física**, Almedina Editora, Livraria Almedina, 1993;
- Couderc, P., Perrin, F., **A relatividade**, Tradução de Franco Sousa, Edições 70, Lisboa, Fevereiro de 1984;
- DEB – **Departamento da Educação Básica, Currículo Nacional do Ensino Básico – Competências Essenciais**, Lisboa, Setembro de 2001;
- Deus, J. D., Pimenta, M., Noronha, A., Pena, T. e Brogueira, P., **Introdução à Física**, Editora McGRAW-HILL de Portugal, Lisboa, 1992,
- Deus, J. D., **Viagens no Espaço-Tempo**, Gradiva, Lisboa, Janeiro de 2003;
- Einstein, A., **A Teoria da Relatividade Especial e Geral**, Tradução do alemão de Carlos Almeida Pereira, Contraponto, Rio de Janeiro, Outubro de 2003;
- Gerthsen, C., Kneser e Vogel, H., **Física**, Tradução do alemão de Aníbal Armando Inocência e Maria Alice A. M. Inocêncio, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, Novembro de 1998;
- Hodson, D., Reid, D. J., **Ciência para todos en secundaria**, Tradução do inglês de M. J. Martin-Díaz e L.A. Garcia-Lucía Narcea, S.A. de Ediciones, , Madrid, 1997;
- Lopes, J. B., **Aprender e ensinar Física**, Fundação Calouste Gulbenkian, 1.ª Edição, Lisboa, Março de 2004;
- Lorentz, H. A., Einstein, A. e Minkowski, A., **Textos Fundamentais de Física moderna – I volume – O Princípio da Relatividade**, Fundação Calouste Gulbenkian, 5.ª Edição, Lisboa, Dezembro de 2001;
- Martins, I. P. e Veiga, M. L., **Uma análise do currículo da escolaridade básica na perspectiva da educação em Ciências**, Instituto de Inovação Educacional, Lisboa, 1999;
- Mintzes, J. J., Wandersse, J. H. e Novak, J. H., **Ensinando ciência para a compreensão**, Tradução de Rita Clemente, Plátano Edições Técnicas, 1.ª Edição, Lisboa, Fevereiro de 2000;
- Moreira, M.A. e Masini, E.F.S., **Aprendizagem significativa: a teoria de aprendizagem de David Ausubel**, São Paulo: Editora Moraes, 1982
- Moreira, M. A., (Organizador), **A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a investigação na área**, Instituto de Física de UFRGS, Porto Alegre, 2004;

- Moreira, M. A., (Organizador), **Representações mentais, modelos mentais e representações sociais** (Textos de apoio para pesquisadores em educação em Ciências), Instituto de Física de UFRGS, Porto Alegre, 2004;
- Moreira, M. A. E Buchweitz, **Novas estratégias de ensino e aprendizagem**, Plátano Edições Técnicas, 1.ª Edição, Lisboa, 1993
- Mortimer, E. F., **Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino das Ciências**, Ed. UFMG, Belo Horizonte, 2000;
- Neto, A. J., **Resolução de problemas em Física – conceitos, processos e novas abordagens**, Instituto de Inovação Educacional, 1.ª Edição, Lisboa, Dezembro de 1998;
- Novak, J. D. e Gowin, D. B., **Aprender a Aprender**, Tradução de Carla Valadares, Plátano Edições Técnicas, 2.ª Edição, Lisboa, Março de 1999;
- Novak, J. D., **Aprender, criar e utilizar o conhecimento**, Tradução do inglês de Ana Rabaça, Plátano Edições Técnicas, 1.ª Edição, Lisboa, Julho de 2000;
- Oliveira, M. B. e Oliveira, M. K., **Investigações cognitivas: Conceitos, Linguagem e Cultura**, Artmed, S. Paulo, 1999
- Ontoria, A., Ballesteros, A., Cuevas, C., Giraldo, L., Gómez, J. P., Martín, I., Molina, A., Rodríguez, A., Vélez, U., **Mapas conceptuais – uma técnica para aprender**, Tradução para o português de A. De Matos Vilar, Edições ASA, 1.ª Edição, Porto, 1994;
- Pais, A., **Subtil é o Senhor**, Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1995
- Peixoto, E., **Aprendizagem de mestria e resolução de problemas**, Editora McGRAW-HILL de Portugal, Lisboa, 1995;
- Pereira, A., **SPSS – Guia Prático de Utilização**, Edições Sílabo, 4ª Edição, Lisboa, Março de 2003;
- Pestana, M. H. e Gageiro, J. N., – **Análise de dados para Ciências Sociais (A Complementaridade do SPSS)**, Edições Sílabo, 4ª Edição, Lisboa, 2005
- Projecto Física – Unidade 2 – **Movimentos nos céus e o triunfo da mecânica**; Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1978 / 1980
- Projecto Física – Unidade 3 e Guia do Professor – **Movimentos nos céus e o triunfo da mecânica**; Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1978 / 1980
- Rousseau, P., **História da Ciência**, Tradução de Mécia de Freitas Lopes, Editorial Aster,
- Santos, E. e outros, **Ensino das ciências – temas de investigação 3**, Instituto de Inovação Educacional, Lisboa, 1997
- Serway, R. A., **Física para cientistas e engenheiros** (volume 4), Tradução do inglês de Horácio Macedo, LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 3.ª Edição, Rio de Janeiro, 1996;
- Silva, L. e Valadres, J., **Manual de Física – 10.º ano**, Didáctica Editora, 8.º Edição, Lisboa, Junho de 1987;
- Silva, L. e Valadres, J., **Manual de Física 12.º ano – Mecânica**, Didáctica Editora, 7.º Edição, Lisboa, Abril de 1990;
- Simões, M. F., **Cognição e aprendizagem de conceitos-chave da Física**, Edição do Instituto de Inovação Educacional, 1.ª Edição, Lisboa, Novembro de 2000;
- Tipler, P. A. e Mosca, G., **Física para la ciencia y la tecnologia** (volume 1 e 2), 5.ª Edição, Editorial Reverte, S.A., Barcelona, Maio de 2005;
- Valadares, J. e Graça, M., **Avaliando para melhorar a aprendizagem**, Plátano Edições Técnicas, 1.ª Edição, Lisboa, Dezembro de 1998;

