

Paula Maria Carneiro Guimarães

Formação Científica dos Professores Estagiários
e suas
Práticas Pedagógico-Didáticas
Estrutura Interna da Terra: Contributos da Sismologia



UNIVERSIDADE DO PORTO
Faculdade de Ciências
Departamento de Geologia

2001

**Formação Científica dos Professores Estagiários
e suas
Práticas Pedagógico-Didáticas
Estrutura Interna da Terra: Contributos da Sismologia**

Paula Maria Carneiro Guimarães

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Geologia para o Ensino
sob a orientação de
Doutor João José Félix Marnoto Praia

UNIVERSIDADE DO PORTO
Faculdade de Ciências
Departamento de Geologia

2001

Ao Zé, meu marido

AGRADECIMENTOS

Ao Doutor João Félix Praia, pelas palavras de incentivo permanentes e pela dedicação e empenho na orientação deste trabalho.

Aos Professores Estagiários do Núcleo de Estágio do 11º Grupo B 1999/2000, da Escola Secundária José Régio, Vila do Conde - Dilarmando Carvalho, Goreti Castro, Luís Pedro Céu e Patrícia Nunes-,

à Celestina Ançã e Núcleo de Estágio do 11º Grupo B 2000/2001, da Escola Secundária Almeida Garrett – Vila Nova de Gaia,

ao Manuel Conceição e Núcleo de Estágio do 11º Grupo B 2000/2001, da Escola Secundária de Penafiel 1 e aos

Professores Estagiários Núcleo de Estágio do 11º Grupo B 2000/2001, da Escola Secundária de Penafiel 2, pelo seu empenhamento e colaboração, sem os quais este trabalho não teria sido possível.

Ao Professor Doutor Senos Matias, da Universidade de Aveiro, pelos esclarecimentos de natureza científica, no âmbito da sismologia.

Ao Professor Doutor Frederico Sodré Borges e ao Dr. Rui Moura, pela revisão crítica do capítulo 2.

À Jacinta Moreira, pela amizade, pelas dicas de natureza metodológica e pela revisão do texto final.

Finalmente, ao Zé, pelo apoio emocional e logístico, bem como pela sua importantíssima ajuda na compreensão de conceitos da Física.

Índice

RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
1. ESTRUTURA DO ESTUDO.....	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	1
1.2. DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA E OBJECTIVOS.....	2
1.3. ORGANIZAÇÃO.....	4
1.4. LIMITAÇÕES.....	5
2. CONTRIBUTOS DA SISMOLOGIA PARA O CONHECIMENTO DA ESTRUTURA INTERNA DA TERRA.....	7
2.1. DEFINIÇÃO DE SISMO E DE ZONA FOCAL.....	8
2.2. ESCALA DE MAGNITUDE DE RICHTER.....	9
2.3. PROPAGAÇÃO DA ENERGIA SÍSMICA / ONDAS SÍSMICAS.....	10
2.4. VELOCIDADE DAS ONDAS SÍSMICAS.....	18
2.5. REFLEXÃO E REFRACÇÃO DAS ONDAS SÍSMICAS EM MEIOS ELÁSTICOS / LEI DE SNELL.....	19
2.6. REFRACÇÃO CRÍTICA.....	28
2.7. FASES SÍSMICAS.....	30
2.8. TRAJECTOS DAS ONDAS SÍSMICAS INTERNAS E SEU REGISTO.....	33
2.9. A SISMOLOGIA COMO CONTRIBUTO INSTRUMENTAL PARA A CONSTRUÇÃO DE MODELOS DA ESTRUTURA INTERNA DA TERRA.....	36
2.10. CONTRIBUTO DAS ONDAS SÍSMICAS REFRACTADAS PARA O CONHECIMENTO DA ESTRUTURA INTERNA DA TERRA.....	38
2.11. MODELO DA ESTRUTURA INTERNA DA TERRA.....	46
3. METODOLOGIA	65
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	75
4.1. ANÁLISE E FUNDAMENTAÇÃO EMPÍRICA DAS DIFICULDADES DOS PROFESSORES ESTAGIÁRIOS.....	75
4.2. DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE INTERVENÇÃO.....	87
5. CONCLUSÕES / IMPLICAÇÕES EDUCACIONAIS / ESTUDOS FUTUROS.....	107
BIBLIOGRAFIA.....	113
ANEXOS.....	119
I. RAZÕES TRIGONOMÉTRICAS.....	119
I.1. Razões Trigonométricas de Ângulos Agudos.....	119
I.2. Relações entre as Razões Trigonométricas.....	119
I.3. Funções Trigonométricas Naturais.....	120
II. PLANIFICAÇÃO DO NÚCLEO DE ESTÁGIO DO 11º GRUPO B, DO ANO LECTIVO 1999/2000, DA ESCOLA SECUNDÁRIA JOSÉ RÉGIO/VILA DO CONDE, DO TEMA CURRICULAR “A ESTRUTURA INTERNA DA TERRA – CONTRIBUTOS DA SISMOLOGIA PARA O SEU CONHECIMENTO”, DO 10º ANO DE ESCOLARIDADE.....	121
III. REFLEXÃO, INDIVIDUAL E CONJUNTA, SOBRE AS AULAS LECCIONADAS POR DOIS PROFESSORES DO NÚCLEO DE ESTÁGIO 1999/2000, DA ESCOLA SECUNDÁRIA JOSÉ RÉGIO – VILA DO CONDE.....	135
IV. PLANIFICAÇÕES DOS NÚCLEOS DE ESTÁGIO DO 11º GRUPO B-2000/2001, DAS ESCOLAS SECUNDÁRIAS PENAFIEL 1 E PENAFIEL 2 DO TEMA CURRICULAR “A ESTRUTURA DA TERRA – CONTRIBUTOS DA SISMOLOGIA PARA O SEU CONHECIMENTO” DO 10º ANO DE ESCOLARIDADE.....	141
V. CARTAS DE EXPLORAÇÃO DO TEMA CURRICULAR “A ESTRUTURA DA TERRA – CONTRIBUTOS DA SISMOLOGIA PARA O SEU CONHECIMENTO”, ELABORADAS PELOS PROFESSORES DO SEGUNDO GRUPO DE REFLEXÃO.....	143

VI. MATRIZES DOS ACETATOS	145
VII. CD-ROM.....	181
VII.1. <i>Animação, tridimensional, do modo de propagação das ondas sísmicas P, S, L e R.</i>	181
VII.2. <i>Ilustração, bidimensional, da formação de ondas sísmicas directas, reflectidas e transmitidas.</i>	182
VII.3. <i>Ilustração, bidimensional, da formação de ondas sísmicas directas, reflectidas, transmitidas e de refacção crítica ($v_1 < v_2$).</i>	182
VII.4. <i>Animação realista da propagação de ondas S, no manto, a diferentes profundidades, com registo simultâneo de sismogramas, a diferentes distâncias do foco.</i>	182

Resumo

O presente trabalho de investigação educacional pretendeu o diagnóstico dos conceitos-chave a trabalhar na formação de professores, que lhes permitam organizar, de forma significativa e estruturada, um “pensar a Sismologia” enquanto instrumento de estudo da estrutura interna da Terra.

A (re)interpretação do currículo, decorrente desta perspectiva de formação, contribuirá para a (re)qualificação do processo de ensino/aprendizagem e para o envolvimento do aluno na construção dos seus próprios saberes.

Para tal, contámos com a colaboração de dois grupos de professores estagiários do grupo disciplinar de Biologia–Geologia.

Com o primeiro, problematizámos os contributos da sismologia para o conhecimento da estrutura interna da Terra, em três fases distintas - durante a ante-planificação do tema, a observação directa das aulas e o visionamento das gravações vídeo das aulas.

Com o segundo grupo pretendemos, de algum modo, validar os dados obtidos empiricamente com o primeiro grupo e discutir perspectivas de formação científica dos professores, indutoras do modelo do professor investigador.

Desta investigação resultam propostas de abordagem metodológica do trabalho do professor, nas suas vertentes científica (proposta de formação cognitiva, sintetizada numa carta de exploração do tema “Os contributos da Sismologia para o conhecimento da estrutura interna da Terra”) e didáctica (perspectiva indutora do professor investigador).

Abstract

The present educational research work aims at diagnosing the key concepts that should be developed in teacher training in order to guide professionals in the use of “the thought of Seismology” as an instrument for the study of the Internal Structure of Earth.

As a consequence of this new perspective of training, the re-evaluation of the curriculum will contribute to re-qualify the teaching/learning process and to further involve students in the construction of self-knowledge.

In this work we had the precious collaboration of two Biology-Earth Sciences trainee-teachers groups.

With one of these groups we questioned the contribution of Seismology to the knowledge of the internal structure of the earth in three different steps: pre-planning of the theme, direct observation of the class and viewing of video recorded classes.

With the second group we tried to validate the empirical data obtained by the first group and discussed the teacher scientific background perspectives as inductors of the teacher/researcher model.

From this research proposals emerged for new methodological approaches to teaching in its two main aspects: (1) scientific (proposals of cognitive development synthesised in a exploration map of the theme “Seismology Contributions to the Knowledge of the Internal Structure of Earth”; and (2) didactic (inductive perspective of the researcher/teacher).

1. Estrutura do estudo

“O conhecimento não é um produto acabado, mas antes uma construção que se faz e se refaz constantemente”.

in Lüdke e André, 1988:18

1.1. Contextualização

Enquanto professora de geociências e co-autora de manuais escolares do ensino secundário, confrontei-me com dificuldades no tratamento do tema curricular “Os contributos da sismologia para o conhecimento da estrutura interna da Terra”, nomeadamente, ao nível do processo de ensino/aprendizagem e da construção de materiais. A sistematização destas dificuldades resume-se, no geral, a duas questões-chave: “quais os contributos da sismologia para o conhecimento da estrutura interna da Terra?” e “como construir materiais didácticos que realcem a relação instrumental *sismologia/estrutura interna da Terra*?”. A primeira etapa a cumprir parece ser, nesta perspectiva, a formação científica dos professores, seguida de formação didáctica.

Estas questões colocaram-se, de forma mais premente, aquando da co-autoria de manuais escolares, dada a maior exposição das opções científicas, pedagógicas e didácticas da equipa, através da sua publicação, em oposição ao trabalho em escola e na sala de aula, em regra, menos visível.

À época, a pesquisa da produção científica realizada, no tempo disponível para o efeito, não foi suficiente para a descodificação e compreensão de alguns conceitos, sendo que de outros (de outras áreas disciplinares afins) não tive consciência da sua importância e, portanto, as dificuldades com eles relacionadas não se manifestaram.

De igual modo, a análise dos demais manuais escolares da área e nível de escolaridade em causa (10º ano), parecia apontar para dificuldades idênticas, dado o predomínio de uma componente descritiva, sendo pouco explícito o carácter instrumental da sismologia na definição de modelos da estrutura terrestre.

A metodologia do professor - na sua maior parte, individual e de carácter fortemente intuitivo - acrescenta dificuldades organizacionais às anteriormente citadas.

Assim, e sendo que, no âmbito deste trabalho, a investigação educacional ao nível da formação científica e didáctica dos professores seria demasiado ambiciosa, centrámos o nosso estudo na primeira componente de formação, visando a definição de metodologias de trabalho, susceptíveis de promover o modelo de professor investigador.

O tratamento deste tema parece-nos relevante, no actual contexto educativo, pelo menos, pelas razões que a seguir discriminamos:

- No âmbito da afirmação das Didáctica das Ciências, parece-nos fundamental o desenvolvimento de métodos de trabalho do professor, tendo em vista a redução do carácter espontâneo e intuitivo da sua actividade e o desenvolvimento de uma concepção actual de construção de ciência de base racionalista/não positivista.
- O conhecimento científico do professor condiciona a inovação educacional no ensino das ciências.
- A avaliação do sistema de ensino, recentemente realizada em função das notas dos exames nacionais de 12º e articulada com as classificações internas, (re)equaciona, de forma premente, a necessidade de avaliação do sistema de ensino enquanto processo e não apenas enquanto produto. Nesta perspectiva, a investigação educacional realizada no âmbito deste trabalho contribui para o despiste de factores processuais susceptíveis de afectar o resultado final do ensino/aprendizagem.

1.2. Delimitação do problema e objectivos

De acordo com o projecto inicial deste trabalho, e com a colaboração de professores de um núcleo de estágio, tínhamos-nos proposto diagnosticar dificuldades de aprendizagem dos alunos no tema “Estrutura interna da Terra – contributos para o seu conhecimento / A Sismologia” e construir materiais didácticos. Porém, cedo nos apercebemos que nos devíamos centrar nas dificuldades, de natureza científica e didáctica, manifestadas pelos professores, como descreveremos no capítulo 3.

Assim, após reformulação do projecto, definimos como problemas *o diagnóstico das dificuldades dos professores estagiários ao nível da planificação e concretização do ensino/aprendizagem e a formação científica dos professores.*

A estruturação desta investigação educacional assentou, então, em três hipóteses de trabalho¹:

- as dificuldades dos professores estagiários, ao nível da planificação e da implementação do processo de ensino/aprendizagem, têm origem na sua formação de base, científica e didáctica;
- a formação científico-didáctica deve ser de carácter contínuo, numa perspectiva disciplinar e interdisciplinar;
- o professor, ao nível da(s) sua(s) metodologia(s), deve estruturar o seu trabalho, aproximando-o da investigação educativa.

Nesta sequência, orientámos o desenvolvimento do presente trabalho, visando os seguintes objectivos:

- diagnosticar dificuldades dos professores estagiários na planificação e implementação do processo de ensino/aprendizagem do tema curricular em análise;
- identificar as causas das dificuldades dos professores estagiários diagnosticadas;
- consciencializar os professores da existência de obstáculos, de ordem científica e didáctica, no processo de ensino/aprendizagem do tema curricular em análise;
- organizar um pensar a sismologia na sua vertente instrumental;
- reflectir sobre a importância dos modelos em ciência, enquanto interpretações dinâmicas, construídas pelos investigadores como resposta (provisória) a problemas – o caso do modelo de estrutura interna da Terra;
- encarar a sismologia como uma área científica interdisciplinar;
- explicitar a interdisciplinaridade de conceitos implícita no tema “Contributos da Sismologia para o Estudo da Estrutura Interna Da Terra”;

¹ Segundo a concepção de Medawar (1972) in Bell (1997:35), que define hipótese como “uma concepção prévia imaginativa *do que pode ser verdade* – uma concepção prévia que vai sempre [...] mais além daquilo que temos autoridade lógica ou factual para acreditarmos”.

- compreender os conceitos interdisciplinares (físicos e matemáticos) relevantes para a compreensão da temática (apropriação do conhecimento científico);
- mobilizar e aplicar conceitos da área disciplinar da Geologia, da Matemática e da Física na compreensão dos fenómenos sísmicos (a transdisciplinaridade e a construção do conhecimento da Geofísica);
- induzir a discussão científica transdisciplinar (Geologia, Física e Matemática) dos conceitos envolvidos na temática sismologia/estrutura interna da Terra;
- problematizar perspectivas de formação de professores;
- promover o modelo do professor investigador.

1.3. Organização

Este trabalho de pesquisa suportou-se no estudo de casos - núcleos de estágio -, num processo de investigação-acção, como descreveremos no capítulo 3.

Nos restantes capítulos, os assuntos tratados são os que a seguir se sintetizam.

Neste capítulo definimos as questões-problema, as hipóteses de trabalho e os objectivos a atingir. Fundamentamos, ainda, a escolha do tema em apreciação, bem como a sua relevância, no âmbito da Didáctica das Ciências.

No capítulo 2, revemos a bibliografia seleccionada ao nível das implicações científicas dos problemas em estudo. A revisão da produção científica foi a adequada a professores e não a geofísicos. Ou seja, tentámos definir um quadro de referência teórico dos contributos da sismologia para o conhecimento da estrutura interna da Terra, necessário aos professores de geociências na implementação de metodologias investigativas no processo de ensino/aprendizagem deste tema.

No capítulo 4 procedemos ao cruzamento da investigação da produção científica com dificuldades e as necessidades de formação dos professores, em resultado de uma análise reflexiva das aulas assistidas e da delimitação das áreas de intervenção científico-didácticas.

Por fim (capítulo 5), tecem-se algumas considerações sobre o modelo de professor a implementar e as características da sua formação, enquanto contributos determinantes para a valorização e qualificação do ensino.

1.4. Limitações

De salientar, ainda, que no decurso desta investigação várias limitações se interpuserem, a saber:

- limitações inerentes à investigação da produção do conhecimento científico, na medida em que a compreensão de alguns dos fenómenos físicos envolvidos, e a sua transposição didáctica, se constituíram, numa primeira fase, como obstáculos, dada a ausência de modelos conceptuais de referência;
- a natureza da presente pesquisa, de características tidas como inovadoras, foi factor de insegurança, dado tratar-se de um trabalho para a obtenção do grau académico de mestre;
- a organização e disciplina a que estes trabalhos obrigam.

Neste último caso, teria sido crucial uma revisão bibliográfica mais aprofundada sobre desenvolvimento de projectos de investigação. Poder-se-iam, assim, ter evitado algumas fundamentações *a posteriori* e, sobretudo, imprecisões de processo, como por exemplo, o tempo gasto para redacção da tese. De facto, e citando,

“os investigadores novatos são especialistas em adiar continuamente esta tarefa. Encontram um sem-número de razões para não começarem a redigir. Mesmo sentados à mesa de trabalho, parecem sempre encontrar distrações: fazer café, afiar o lápis, ir à casa de banho, folhear mais alguns livros, muitas vezes até voltar ao trabalho de campo. Lembre-se de que nunca estará «pronto» para escrever; redigir é, por vezes, uma tarefa que requer uma decisão consciente e disciplina para prosseguir-la (Bogdan e Biklen, 1982 in Bell, 1997:186).

Contudo, a presente dissertação, mais do que um ponto de chegada, é um ponto de partida de um processo de formação, que se pretende contínuo, reflexivo e problematizador, contra a unificação redutora da imagem do professor que planifica o seu trabalho com as mesmas metodologias com que constrói a seu conhecimento do dia-a-dia.

2. Contributos da Sismologia para o conhecimento da estrutura interna da Terra

A sismologia é uma área disciplinar da Geofísica, ramo das Ciências da Terra que aplica princípios e métodos da Física no estudo da Terra, razão pela qual é considerada uma ciência multidisciplinar, que se subdivide em três disciplinas – a Sismologia, sentido estrito, a Prospeção Sísmica e a Engenharia Sísmica (Udías, 1999:3-4).

A Sismologia, que tem como objecto de estudo os sismos e os fenómenos associados, baseia-se em Princípios de Mecânica de Meios Contínuos e na Teoria da Elasticidade para descrever a propagação das ondas sísmicas, fornecendo dados para a compreensão da natureza dos sismos, para o conhecimento da estrutura interna da Terra e das características do seu interior.

A Prospeção Sísmica aplica métodos sísmicos - baseados na reflexão e refração de ondas sísmicas geradas artificialmente -, na detecção e localização de recursos minerais; o rigor crescente do processamento digital do sinal obtido por estes métodos, tem permitido a construção de imagens cada vez mais pormenorizadas da crosta e do manto superior (Udías, 1999:154).

A Engenharia Sísmica, que é uma ciência aplicada, estuda a influência dos movimentos produzidos pelos sismos nos edifícios e estruturas construídas pelo Homem; caracteriza os deslocamentos do solo, a velocidade e a aceleração provocados pelos sismos, tendo em vista o desenvolvimento da resistência e adaptação das estruturas às características do movimento sísmico.

Sendo a sismologia um importante instrumento na definição da estrutura interna da Terra, tentaremos desenvolver, de seguida, alguns dos seus contributos para o desenho de modelos da geoestrutura interna, do ponto de vista físico. Não nos centraremos na estrutura química, dado não ser possível inferi-la a partir, apenas, dos dados sísmicos. (Borges, 2000:2-3).

2.1. Definição de sismo e de zona focal

Define-se sismo, consoante o(s) autor(es), como:

- um tremor, um abalo do solo, provocado por uma libertação repentina de energia acumulada nas rochas situadas abaixo da superfície terrestre (Plummer e McGeary, 1996; Chernicoff e Fox, 1997);
- um abalo brutal do solo, provocado em profundidade por um movimento brusco e repentino de dois compartimentos (Dercourt e Paquet; 1986; Murck e Skinner, 1999);
- um tremor de terra, devido, quase sempre, a súbita libertação de energia quando blocos se deslocam ao longo de um plano de falha, após terem estado submetidos a tensão (Telles Antunes, 1991);
- o resultado da libertação de uma quantidade apreciável de energia, num curto intervalo de tempo, devida a uma súbita perturbação concentrada na crosta terrestre ou na parte superior do manto (Mineiro, s/d);
- qualquer perturbação súbita do interior da Terra, que se manifesta à superfície por um abalo do solo, causado pela propagação de ondas elásticas que se formam em resposta à libertação repentina de formas de energia armazenada no interior da Terra, como por exemplo, tensão elástica, energia química ou energia gravitacional (Enciclopédia Britânica, 2001).

As diversas definições sugerem que, subjacente a um sismo, está sempre uma libertação súbita de energia, acumulada, sob várias formas, no interior da Terra. Esta libertação ocorre no foco, cuja posição é determinada a partir da observação de sismogramas obtidos em, pelo menos, três locais. O intervalo de tempo que medeia o registo das ondas P e das ondas S (que descrevemos adiante), num sismograma, é proporcional à distância ao foco, sendo o coeficiente de proporcionalidade da ordem dos 8 km/s. Conhecidas as distâncias ao foco, em três locais de observação, é possível a localização do foco, mediante resolução gráfica. O foco assim determinado representa uma área onde se iniciou a emissão de ondas sísmicas, não coincidindo necessariamente com o seu centro; isto é, a origem de um sismo ocorre numa zona focal, sendo que o centro dessa zona pode não corresponder à maior fonte de energia, isto é, ao foco (Mineiro, s/d:39).

2.2. Escala de magnitude de Richter

A quantidade de energia sísmica libertada no foco pode ser estimada utilizando a escala de magnitude (M) de Richter.

Em 1935, Richter estabeleceu, para os sismos pouco profundos da Califórnia, que:

$$M = \log A - \log A_0 \quad [01]$$

sendo A a amplitude máxima das ondas superficiais, medida nos sismogramas, e A_0 uma função de calibragem que depende da distância epicentro-sismógrafo (Udías, 1999:285).

Desta fórmula original derivaram outras, nomeadamente a desenvolvida por Gutenberg e Richter, em 1956:

$$M = \log\left(\frac{a}{T}\right)_{\max} + f(\Delta) \quad [02]$$

sendo a a amplitude das oscilações máximas provocadas por ondas internas P, medida nos sismogramas; T o período das oscilações e $f(\Delta)$ uma função empírica de compensação da diminuição de a/T (atenuação da onda sísmica), função da distância fonte-estação medida até um máximo de 102° .

Richter, no desenvolvimento das suas escalas de magnitude, baseou-se sempre em registos obtidos em sismógrafos Wood-Anderson. Embora os seus cálculos tenham sido calibrados exclusivamente para este tipo de aparelhos, e apenas para sismos do sul da Califórnia, posteriormente foram aferidos outros factores de correcção, de modo a que a escala de Richter pudesse utilizar medidas efectuadas em todo o tipo de sismógrafos, espalhados por todo o mundo (Louie, 1996:1-2).

Assim, a avaliação da magnitude é feita através de diferentes tipos de escala (Mineiro, s/d:54) consoante a grandeza, a natureza e a localização do sismo (Louie, 1996:1).

A escala de Richter é uma escala aberta, mas nunca foram registados sismos de magnitude superior a 9. Provavelmente, este valor corresponde a um limite máximo de energia elástica que pode ser armazenado nas rochas do interior da Terra.

A energia (E) libertada no foco (em erg), pode ser calculada através da seguinte fórmula elaborada, em 1958, por Richter (Mineiro, s/d:42):

$$\log E (\text{ergs}) = 11,4 + 1,5M \quad [03]^2$$

2.3. Propagação da energia sísmica / Ondas sísmicas

A energia sísmica libertada no foco propaga-se sob a forma de ondas elásticas (Lima, 1998:33; Machado, 1972:51).

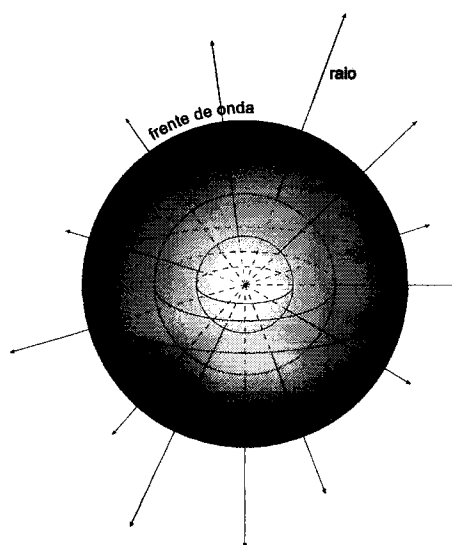
O movimento ondulatório que então se gera no meio, pode ser descrito por uma perturbação em torno de um ponto de equilíbrio, que se propaga através desse meio. De notar que, no movimento ondulatório não é a matéria que se propaga, mas o estado de movimento das partículas que constituem a matéria, ou seja, a condição dinâmica de uma região é transferida para outra região do meio (Alonso e Finn, 1972:261).

A energia sísmica, num meio homogéneo e isotrópico, expande-se em forma de esfera, com centro no foco. A onda sísmica é, assim, uma onda esférica que se propaga em todas as direcções e sentidos, a partir do foco (Lima, 1998:36).

As superfícies esféricas definidas pelo conjunto de pontos na mesma fase do movimento ondulatório designam-se por frentes de onda³, as quais representam, em cada instante t, a respectiva onda esférica.

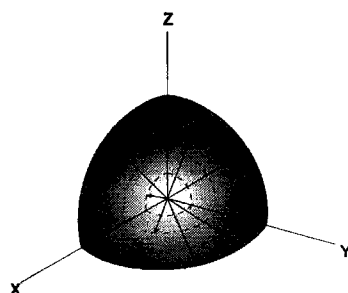
Num meio homogéneo e isotrópico, a direcção de propagação será sempre perpendicular à frente de onda (Lima, 1998:36); a estas perpendiculares radiais, com centro no foco sísmico, convencionou-se chamar raios sísmicos. Por questões de simplificação, nomeadamente ao nível da representação gráfica, podemos admitir, então, que a energia sísmica se propaga ao longo destes raios (fig. 2.1).

² Outras fórmulas se seguiram, como por exemplo: $\log E_{(J)} = 5,24 + 1,44M$ (Bath, 1968) e $\log E_{(\text{ergs})} = 11,8 + 1,5M$ (Okamoto, 1973). Recentemente, foi desenvolvida uma escala de magnitude completamente independente do tipo de instrumento de registo, a magnitude do momento (M_w), expressa pela relação empírica $M_w = 2/3[\log M_0 - 16,0]$, sendo M_0 o momento sísmico ($M_0 = \mu A d$; μ , módulo de rigidez; A, área de falha; d, rejeito da falha).



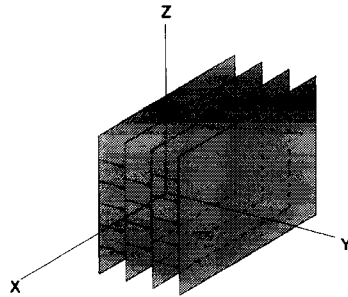
2.1. As frentes de onda esféricas e os raios sísmicos radiais ilustram a propagação da onda sísmica, em todas as direcções, a partir do foco, num meio homogêneo (extraído de Robinson e Çoruh, 1988:23).

O estudo das ondas sísmicas esféricas (fig. 2.2) simplifica-se se as reduzirmos a ondas planas (fig. 2.3), em que os deslocamentos, numa dada direcção, serão apenas função do tempo e da distância a um plano fixo (Machado, 1970:54).



2.2. Ondas esféricas (adaptado de Alonso e Finn, 1972:267).

³ Ou, segundo Dercourt e Paquet (1986:109), superfície que separa as partículas que já entraram em vibração das que ainda não o fizeram.



2.3. Ondas planas propagando-se ao longo de X (adaptado de Alonso e Finn, 1972:267).

O estudo das ondas sísmicas é realizado por referência à Teoria da Elasticidade, cujos primeiros passos para a sua construção foram dados por Hooke, em 1660.

Num meio elástico, perturbado pela propagação de ondas sísmicas, sobre as partículas em movimento actua uma força proporcional ao seu deslocamento, no sentido de restaurar as suas posições originais.

Segundo a lei de Hooke, um corpo sólido sofre deformação elástica quando, sendo submetido a uma acção deformante, recupera a sua forma inicial logo que cesse a causa deformadora (Lima, 1998:17). Assim, esta lei estabelece que um corpo (dito linearmente elástico ou sólido hookeano) sujeito a uma tensão σ sofre uma deformação (ϵ) directamente proporcional à tensão exercida (Lima, 1998:31)⁴:

$$\sigma = E\epsilon \quad [04]$$

A constante de proporcionalidade E designa-se por módulo de Young ou módulo de elasticidade e exprime a razão constante entre a tensão uniaxial (σ) aplicada a um provete cilíndrico, não constrangido lateralmente, e a deformação longitudinal (ϵ) obtida ($\epsilon = \frac{\delta l}{l}$) (Borges, 1996:88).

⁴ Outras definições:

- Para um corpo elástico, homogéneo e isotrópico, a tracção média é proporcional à dilatação cúbica e o tensor desvio é proporcional à distorção (Machado, 1970:43);
- Dentro do limite elástico de uma substância, a tensão axial é proporcional à deformação longitudinal (Alonso e Finn, 1972:247).

Outras constantes elásticas⁵, podem ser utilizadas na caracterização das propriedades elásticas de um meio material, a saber:

- o coeficiente de Poisson (ν), que descreve a relação entre a deformação longitudinal e a deformação lateral (Borges, 1996:88);
- o módulo de incompressibilidade⁶, κ , que avalia a resistência à mudança de volume de um sólido, em função da pressão (Lima, 1998:31; Ammon, 2001:3);
- o módulo de rigidez⁷, G , que se define como sendo a razão entre a tensão de corte e o parâmetro de cisalhamento resultante (Borges, 1996:89).

O módulo de Young e o coeficiente de Poisson são parâmetros independentes; os *bulk* e *shear modulus* resultam de relações entre eles (Lima, 1998:31; Machado, 1970:45):

$$\kappa = \frac{E}{3(1-2\nu)} \quad [05]$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad [06]$$

Estes coeficientes de elasticidade podem ser calculados experimentalmente, contribuindo para a descrição das propriedades físicas dos materiais. Nas tabelas seguintes, indicam-se valores característicos de alguns metais (tabela 2.I) e de algumas rochas (tabela 2.II). De notar que os valores correspondentes a cada metal/rocha podem variar substancialmente.

⁵ Medidas da facilidade ou dificuldade em deformar um material (Ammon, 2001:3).

⁶ Outras designações:

- módulo de compressibilidade volumétrica, κ , (Alonso e Finn, 1972:247);
- módulo de elasticidade volumétrica, κ , (Alonso e Finn, 1972:247);
- módulo de compressão, χ , (Machado, 1970:43).

⁷ Outras designações: módulo de rigidez ou de cisalhamento (Alonso e Finn, 1972:247).

Tabela 2.I. Valores representativos das constantes elásticas de alguns metais (Alonso e Finn, 1972:247; Borges, 1996:90).

Metais	Constantes elásticas (10^{10} Pa)		
	E	κ	G
Alumínio	7,0	6,1	2,4
Ferro	20,6	11,3	8,2
Chumbo	1,6	3,3	0,54
Níquel	21,0	16,4	7,2

Tabela 2.II. Valores representativos (à pressão atmosférica e temperatura do laboratório) das constantes elásticas de algumas rochas (Machado, 1970:48; Borges, 1996:90).

Rochas	Constantes elásticas (10^{10} Pa)		
	E	κ	G
Calcário	3,00	2,00	1,20
Granito	4,50	3,00	1,80
Basalto	7,50	5,00	3,00
Arenito	5,7	2,3	2,6
Peridotito	10,50	7,00	4,20

Na tabela 2.II não se representaram os valores do coeficiente de Poisson dado serem valores próximos de 0,25 para a maioria das rochas; os valores deste coeficiente variam entre 0,0 e 0,5, sendo o limite máximo indicador de um meio fluido (Machado, 1970:48-57).

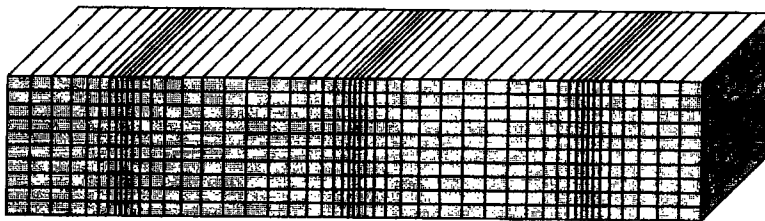
Um meio sólido elástico ilimitado pode transmitir dois tipos diferentes de ondas, classificadas de acordo com o movimento das partículas durante o deslocamento (Lima, 1998:32) – as ondas longitudinais ou Primárias (P) e as ondas transversais ou Secundárias (S), segundo a terminologia introduzida por Mohorovicic (Olroyd, 1996:238).

Se introduzirmos neste corpo, uma superfície livre, pode formar-se um outro tipo de ondas – as ondas superficiais – em resultado da interacção das ondas P e S nesta superfície.

A descrição teórica que se segue, sobre o modo de propagação dos diferentes tipos de ondas, assenta num modelo de Terra sólido, elástico e limitado.

A apropriação dos princípios da Teoria do Movimento Ondulatório, da área disciplinar da Física, foi proposto pela primeira vez por Oldham, em 1899, ao sugerir que seria de esperar a existência de dois tipos de ondas (P e S), de acordo com os princípios da Teoria das Ondas, se considerássemos a Terra como um corpo elástico (Olroyd, 1996:234).

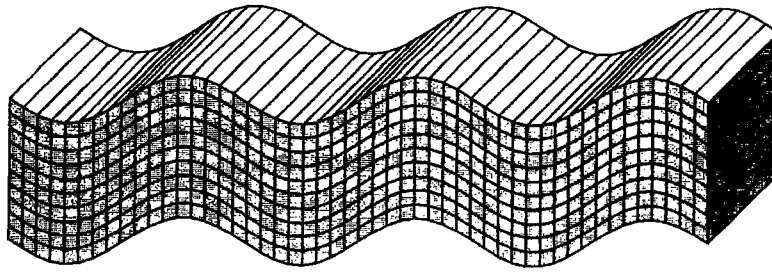
A vibração causada pelas ondas P (fig. 2.4) provoca alteração de volume e da forma, alternando contracções com distensões, na direcção de propagação da onda (Shearer, 1999:32). São, portanto, ondas longitudinais.



2.4. Modo de propagação das ondas P⁸ (extraído de Shearer, 1999:32).

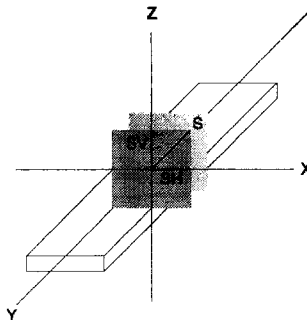
As ondas S provocam deformação dos materiais que atravessam, sem alteração de volume (Shearer, 1999:32). As vibrações das partículas são perpendiculares à direcção de propagação da onda (fig. 2.5). São, portanto, ondas transversais.

⁸Animação tridimensional do modo de propagação das ondas internas e superficiais reproduzida no anexo VII.1/CD-Rom (extraída de www.britannica.com).



2.5. Modo de propagação das ondas S (extraído de Shearer, 1999:32).

No caso das ondas S, como as vibrações ocorrem no plano vertical, no sentido do movimento, consideram-se duas componentes: a componente SV e a componente SH (Lima, 1998:34). As ondas SV provocam, nas partículas do meio em que se propagam, movimentos transversais verticais; as SH provocam movimentos transversais horizontais (Robinson e Çoruh, 1988:23).



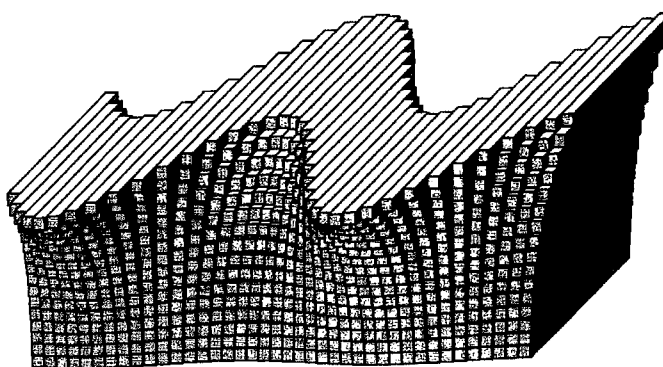
2.6. SV e SH são componentes da onda S (adaptado de Lima, 1998:35).

As ondas P incidem verticalmente nas estruturas, dado a vibração das partículas ser paralela à direcção de propagação, e a sua acção é atenuada pela massa oposta das estruturas, de acordo com a expressão $P = mg$ (Lima, 1998:64).

Por sua vez, as ondas S incidem transversalmente nas estruturas, pelo que a sua acção sobre os edifícios é mais destruidora (Lima, 1998:64).

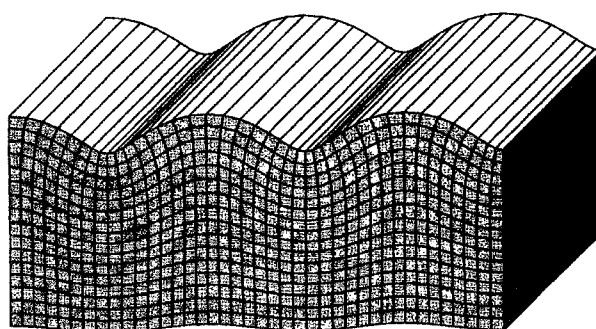
As ondas P e S são ondas internas, isto é, são ondas que se propagam através da Terra, em qualquer direcção. A sua interacção com a superfície terrestre, e estruturas superficiais, produz outro tipo de ondas - as ondas superficiais de Love (L ou LQ) e de Rayleigh (R ou LR). Estas ondas têm a sua máxima amplitude na superfície terrestre, a qual decresce exponencialmente com a profundidade (Robinson e Çoruh, 1988:22).

As ondas de Love (fig. 2.7) correspondem a deslocamentos horizontais e perpendiculares à direcção de propagação; essencialmente, o seu movimento é o mesmo da componente SH das ondas S, pelo que não possuem movimento vertical. Os movimentos horizontais que provocam no solo, de grande amplitude, têm elevada capacidade destrutiva das fundações das estruturas (Bolt, 1999:21-23).



2.7. Modo de propagação das ondas Love (adaptado de Shearer, 1999:152).

As ondas de Rayleigh (fig. 2.8) correspondem a deslocamentos segundo elipses verticais, à semelhança da ondulação oceânica (Borges, 2000:5). As partículas materiais são perturbadas por movimentos verticais e horizontais, num plano vertical à sua direcção de propagação (Bolt, 1999:23).



2.8. Modo de propagação das ondas de Rayleigh (adaptado de Shearer, 1999:152).

Os aspectos mais importantes das ondas são a sua velocidade de propagação e as modificações que sofrem quando variam as propriedades físicas do meio (por reflexão e/ou refacção), quando são interpostos, nos seus percursos, diferentes tipos de obstáculos (por

difracção e/ou espalhamento), ou quando várias ondas coincidem na mesma região do espaço (por interferência) (Alonso e Finn, 1972:235).

2.4. Velocidade das ondas sísmicas

Se o interior da Terra fosse homogéneo e isotrópico, a energia sísmica propagar-se-ia com a mesma velocidade em todas as direcções.

A velocidade das ondas P (α) e S (β) depende dos coeficientes de elasticidade κ e G , bem como da densidade (ρ) dos materiais em que se propagam (Robinson, 1982:95; Machado, 1970:56; Alonso e Finn, 1972:271), de acordo com as expressões seguintes:

$$\alpha = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} = \sqrt{\frac{\kappa + \frac{4}{3}G}{\rho}} \quad [07]$$

$$\beta = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad [08]$$

Para os fluidos e gases, $G = 0$, pelo que $\beta = 0$, ou seja, as ondas S não se propagam em meio líquidos nem em meios gasosos.

A razão entre as velocidades das ondas P e S é (Machado, 1970:56):

$$\frac{\alpha}{\beta} = \sqrt{\frac{\kappa}{G} + \frac{4}{3}} \quad [09]$$

Substituindo os valores de κ e μ pelas equações [5] e [6], respectivamente, obtém-se:

$$\frac{\alpha}{\beta} = \sqrt{\frac{2(1-\nu)}{1-2\nu}} \quad [10]$$

Para $\delta = 0,25$, que, como referimos, corresponde à maioria das rochas, $\frac{\alpha}{\beta} = \sqrt{3}$, ou seja, a velocidade das ondas P é sempre maior que a velocidade das ondas S ($\alpha > \beta$).

No caso das ondas superficiais, a velocidade de propagação das Rayleigh (C_R) e das Love (C_L) é (Bolt, 1999:327):

$$C_R < 0,92\beta (\approx) \quad [11]$$

$$\beta_1 < C_L (\text{para uma camada sólida}) < \beta_2 \quad [12]$$

sendo β_1 e β_2 a velocidade das ondas S na superfície e em camadas mais profundas, respectivamente.

2.5. Reflexão e refacção das ondas sísmicas em meios elásticos / Lei de Snell

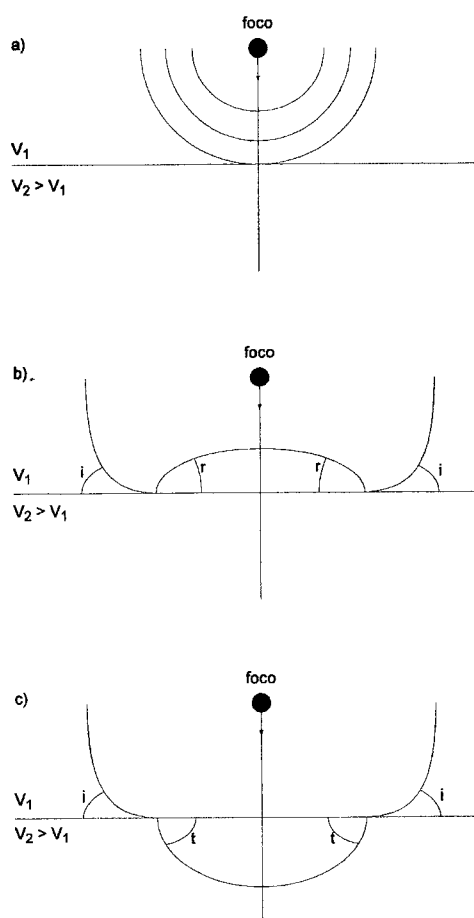
A teoria da reflexão e da refacção das ondas sísmicas foi, inicialmente, desenvolvida por Zöppritz e Knott (Udias, 1999:63).

Durante a sua expansão, a partir do seu ponto de origem, isto é, do foco, uma determinada frente de onda esférica pode encontrar zonas de separação entre dois meios com propriedades elásticas distintas. Nesta situação, e na sua forma mais simplificada, quando uma parte da energia recua no meio onde se expande, ocorre a reflexão; quando se transmite para o segundo meio, ocorre a refacção (Lima, 1998:36).

Assim, podemos definir três formas de desenvolvimento de uma onda sísmica⁹ (fig. 2.9):

- onda directa - onda inicial, com origem no foco sísmico, que se mantém esférica até à frente de onda, limite com a linha de separação de dois meios (Lima, 1998:37); ou seja, é a parte da onda que não interage com a superfície de descontinuidade;

- onda reflectida – é uma nova onda que se propaga em sentido contrário e no mesmo meio em que a onda inicial se estava a propagar (Alonso e Finn, 1972:343);
- onda refractada – é a onda transmitida para o segundo meio (Alonso e Finn, 1972:343).



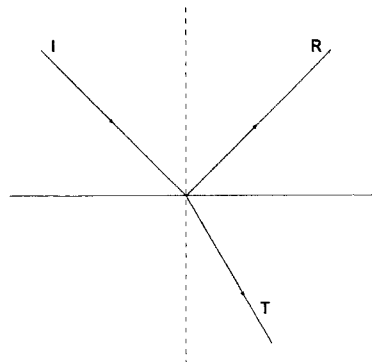
2.9 Exemplo de uma onda directa (a), de uma onda reflectida (b) e de uma onda refractada (c). i – ângulo de incidência; r – ângulo de reflexão; t – ângulo de refração ou transmissão (adaptado de Lima, 1998:37).

A representação mais frequente destas diferentes formas de desenvolvimento de uma onda sísmica é a que utiliza os raios sísmicos, *apesar de só a frente de onda possuir significado físico* (Lima, 1998:37), sendo que, o raio sísmico é, geometricamente, uma recta normal à

⁹ Ilustração bidimensional reproduzida no anexo VII.2/CD-Rom (extraída de www.earthsci.unimelb.edu.au).

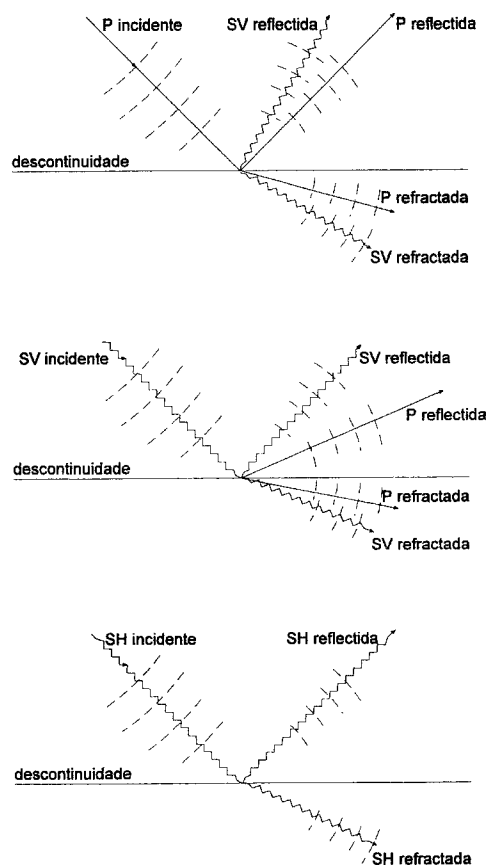
frente de onda, com origem no foco sísmico, ao longo da qual a energia se desloca (Dercourt e Paquet, 1986:109).

Num meio isotrópico, as frentes de onda são esferas e os raios sísmicos rectas; o mesmo não se verifica em meios anisotrópicos, dada a variação de velocidade de propagação (Dercourt e Paquet, 1986:109).



2.10. Um raio sísmico, na superfície de separação entre dois meios com propriedades elásticas diferentes, sofre, em geral, reflexão e refração. I – raio incidente; R – raio reflectido; T – raio refractado.

Considerando a propagação de ondas P e S, em meios elásticos, qualquer que seja o tipo de raio incidente teremos, em geral, dois raios reflectidos e dois refractados (fig. 2.11), sendo que a energia da onda incidente se divide entre as ondas reflectidas e transmitidas (Alonso e Finn, 1972:343). Especificando, a uma única onda de compressão (P) incidente correspondem duas ondas reflectidas (P e S) e duas ondas refractadas (P e S); de igual modo, uma onda incidente S cinde-se em ondas reflectidas P e S e em ondas refractadas P e S (Machado, 1970:57; Robinson, 1982:98; Dercourt e Paquet, 1986:109; Robinson e Çoruh, 1988:24; Bolt, 1999:24; Udías, 1999:74).



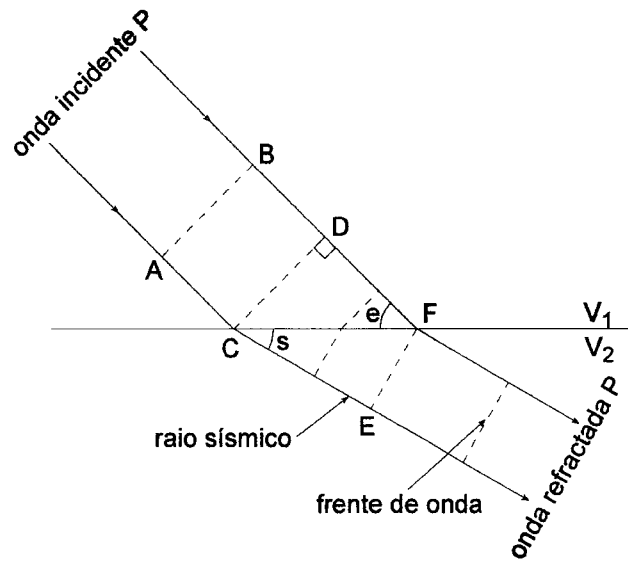
2.11. Repartição de energia sísmica numa superfície de descontinuidade. Ondas incidentes P ou SV dividem-se em quatro ondas (reflectidas e refractadas P e SV); as ondas incidentes SH produzem apenas ondas reflectidas e refractadas SH (extraído de Robinson e Çoruh, 1988:24).

O ângulo de reflexão e de refração, e portanto, a direcção de propagação das ondas, depende do ângulo de incidência e das velocidades das ondas. Vejamos como (Robinson e Çoruh, 1988:24-26; Udías, 1999:74-76).

Consideremos, então, a propagação de ondas incidentes P, as respectivas ondas refractadas P e os seguintes pressupostos teóricos:

- dois raios próximos são praticamente paralelos no limite com uma superfície de descontinuidade;
- a porção de frente de onda entre dois raios praticamente paralelos, é fracamente curva, pelo que a consideraremos uma linha recta.

Na figura seguinte representam-se raios sísmicos P, incidentes e refractados, paralelos, no limite com uma superfície de descontinuidade.



- 2.12. Refracção de uma onda P, em P, no limite entre duas camadas rochosas. A onda incidente P move-se com uma velocidade V_1 e a onda refractada P com uma velocidade V_2 . Observar que a frente de onda curva quando atravessa a superfície de descontinuidade (extraído de Robinson e Çoruh, 1988:24).

A análise da figura 2.12, permite verificar que o tempo necessário para que um ponto da frente de onda se mova de A até C é o mesmo para que outro ponto, dessa mesma frente de onda, se mova de B até D, porque todos os pontos dessa frente de onda se movem à velocidade v_1 .

Quando a frente de onda atinge o ponto C, a onda refracta-se numa nova direcção, propagando-se à velocidade v_2 . Designemos por t o intervalo de tempo necessário para que a onda, neste ponto, se propague de C até E, à velocidade v_2 . Durante este intervalo de tempo t , o outro ponto da frente de onda continua a sua propagação de D até F, à velocidade v_1 .

Sabendo que:

$$v = \frac{s}{t} \Leftrightarrow s = vt \quad [13]$$

obtemos as seguintes relações:

$$CE = v_2 t \quad [14]$$

$$DF = v_1 t \quad [15]$$

Na figura 2.12, a inclinação dos raios incidentes P, relativamente ao plano da superfície de descontinuidade, é descrita pelo ângulo e . Dado que os raios sísmicos são, por definição, perpendiculares à frente de onda, a figura CDF é um triângulo rectângulo. Assim, é possível estabelecer a seguinte relação trigonométrica¹⁰:

$$\cos e = \frac{\text{cateto adjacente}}{\text{hipotenusa}} = \frac{DF}{CF} \quad [16]$$

substituindo DF pela expressão [15], vem

$$\cos e = \frac{v_1 t}{CF} \Leftrightarrow CF = \frac{v_1 t}{\cos e} \quad [17]$$

Os raios refractados P estão inclinados num ângulo s , relativamente à superfície de descontinuidade. Sendo a figura CEF, também ela, um triângulo rectângulo, sabemos que:

$$\cos s = \frac{CE}{CF} \quad [18]$$

substituindo CE pela expressão [14], vem que:

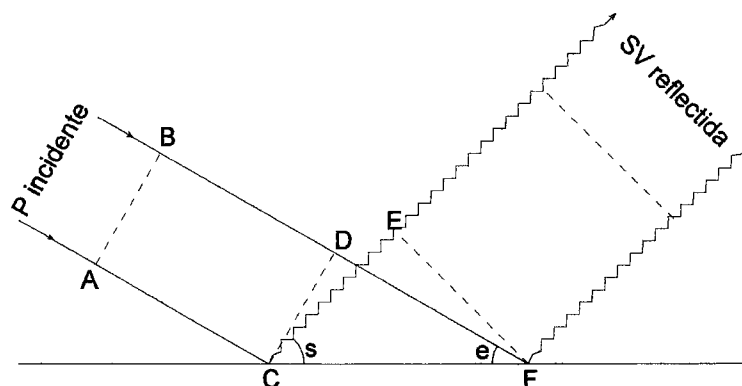
$$\cos s = \frac{v_2 t}{CF} \Leftrightarrow CF = \frac{v_2 t}{\cos s} \quad [19]$$

Igualando as expressões [17] e [19], verificamos que a velocidade das ondas incidentes e refractadas, bem como as suas direcções, estão relacionadas da seguinte forma:

¹⁰ A função co-seno varia, em valor absoluto, entre 1 e 0, sendo $\cos 0^\circ = 1$ e $\cos 90^\circ = 0$ (Anexo I).

$$\frac{v_1 t}{\cos e} = \frac{v_2 t}{\cos s} \Leftrightarrow v_1 t \cos s = v_2 t \cos e \Leftrightarrow \frac{\cos e}{\cos s} = \frac{v_1}{v_2} \quad [20]$$

Consideremos, agora, a mesma onda incidente P da figura 2.12 e a sua onda reflectida SV (Robinson e Çoruh, 1988:25; Udías, 1999:75).



2.13. Reflexão de uma onda P em onda SV, no limite entre duas camadas rochosas (extraído de Robinson e Çoruh, 1988:25).

As ondas propagam-se no mesmo meio, porém a velocidades diferentes. Designemos por v_p a velocidade da onda incidente P e por v_s a velocidade da onda reflectida SV.

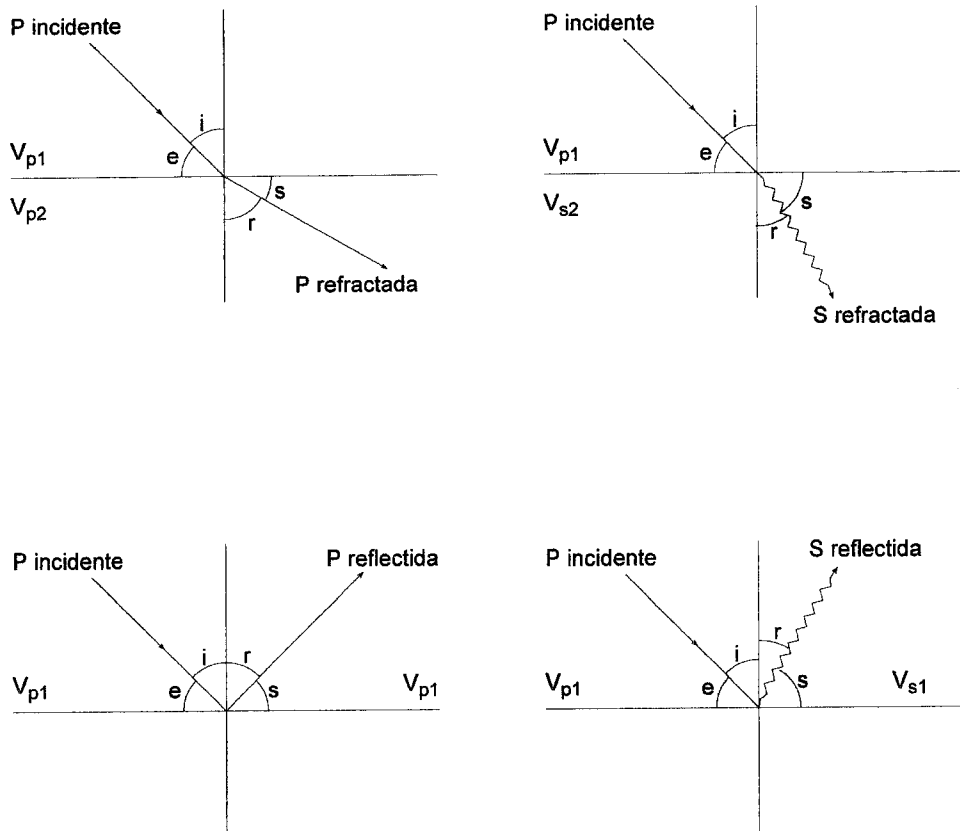
De notar que a propagação de um ponto da frente de onda incidente, P de D até F, demora o mesmo tempo que a propagação de outro ponto da frente de onda reflectida SV, desde C até E.

Pelas mesmas razões apontadas para a refração, também neste esquema relativo à reflexão, os triângulos CDF e CEF são triângulos rectângulos, pelo que se verifica a mesma relação entre os raios incidentes e reflectidos, assinalada pela expressão [20].

A onda incidente P considerada pode, também, produzir ondas reflectidas P, que se propagam com a mesma velocidade da onda incidente ($v_p = \alpha$). Neste caso, verifica-se que o raio incidente e o raio reflectido têm o mesmo ângulo de inclinação, relativamente à superfície de descontinuidade (Robinson e Çoruh, 1988:25). Ou seja:

$$\frac{\cos e}{\cos s} = \frac{\alpha}{\alpha} \Leftrightarrow \frac{\cos e}{\cos s} = 1 \Leftrightarrow \cos e = \cos s^{11} \quad [21]$$

No âmbito da Geofísica, é prática comum desenhar uma linha perpendicular à superfície de descontinuidade e medir, relativamente a ela, o ângulo incidente i e o ângulo r reflectido ou refractado.



2.14. Modo de medição dos ângulos de incidência, de reflexão e de refração, produzidos por uma onda incidente P. i – ângulo de incidência medido em relação à normal à superfície de descontinuidade; e – ângulo de incidência medido em relação à superfície de descontinuidade; r – ângulo de reflexão ou de refração medido em relação à normal à superfície de descontinuidade; s – ângulo de reflexão ou de refração medido em relação à superfície de descontinuidade (extraído de Robinson e Çoruh, 1988:26).

Verifica-se que $\cos e = \sin i$ e que $\cos s = \sin r^{12}$, pelo que, substituindo na fórmula [20], obtemos:

¹¹ Por exemplo, entre dois meios líquidos, os ângulos de incidência e de reflexão são sempre iguais (Udías, 1999:63-64), dada a ausência de propagação das ondas S nestes meios (a energia das ondas P apenas se pode reflectir em P).

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{v_i}{v_r} \quad [22]$$

em que v_i representa a velocidade da onda incidente e v_r a velocidade da onda reflectida ou refractada.

Esta equação é designada por lei de Snell¹³, a qual evidencia que o ângulo de reflexão/refracção e a velocidade de propagação da onda reflectida/refractada variam na razão directa.

A formulação desta lei assume outras formas, nomeadamente, em função do índice de refracção (Alonso e Finn, 1972:348):

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{n_r}{n_i} \quad [23]$$

sendo n_i e n_r , respectivamente, o índice de refracção do meio de incidência e do meio de refracção/reflexão.

Define-se índice de refracção, n , como sendo o quociente entre a velocidade de propagação da luz no vazio, c , e a velocidade de propagação da onda, v , (Alonso e Finn, 1972:349)

$$n = \frac{c}{v} \quad [24]$$

O valor de c é constante (300 000 km/s), logo, o índice de refracção do meio varia na razão inversa da velocidade de propagação da onda nesse meio.

Resumindo, as trajectórias de quaisquer raios incidentes, reflectidos e refractados obedecem à lei de Snell (Machado, 1970:57; Robinson e Çhoru, 1988:25-26, Udías, 1999:63).

¹² A função seno varia, em valor absoluto, entre 0 e 1, sendo $\text{sen } 0^\circ = 0$ e $\text{sen } 90^\circ = 1$ (Anexo I).

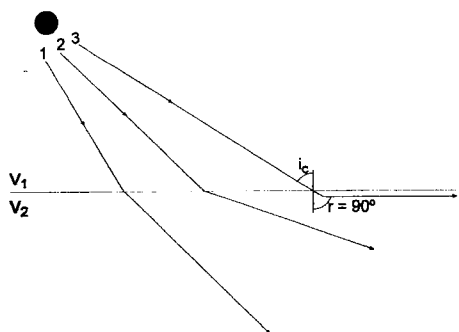
¹³ Willebrord van Roijen Snell, astrónomo e matemático holandês (1580-1626). Esta lei, apesar de enunciada em 1621, só foi publicada quando Huygens a mencionou no seu tratado sobre a luz (www.britannica.com).

2.6. Refracção crítica

Especifiquemos um pouco mais o comportamento das ondas sísmicas numa superfície de descontinuidade. Por conveniência de análise, continuaremos a considerar apenas ondas incidentes e refractadas P (Robinson e Çoruh, 1988:26-27).

Na figura 2.15, observam-se raios incidentes P, atingindo a superfície de descontinuidade segundo diferentes ângulos, e a sua transmissão para o segundo meio, segundo ângulos de refração concordantes com a lei de Snell.

No caso do raio 3, o ângulo de refração r é de 90° ; este raio – *raio de refração crítica* – propaga-se à velocidade v_2 ao longo do topo da camada inferior.



2.15. Refracção de raios na superfície de descontinuidade entre duas camadas elásticas; o raio de refração crítica é aquele cujo ângulo de refração é de 90° (extraído de Robinson e Çoruh, 1988:26).

A onda de refração crítica é a produzida por uma onda incidente cujo raio sísmico atinge a superfície de descontinuidade segundo o *ângulo crítico de incidência* i_c .

Sendo $\sin r = \sin 90^\circ = 1$, a refração crítica, de acordo com a lei de Snell, expressa-se pela equação seguinte:

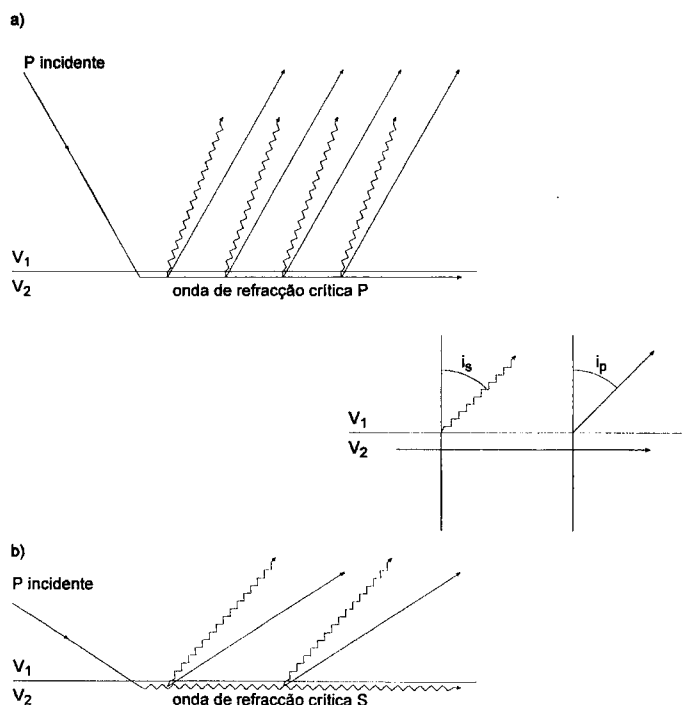
$$\frac{\sin i_c}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} \Leftrightarrow \frac{\sin i_c}{1} = \frac{v_1}{v_2} \Leftrightarrow \sin i_c = \frac{v_1}{v_2} \quad [25]$$

Sendo o ângulo de incidência menor do que o ângulo de refacção, verifica-se, assim, que a refacção crítica apenas ocorre se a velocidade da onda refractada (v_2) for superior à da onda incidente (v_1), dado a função seno, em valor absoluto, variar entre 0 e 1.

Considerámos apenas a refacção crítica de ondas P em ondas P; contudo, ela pode resultar de outras combinações (de acordo com a figura 2.11), desde que, como acabamos de referir, $v_2 > v_1$.

Segundo o *Princípio de Huygens*, qualquer ponto da frente de onda é fonte de novas ondas, que se propagam, a partir dele, em todas as direcções.

Assim, uma onda de refacção crítica P, propagando-se à velocidade v_{P2} , ao longo do tecto de uma camada, produz continuamente ondas P e SV refractadas, segundos os ângulos i_P e i_S , as quais se propagam, respectivamente, à velocidade v_{P1} e v_{S1} (fig. 2.16). O mesmo princípio se aplica às ondas de refacção crítica SV, com velocidade de propagação v_{S2} .



2.16. Ondas refractadas P (a) e SV (b) produzem, continuamente, ondas P e SV, que se refractam na superfície de descontinuidade (extraído de Robinson e Çoruh, 1988:26).

De acordo com a lei de Snell, para a onda de refração crítica P, verifica-se que:

$$\frac{\sin r}{\sin i_p} = \frac{v_{p2}}{v_{p1}} \Leftrightarrow \frac{1}{\sin i_p} = \frac{v_{p2}}{v_{p1}} \Leftrightarrow \sin i_p = \frac{v_{p1}}{v_{p2}} \quad [26]$$

e

$$\frac{\sin r}{\sin i_s} = \frac{v_{p2}}{v_{s1}} \Leftrightarrow \frac{1}{\sin i_s} = \frac{v_{p2}}{v_{s1}} \Leftrightarrow \sin i_s = \frac{v_{s1}}{v_{p2}} \quad [27]$$

Para a onda de refração crítica SV obtêm-se, de igual modo, as mesmas relações,

$$\sin i_p = \frac{v_{p1}}{v_{s2}} \quad \text{e} \quad \sin i_s = \frac{v_{s1}}{v_{s2}} \quad (\text{contudo, a onda P apenas se forma se } v_{p1} < v_{s2}).$$

Estas ondas de refração crítica são muito importantes para o estudo da estrutura interna da Terra, dado propagarem-se à distância zero da superfície de descontinuidade entre duas camadas (Robinson e Çhoru, 1988:84).

2.7. Fases sísmicas

As ondas sísmicas, no contacto com superfícies de descontinuidade, reflectem-se e refractam-se, entre outros processos¹⁴, interagindo no seu conjunto. *As ondas que integram um conjunto do mesmo tipo, sejam elas P ou S, mas com chegada à estação seguindo trajectos diferentes, são denominadas por fases* (Lima, 1998:38).

O registo de fases numa estação depende da sua distância do foco e da profundidade deste. Indicam-se, de seguida, algumas das fases sísmicas das ondas internas mais representativas, segundo a classificação de Bolt (Bolt, 1999:72):

¹⁴ Como por exemplo, dispersão, difracção e atenuação.

- As fases PP, PPP, SS, SSS, PS, SP, PPS, PSP, ..., representam ondas que sofreram reflexão na superfície exterior da Terra; por exemplo, SP representa a propagação de uma onda S através do manto que se reflecte na fronteira do globo terrestre como onda P.
- O símbolo *c* (de *core*, em inglês) é usado para indicar reflexão na superfície externa do núcleo; definem-se então as fases PcP, ScS, PcS e ScP em que, por exemplo, PcP é uma onda P através do manto, reflectida na fronteira manto-núcleo, ScP é uma onda S reflectida como P, ...
- O símbolo *K* (de *Kore*, em alemão) é utilizado para representar a trajectória das ondas P no núcleo externo; SKS representa, então, uma onda S que se refractou em P na fronteira manto-núcleo externo e de novo em S na fronteira núcleo externo – manto; uma fase PKP representa uma onda P que atravessou o núcleo externo.
- *i* representa uma onda reflectida na fronteira do núcleo interior o que determina a existência das fases PKiKP e SKiKS.
- *I* representa a propagação de uma onda sob a forma longitudinal (P) no núcleo interno (PKIKP, PKIKS, SKIKS e SKIKP).
- Finalmente, o símbolo *J* representa a propagação de uma onda S no núcleo interno; por exemplo, PKJKP representa uma onda P que se converte em S durante a sua passagem pelo núcleo interno; SKJKS representa, por sua vez, a propagação de uma onda S no manto, que se refracta em P no núcleo externo e em S no núcleo interno e, de novo, em S na passagem núcleo externo – manto.

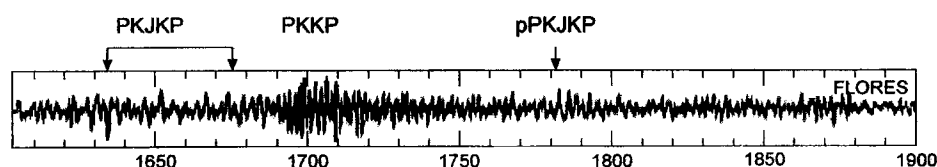
As ondas que atravessam o núcleo (externo e/ou interno) são também designadas por ondas P' (exemplos: PKP, PKiKP, PKIKP e PKJKP) e S' (exemplos: SKS, SKiKS, SKIKS e SKJKS) (Dercourt e Paquet, 1986:111).

As ondas PKJKP são ondas de fraca amplitude em consequência do baixo coeficiente de transmissão das ondas P em S na fronteira com o núcleo interno e da forte atenuação provocada por este, o que dificulta a sua identificação nos sismogramas (Shearer, 1999:51 e 52).

Até um passado recente, várias foram as tentativas, frustradas, de identificação destas ondas, apesar de teoricamente previstas. Contudo, Okal e Cansi, publicaram em 1998, um artigo no qual referem a identificação de fases sísmicas S no núcleo interno (Taylor e Singh, 2000:143).

O estudo de Okal¹⁵ e Cansi¹⁶, baseou-se nos registos de um sismo ocorrido na Indonésia, em 17 de Junho de 1996, de magnitude superior a 6 e cujo foco se situava à profundidade estimada de 585 km (Okal e Cansi, 1998:23).

No âmbito do controle do cumprimento do Tratado de Interdição Completo de Ensaio Nucleares (TICE), o Laboratório de Detecção Geofísica (LDG), de Paris, desenvolveu meios técnicos de registo de ondas características de ensaios nucleares, ondas que se caracterizam pela sua baixa amplitude. Okal, aproveitou a tecnologia utilizada pelo LFG para localizar as ondas J (www.earth.nwu.edu).



2.17. Sismograma do sismo de 17 de Junho-1996, com epicentro ao largo da ilha Flores, Indonésia, registado no LDG (extraído de www.earth.nwu.edu).

O sismograma mostra que a onda PKJKP, com uma banda de frequência situada entre 0,1 e 0,5 hertz (Hz), chegou a Paris 1634 segundos após o início do sismo. Após 148 segundos, é registada uma fase tardia – pPKJKP – que corresponde a uma onda formada no mesmo momento da anterior, que se propagou em direcção à superfície, onde foi reflectida, antes de percorrer todo o interior da Terra.

De acordo com o tempo de chegada apurado para esta fase, a sua velocidade de propagação no início do núcleo interno (β_{ICB}) será da ordem dos 3,65 km/s.

Deuss *et al*, em 2000, utilizando um método de aumento do sinal¹⁷ diferente do utilizado por Okal, isolou, para o mesmo sismo de Flores-Indonésia e para um outro ocorrido na

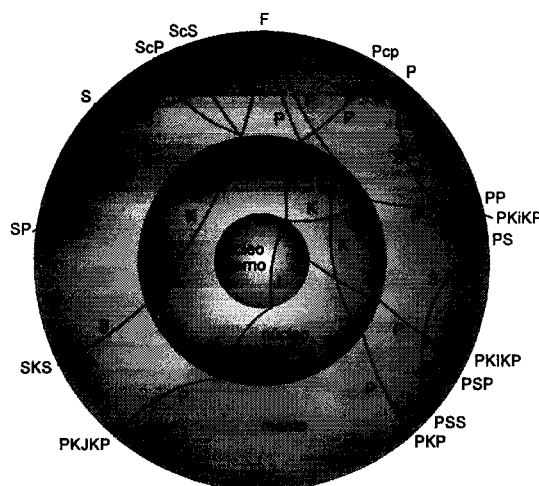
¹⁵ Emile Okal, Ph. D., Professor no Departamento de Ciências Geológicas da Universidade de Northwestern (arredores de Chicago), EUA.

¹⁶ Yves Cansi, Geofísico do Laboratório de Detecção Geofísica do Commissariado de Energia Atómica, Paris, França.

Bolívia, em 1994, ondas PKJKP mas com frequências da ordem dos 0,01-0,1 Hz, em ambos os casos (Souriau, 2001:2), e $\beta_{ICB} = 3,5$ km/s (www.geo.uu.nl)

A aferição dos métodos de aumento do sinal das ondas PKJKP poderá clarificar a identificação desta fase, o que permitirá, por sua vez, estimar, de modo mais preciso, a velocidade das ondas S no núcleo interno (Shearer, 1999:52).

A identificação do registo das fases PKJKS, SKJKP e SKJKS não é previsível, de acordo com a tecnologia actualmente disponível, dado a sua amplitude ser ainda menor do que a das PKJKP, o que as torna perfeitamente indistintas na mancha formada pelo registo das ondas provocadas pelas actividades industriais, pelas marés oceânicas, pelo vento, ...



2.18. Exemplo de fases sísmicas na Terra (extraído de Bolt, 1999:72).

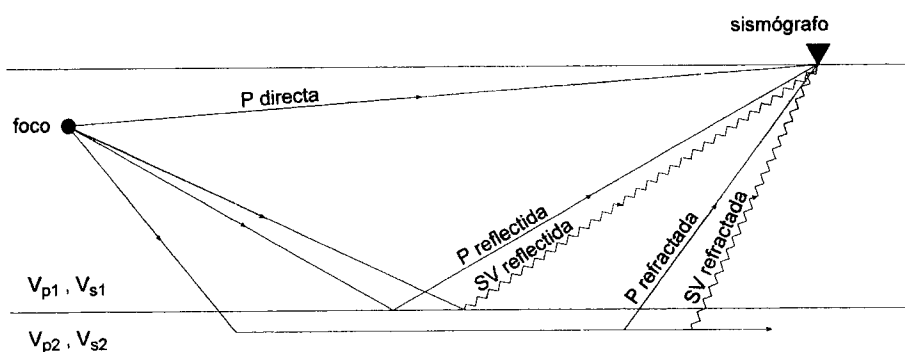
2.8. Trajectos das ondas sísmicas internas e seu registo

O registo instrumental dos sismos iniciou-se em finais do século XIX, de modo rudimentar, dada a simplicidade técnica dos instrumentos.

¹⁷ O processamento de dados sísmicos compreende um conjunto de técnicas que visam aumentar a relação sinal-ruído, facilitando a sua interpretação. Ex: técnica de empilhamento (*stacking*) que corresponde à compressão do volume total de dados adquiridos, da qual resulta um único traço.

Os sismógrafos registam as ondas sísmicas produzidas nos focos que, tendo percorrido diferentes trajectos no interior da Terra, retornam à superfície. Vejamos quais as ondas que são detectadas num sismógrafo localizado a uma certa distância do foco sísmico (Robinson e Çoruh, 1988:27-29).

Consideremos, apenas, a emissão de ondas P a partir do foco sísmico (fig. 2.19).



2.19. Trajectos das ondas sísmicas, em duas camadas horizontais, entre a fonte e o sismógrafo. $V_{p2} > V_{p1} > V_{s2} > V_{s1}$ (adaptado de Robinson e Çoruh, 1988:28).

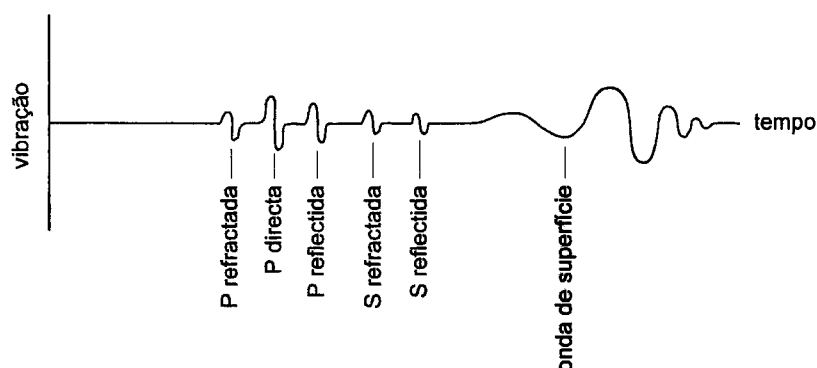
O sismógrafo da figura 2.19, regista cinco tipos de trajectos diferentes:

- da onda directa;
- das ondas reflectida P e refractada SV, produzidas por diferentes ondas incidentes P;
- das ondas refractadas P e SV produzidas pela onda de refacção crítica P.

Cálculos experimentais revelam que o tempo propagação das ondas sísmicas, nos seus diferentes trajectos, obedece ao *Princípio de Fermat* – a propagação de ondas elásticas entre dois pontos ocorre ao longo do trajecto para o qual o tempo de propagação tem o valor mínimo.

As vibrações causadas pela propagação das ondas sísmicas são registadas em sismógrafos. Os sismógrafos produzem os sismogramas que correspondem ao espectro somatório das frequências das vibrações - *pulsos* - provocadas pelo movimento das partículas agitadas do solo (Lima, 1998:75).

No caso das ondas sísmicas que seguiram os trajectos definidos na figura 2.19, o sismograma equivalente seria o esquematizado na figura 2.20.

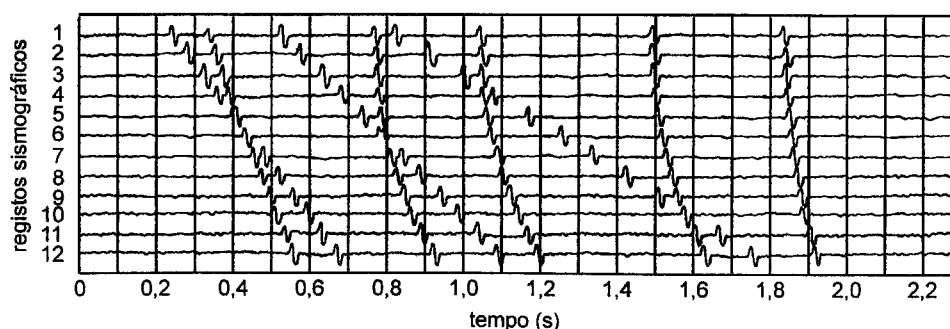


2.20. Sismograma de um hipotético sismo que apenas emitiu ondas P a partir do foco. Para o mesmo tipo de onda sísmica (P ou S) as ondas refractadas atingem primeiro a estação sismográfica do que as equivalentes reflectidas (extraído de Robinson e Çoruh, 1988:34).

A interpretação dos sismogramas é condicionada pela distância epicentral, na medida em que (Lima, 1998:41):

- para distância angulares de 0° a 10° , os registos são complexos, dada a interferência local da crosta;
- de 10° a 100° , os registos são mais simples, pelo facto da propagação das ondas sísmicas se efectuar, predominantemente, no manto;
- de 100° a 180° , os registos complicam-se de novo, por influência do núcleo.

Na área da prospecção sísmica, o registo das vibrações é feito por 6, 12, 24, 48 ou 96 aparelhos tipo microfone - os geofones¹⁸ -, separados por uma distância conhecida (Robinson e Çoruh, 1988:35). O conjunto de sismogramas obtidos designa-se por sismograma de prospecção (fig. 2.21).



2.21. Sismograma de prospecção captado por 12 geofones (sismograma de exploração de 12 traços), evidenciando pulsos de ondas sísmicas refractadas e reflectidas em várias

¹⁸ Em regra, não são utilizados sismógrafos do tipo clássico. Geralmente, os geofones registam ondas com bandas de frequência entre os 0-50 Hertz (Robinson e Çoruh, 1988:119).

camadas rochosas. As linhas verticais da carta permitem determinar o tempo de chegada dos vários pulsos aos vários sismógrafos (extraído de Robinson e Çoruh, 1988:36).

Na figura 2.21 observa-se que alguns pulsos se dispõem segundo linhas rectas, desenhadas através do registo com ângulos diferentes – são os pulsos das ondas refractadas. Por sua vez, os pulsos que se dispõem segundo as linhas curvas, representam as ondas reflectidas.

2.9. A sismologia como contributo instrumental para a construção de modelos da estrutura interna da Terra

Para os primeiros estudos da estrutura interna da Terra contribuíram os grandes sismos, que permitiram estabelecer, entre 1906 e 1936, um modelo base em camadas concêntricas – a crosta, o manto e o núcleo (interno e externo).

Mais tarde, as ondas sísmicas geradas por ensaios nucleares e pelas bombas atómicas precisaram a estrutura do modelo, dado permitirem conhecer, com rigor, o foco e a quantidade de energia libertada (Shearer, 1999:6).

Por outro lado, o desenvolvimento de métodos de prospecção sísmica, ao permitirem a prospecção do interior da Terra ao nível da pesquisa mineira, petrolífera, hidrogeológica, ..., proporcionam um conhecimento de pormenor da crosta e do manto superior. Exemplo de métodos utilizados nesta área da sismologia, são os métodos da refacção e o da reflexão sísmicas, que se baseiam na produção de sismos artificiais, cujas ondas são detectadas por geofones, dispostos em perfis mais ou menos rectilíneos, ou em leque, a distâncias que variam conforme o método utilizado (Machado, 1970:97-99).

Por si só, os métodos de refacção e de reflexão sísmicas não permitem o conhecimento da toda a estrutura interna da Terra, na medida em que as ondas geradas artificialmente, para aplicação destes métodos, apenas permitem o estudo dos níveis superficiais da Terra, dado serem ondas de baixa energia e, portanto, com baixa capacidade de penetração no globo terrestre. Já os sismos de grande magnitude produzem ondas com energia suficiente para atravessar todo o planeta, o qual reage vibrando como um todo.

Analisaremos, no ponto seguinte, apenas o método da refacção sísmica, tendo como objectivo a compreensão do contributo das ondas sísmicas para a construção de modelos do interior da Terra.

O método da refacção sísmica foi desenvolvido na segunda metade do século XIX, com as primeiras medições da velocidade das ondas sísmicas através de variados materiais terrestres (Robinson e Çoruh, 1988:76).

Durante a I Guerra Mundial, cientistas alemães usaram alguns destes métodos para detectar no terreno as posições da artilharia das forças inimigas, interpretando as ondas refractadas produzidas pelos recuos dos canhões das forças inimigas.

Após o fim desta guerra, estas ideias foram aplicadas, com as devidas adaptações, na análise de problemas geológicos, nomeadamente, na localização de recursos naturais.

No âmbito do conhecimento da estrutura interna da Terra, as ondas sísmicas refractadas podem ser utilizadas para calcular a espessura (h) e as propriedades físicas de níveis rochosos e estruturas superficiais (Robinson e Çoruh, 1988:40).

A partir das posições dos pulsos das ondas refractadas e reflectidas, registadas nos geofones/sismogramas, determinam-se os tempos necessários para que estas ondas percorram o trajecto entre o foco sísmico e os sismógrafos que as registam, localizados a distâncias conhecidas.

Estes tempos de trajecto são representados graficamente, às respectivas distâncias dos sismógrafos, num gráfico que se designa por *curva tempo-distância* ou, abreviadamente, *curva t-x*. Alinhamentos de pontos sobre a curva t-x indicam a velocidade das ondas sísmicas através das diferentes camadas rochosas que atravessam e fornecem a informação necessária para o cálculo da espessura das camadas (Robinson e Çoruh, 1988:39-116).

2.10. Contributo das ondas sísmicas refractadas para o conhecimento da estrutura interna da Terra

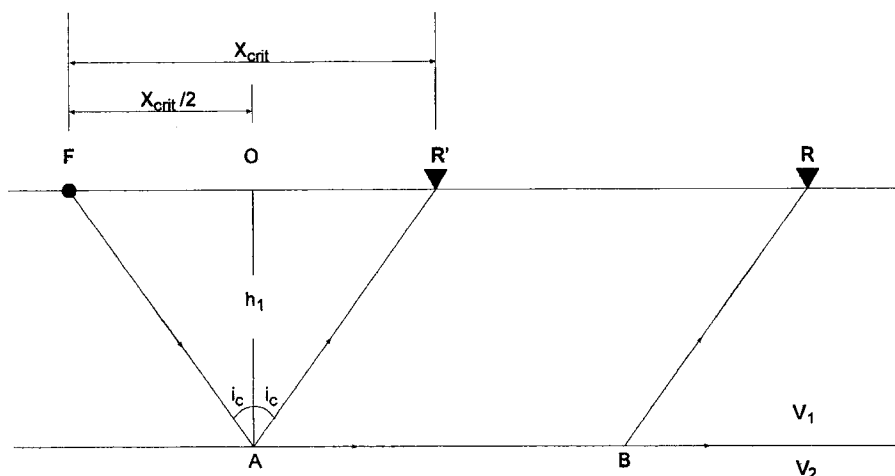
Considerando os pressupostos teóricos relativos à refacção das ondas sísmicas, vejamos, então, como se procede ao cálculo da velocidade de propagação sísmica e à espessura das camadas em que as ondas se propagam (Robinson, 1982:96-101 e Robinson e Çoruh, 1988:39-51).

Analisaremos, apenas:

- caso de uma camada horizontal (camada 1), de espessura uniforme¹⁹ h_1 e de velocidade v_1 , assente sobre uma camada 2, de velocidade v_2 , sendo $v_2 > v_1$;
- ondas directas e ondas refractadas P (apesar de a mesma análise se aplicar às ondas S).

Neste método, os alinhamentos de detectores (geofones) podem estender-se por alguns quilómetros, sendo o espaçamento entre eles - *distância crítica* - calculado de modo a que neles se registem ondas refractadas.

Consideremos os raios de incidência e de refacção críticas (fig. 2.22).



2.22. Distância crítica - X_{crit} - para o registo sismográfico de ondas refractadas, em camadas de espessura constante h_1 . F - fonte de energia sísmica; R e R' - geofones (extraído de Robinson e Çoruh, 1988:42).

¹⁹ Não analisaremos, no âmbito desta revisão científica, camadas com espessura variável.

A primeira onda refractada é a registada no geofone R'; esta onda percorreu uma distância infinitesimal na camada 2, antes de atingir o ponto A e se refractar de novo em direcção a R' (Princípio de Huygens).

A onda refractada registada no geofone R percorreu a distância AB, ao longo da superfície de descontinuidade (Princípios de Fermat e de Huygens).

Observa-se, pela geometria do esquema, que o triângulo FAO é um triângulo rectângulo. Sabendo que

$$tgi_c = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \Leftrightarrow tgi_c = \frac{X_{crit} / 2}{h_1} \Leftrightarrow X_{crit} = 2h_1 tgi_c \quad [28]$$

verificamos que a distância crítica depende do ângulo de incidência crítica (i_c) e da espessura da camada (h_1).

Para a onda de refração crítica ($r=90^\circ$), a lei de Snell, como referimos anteriormente, expressa-se da seguinte forma, $seni_c = \frac{v_1}{v_2}$ (equação [25]). Utilizando esta igualdade na seguinte relação trigonométrica

$$seni_c^2 + cosi_c^2 = 1 \Leftrightarrow cosi_c = \sqrt{1 - seni_c^2} \quad [29]$$

obtemos:

$$cosi_c = \sqrt{1 - seni_c^2} \Leftrightarrow cosi_c = \sqrt{1 - \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2} \Leftrightarrow cosi_c = \sqrt{\frac{v_2^2 - v_1^2}{v_2^2}} \quad [30]$$

Aplicando as fórmulas [25] e [30] na definição de tangente, verifica-se que

$$tgi_c = \frac{seni_c}{cosi_c} \Leftrightarrow tgi_c = \frac{v_1}{\sqrt{v_2^2 - v_1^2}} \Leftrightarrow$$

$$tgi_c = \frac{v_1}{\sqrt{v_1^2 \left(\frac{v_2^2}{v_1^2} - 1 \right)}} \Leftrightarrow tgi_c = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 - 1}} \quad [31]$$

o que nos permite o reescrever a equação [28], substituindo tgi_c pela expressão [31]:

$$X_{crit} = \frac{2h_1}{\sqrt{\left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 - 1}} \quad [32]$$

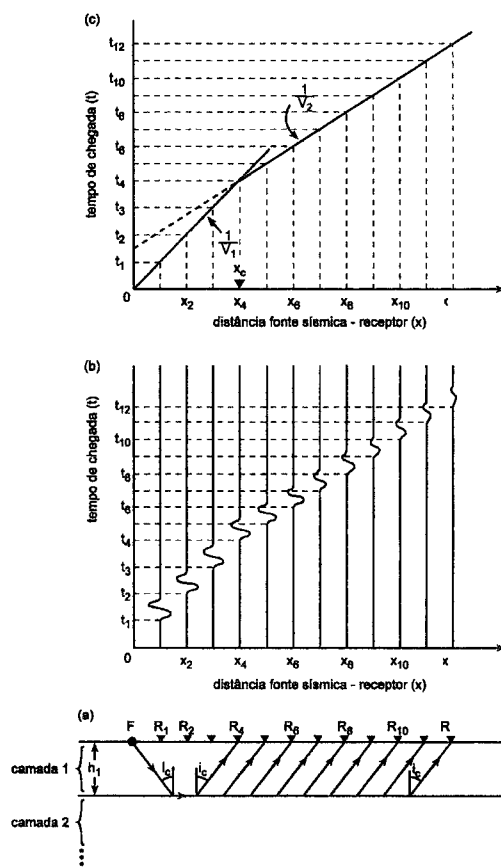
Verifica-se assim que a distância crítica entre os geofones é directamente proporcional à espessura da camada e inversamente proporcional à razão v_2/v_1 , ou seja, para uma dada espessura, quanto maior o contraste de velocidade entre as camadas, menor é a distância crítica ao longo da qual as ondas refractadas não são detectadas (Robinson e Çoruh, 1988:42).

A equação [32] pode ser utilizada na planificação dos alinhamentos dos geofones se, previamente, houver uma estimativa do contraste de velocidade esperado.

As fórmulas até agora deduzidas inter-relacionam a velocidade das ondas com a espessura da camada, mas não permitem o seu cálculo.

Sumariamente, e no método de prospecção sísmica em análise, os passos prévios para o cálculo de v_1 , v_2 e de h_1 são (fig. 2.23):

1. Produzir um sismo artificial, utilizando, por exemplo, uma carga explosiva;
2. Registar, em sismogramas, as vibrações do solo em função do tempo;
3. Medir o tempo, em cada sismograma, do registo do primeiro pulso;
4. Representar a curva t-x.



2.23. a) Representação das trajectórias das ondas sísmicas numa camada horizontal de espessura constante; o raio de incidência crítica refracta-se ao longo da descontinuidade entre as duas camadas, originando novas ondas refractadas, na direcção da superfície (por conveniência de gráfica, não se representam, as ondas directas);

b) sismogramas produzidos num alinhamento de 12 geofones – R_1 a R_{12} ; apenas se considera o primeiro pulso registado;

c) curva t - x (extraído de Robinson e Çoruh, 1988:44).

De notar na curva t - x (fig. 2.23-c) que os pontos tempo-distância correspondentes aos geofones R_1 a R_3 estão alinhados segundo uma linha recta com origem na coordenada $(0,0)$, isto é, na fonte sísmica F . Este alinhamento recto indica que o tempo requerido para que uma onda atinja um geofone é directamente proporcional à distância a que o mesmo se encontra. Neste caso, a velocidade da onda é constante (v_1) e os primeiros pulsos registados nos geofones 1, 2 e 3 corresponderão a ondas directas formadas em F .

Calculando o valor do declive desta recta entre quaisquer dois geofones, obtemos o valor de v_1 :

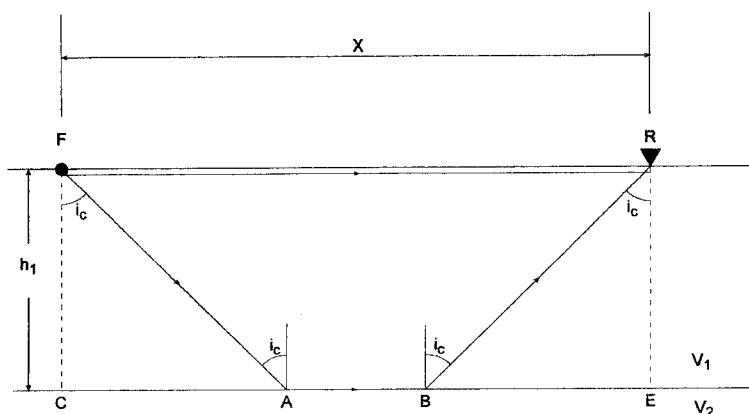
$$\text{declive} = \frac{t_3 - t_1}{x_3 - x_1} = \frac{\Delta t}{\Delta x} = \frac{1}{v_1} \quad [33]$$

Da análise da curva t-x verificamos também que as coordenadas tempo-distância correspondentes aos geofones R₅ a R₁₂ estão alinhados segundo outra linha recta. Dado que estas coordenadas correspondem a geofones mais distantes, representadas numa recta diferente, elas não representam ondas directas mas sim, ondas refractadas. Do mesmo modo, podemos agora calcular o valor de v₂:

$$\text{declive} = \frac{t_{12} - t_5}{x_{12} - x_5} = \frac{\Delta t}{\Delta x} = \frac{1}{v_2} \quad [34]$$

A curva tempo-distância da figura 2.23.c) fornece um outro dado importante. A distância a que as duas linhas rectas se intersectam, X_c, designa-se por *distância de cruzamento*. Um geofone colocado a esta distância (no caso, o R₄) recebe ondas directas e ondas refractadas ao mesmo tempo. Ou seja, sendo t_d e t_r, respectivamente, o tempo de propagação de uma onda directa e de uma onda refractada ou transmitida, em X_c verifica-se que t_d=t_r.

Calculemos, agora, a espessura (h₁) da camada 1, utilizando um dos métodos possíveis, baseado na informação da curva t-x. A figura 2.24 representa parte dessa camada.



2.24. Representação geométrica da trajectória dos raios sísmicos de uma onda directa e da onda de refacção crítica (extraído de Robinson e Çoruh, 1988:46).

A fonte sísmica F e o geofone R encontram-se à distância x . Assim, o tempo de propagação da onda directa (t_d) é:

$$t_d = \frac{x}{v_1} \quad [35]$$

Por sua vez, e em acordo com o Princípio de Fermat, o tempo de propagação da onda refractada ou transmitida (t_t) é:

$$t_t = \frac{FA}{v_1} + \frac{AB}{v_2} + \frac{BR}{v_1} \quad [36]$$

As relações geométricas dos raios sísmicos representados na figura 2.24 mostram que os triângulos FCA e BER são triângulos rectos.

Tendo presente a função co-seno e a função tangente podemos escrever, respectivamente:

$$FA = BR = \frac{h_1}{\cos i_c} \quad [37]$$

$$CA = BE = h_1 \operatorname{tg} i_c \quad [38]$$

Sabendo ainda que,

$$AB = x - CA - BE \Leftrightarrow AB = x - 2h_1 \operatorname{tg} i_c \quad [39]$$

podemos reescrever a equação [36] em função das equações [37], [38] e [39]:

$$t_t = \frac{h_1}{v_1 \cos i_c} + \frac{x - 2h_1 \operatorname{tg} i_c}{v_2} + \frac{h_1}{v_1 \cos i_c}$$

$$t_t = \frac{2h_1}{v_1 \cos i_c} + \frac{x - 2h_1 \operatorname{tg} i_c}{v_2}$$

$$t_t = \frac{2h_1}{v_1 \cos i_c} + \frac{x}{v_2} - \frac{2h_1 \operatorname{tg} i_c}{v_2} \quad (\operatorname{tg} i_c = \operatorname{sen} i_c / \cos i_c)$$

$$t_t = \frac{x}{v_2} + \frac{2h_1}{v_1 \cos i_c} - \frac{2h_1 \operatorname{sen} i_c}{v_2 \cos i_c}$$

$$t_t = \frac{x}{v_2} + \frac{2h_1}{v_1 \cos i_c} \left(1 - \frac{v_1}{v_2} \operatorname{sen} i_c \right) \quad (\operatorname{sen} i_c = v_1/v_2)$$

$$t_t = \frac{x}{v_2} + \frac{2h_1}{v_1 \cos i_c} (1 - \operatorname{sen} i_c^2) \quad (\operatorname{sen} i_c^2 + \cos i_c^2 = 1 \Leftrightarrow \cos i_c^2 = 1 - \operatorname{sen} i_c^2)$$

$$t_t = \frac{x}{v_2} + \frac{2h_1}{v_1 \cos i_c} \cos i_c^2$$

$$t_t = \frac{x}{v_2} + \frac{2h_1}{v_1} \cos i_c \quad [40]$$

Referimos anteriormente que, à distância X_c (distância de cruzamento), a onda directa e a onda refractada chegam ao mesmo tempo. Considerando, então, $x=X_c$ e igualando as equações [35] e [40], obtemos:

$$t_d = t_t$$

$$\frac{X_c}{v_1} = \frac{X_c}{v_2} + \frac{2h_1}{v_1} \cos i_c$$

$$\frac{X_c}{v_1} - \frac{X_c}{v_2} = \frac{2h_1}{v_1} \cos i_c$$

$$\frac{X_c}{2} \cdot \frac{v_2 - v_1}{v_1 v_2} = \frac{h_1}{v_1} \cos i_c \quad (\text{substituindo } \cos i_c \text{ pela equação [30]})$$

$$\frac{X_C}{2} \cdot \frac{v_2 - v_1}{v_1 v_2} = \frac{h_1}{v_1} \left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{v_2^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{X_C}{2} \cdot \frac{v_2 - v_1}{v_1 v_2} = \frac{h_1}{v_1} \cdot \frac{(v_2^2 - v_1^2)^{\frac{1}{2}}}{v_2}$$

$$\frac{X_C}{2} \cdot \frac{v_2 - v_1}{v_1 v_2} = h_1 \frac{(v_2^2 - v_1^2)^{\frac{1}{2}}}{v_1 v_2}$$

$$h_1 = \frac{X_C}{2} \cdot \frac{v_2 - v_1}{v_1 v_2} \cdot \frac{v_1 v_2}{(v_2^2 - v_1^2)^{\frac{1}{2}}}$$

$$h_1 = \frac{X_C}{2} \cdot \frac{v_2 - v_1}{(v_2^2 - v_1^2)^{\frac{1}{2}}} \quad [(a^2 - b^2) = (a-b)(a+b)]$$

$$h_1 = \frac{X_C}{2} \frac{v_2 - v_1}{[(v_2 - v_1)(v_2 + v_1)]^{\frac{1}{2}}}$$

$$h_1 = \frac{X_C}{2} \frac{(v_2 - v_1)^{\frac{1}{2}}}{(v_2 + v_1)^{\frac{1}{2}}}$$

$$h_1 = \frac{X_C}{2} \sqrt{\frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1}} \quad [41]$$

Esta expressão permite, agora, o cálculo da espessura da camada 1 (h_1), função da interpretação de um conjunto seriado de sismogramas.

Apenas considerámos a caracterização da camada 1; porém, os princípios básicos do método da refração sísmica é generalizável a várias camadas (Machado, 1970:103; Robinson e Çoruh, 1988:51).

Resumindo, após o traçado da curva $t-x$, calcula-se v_1 e v_2 , função do declive das duas rectas (relativas, respectivamente, às ondas directas e refractadas); a intersecção gráfica destas rectas, permite a leitura de X_c e, consequentemente, o cálculo de h_1 .

Assim, a análise do registo dos pulsos das ondas sísmicas, a aplicação da lei de Snell, dos princípios de Huygens e de Fermat e, ainda, de métodos da Trigonometria e da Geometria, fornecem dados importantes para o conhecimento indirecto da estrutura interna da Terra.

2.11. Modelo da estrutura interna da Terra

O desenvolvimento tecnológico, o mundo digital, a rápida circulação de informação e a cooperação internacional²⁰, têm permitido a especificação da estrutura interna terrestre.

A análise dos sismogramas, a base da teorização de modelos da estrutura da Terra, é, em si, bastante complexa. De facto, o reconhecimento das diversas fases sísmicas, e consequentemente, da identificação do seu tempo de chegada, exige um esforço interpretativo conjunto dado que, se nuns casos, os registos das fases sísmicas se sobrepõem, noutros, são demasiado fracos, e noutros, ainda, verifica-se a simultaneidade das duas condições anteriores (Olroyd, 1996:244).

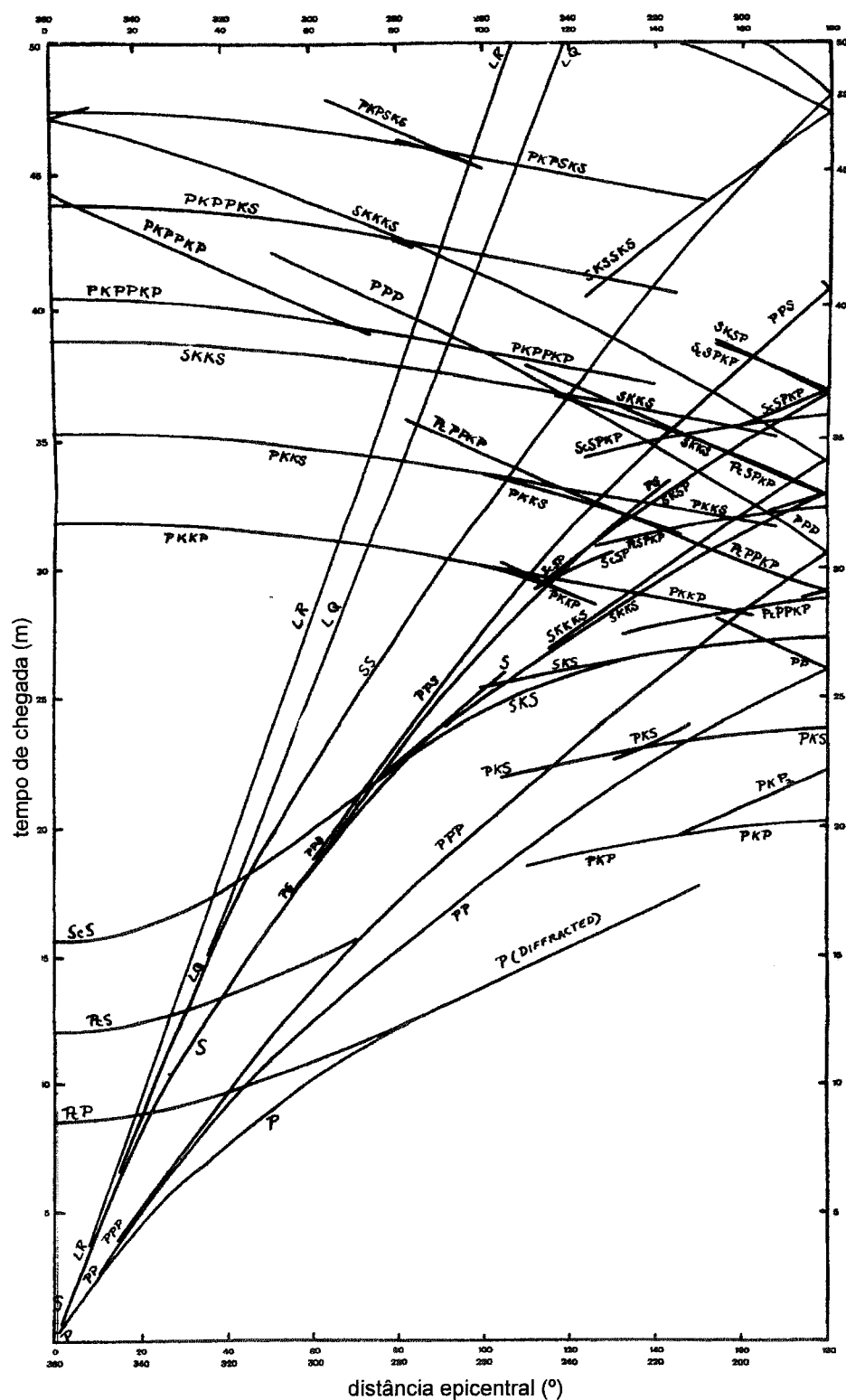
Actualmente, centenas de milhares de tempos de propagação de ondas P e S estão disponíveis, em tabelas sismológicas (curvas tempo-distância), permitindo a especialização da estrutura interna da Terra. De entre as primeiras tabelas, destacam-se as construídas por Oldham, que lhe permitiram, em 1906, deduzir a existência de um núcleo terrestre. Estas tabelas foram sendo sucessivamente trabalhadas, nomeadamente, por Zöppritz (1907) e por Gutenberg (1914). Em 1940, Jeffreys e Bullen publicam uma tabela (fig. 2.25) que ainda hoje é amplamente usada (Udías, 1999:153).

²⁰ Através de organizações como o World Wide Standardized Seismograph Network (WWSSN, criada no início dos anos 60) e, mais recentemente, também pelos centros mundiais IRIS/GSN (EUA), GEOFON (Alemanha) e ORFEUS (Holanda) (Udías, 1999:7).

Jeffreys e Bullen trabalharam, para diferentes distâncias, os tempos de propagação das diversas fases sísmicas, representando-os um único diagrama. O cálculo dos tempos de trajecto foi feito por referência a um modelo de Terra esférico, de raio 6371,2 km, sendo que, na realidade, a Terra é um esferóide, de raios equatorial e polar, respectivamente, de 6378 km e de 6356 km. Assim, os tempos de propagação no esferóide diferem dos calculados para a esfera, apesar de, na construção desta tabela, terem sido contempladas correcções de forma²¹.

Estas tabelas funcionam, *grosso modo*, como “calculadoras sísmicas” que ajudam a converter as vibrações registadas nos sismogramas em fenómenos físicos (reflexão, refacção,...) que, supostamente, aconteceram no interior da Terra (Olroyd, 1996:244).

²¹ O cálculo destas correcções levou Bullen ao tema que mais contribuiu para a sua reputação como investigador, a saber, a distribuição da densidade no interior da Terra .

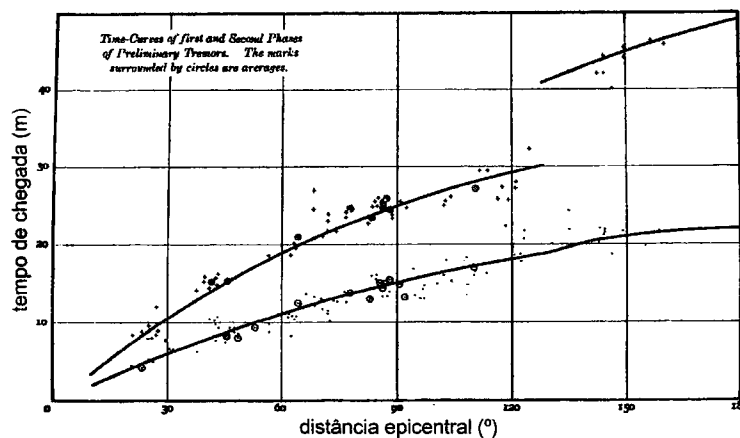


2.25. Representação gráfica dos tempos de propagação para diferentes fases sísmicas (curva t-x), de um sismo com foco superficial (Jeffreys, 1937-40 [1939] in Olroyd, 1996:245).

Analiseemos, agora, numa retrospectiva simplificada, alguns dos passos fundamentais na construção do modelo da estrutura interna da Terra.

Como acima referimos, a utilização dos tempos de trajeto para ‘radiografar’ o interior da Terra, já tinha sido utilizado por Oldham²², ao sugerir um modelo explicativo dos tempos de propagação das ondas P e S, de um lado da Terra ao outro, baseado na existência de um grande núcleo no seu centro (Bolt, 1998:68-69).

Oldham constatou, através de registos de sismos ocorridos em diferentes partes do Globo, que a velocidade de propagação das ondas aumenta com a distância percorrida, o que sugere que a sua velocidade, presumivelmente, aumenta com a profundidade (Olroyd, 1996:234). Observou, ainda, um grande atraso no registo das ondas S (de, aproximadamente, 10 minutos), nos sismógrafos das estações situadas a mais de 120° da origem do sismo (fig. 2.26).



2.26. Curva t-x das ondas P e S elaborada por Oldham, 1906 (extraído de Olroyd, 1996:235).

As hipóteses então formuladas para explicar esta quebra da curva t-x, para as ondas S, foram (Olroyd, 1996:235):

- a parte central da Terra é, por algum motivo, incapaz de transmitir as ondas S; o seu registo, além dos 120°, deve-se, de alguma forma, a refacções à volta da parte externa da Terra;

²² Richard Oldham (1858-1936), investigador britânico que, à época, era director do Geological Survey of Índia.

- as ondas S propagam-se mais lentamente na parte central da Terra do que na parte exterior.

À época, e de acordo com o contexto técnico-científico, Oldham preferiu a segunda hipótese.

Assim, Oldham propôs, pela primeira vez, a existência de um núcleo terrestre, de natureza incerta e de raio, aproximadamente, 0,4 vezes o raio da Terra, o qual inibe a propagação das ondas S a distâncias angulares do foco superiores a 120° (Olroyd, 1996:236).

As observações de Oldham também poderiam ser explicadas se a parte central da Terra fosse líquida e, portanto, incapaz de transmitir as ondas transversais S. O primeiro investigador a sugerir esta hipótese foi Leybenzon, em 1911. Infelizmente, por escrever em russo, o seu trabalho atraiu pouca atenção da comunidade científica, que, à época, também não aceitava a noção de um núcleo líquido.

Contudo, em 1913, Oldham começou, também ele, a dar consistência a esta possível natureza do centro terrestre (Olroyd, 1996:235-236), defendendo a ideia de que as ondas S atrasadas poderiam corresponder a ondas S sucessivamente reflectidas, que percorreram uma maior distância, e não a ondas S cuja velocidade tinha sido reduzida na zona central. Seria esta eventual liquidez do núcleo a causadora da *sombra* das ondas S directas; Oldham, com base na análise instrumental de sismogramas, precisou, à época, que o registo das ondas S directas acontecia, sensivelmente, até aos 110° de distância angular do foco, mas nunca além desta (Bolt, 1999:69).

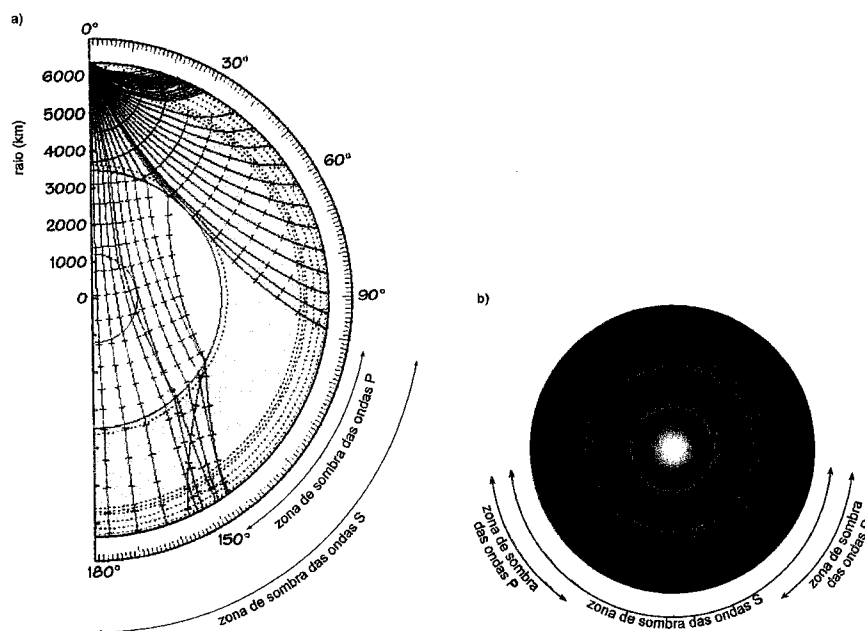
Este primeiro modelo da estrutura interna da Terra foi, em 1914, pormenorizado por Gutenberg²³, que localizou a 2900 km a profundidade do núcleo terrestre, valor que sofreu já algumas correcções (Olroyd, 1996:236).

Gutenberg verificou que a propagação das ondas P directas, através do interior da Terra, é ‘observável’ até aos 105° . Verificou também que a partir desta distância angular do foco, o registo das ondas nos sismogramas ocorre com um atraso de cinco minutos, por comparação ao tempo de propagação esperado para as ondas directas P. Observou ainda, sismograficamente, ondas cujo registo era facilmente explicado se consideradas ondas reflectidas na superfície do hipotético núcleo terrestre (Bolt, 1998:69).

²³ Sismólogo alemão, tendo mais tarde adoptado a nacionalidade americana.

A presença desta *zona de sombra* - isto é, de uma zona em que as estações sismográficas não registam qualquer onda directa - e o atraso das ondas P' e S', relativamente às ondas P e S, respectivamente, implica que exista no interior da Terra uma superfície de descontinuidade, separando um meio exterior, no qual as ondas se deslocam a grande velocidade, dum meio interior - o núcleo -, onde a sua velocidade é menor. Definiu-se, assim, um núcleo central e um manto periférico, separados por uma superfície designada por *descontinuidade de Gutenberg* (Dercourt & Paquet, 1986:111-112). Actualmente, esta fronteira também se designa por CMB, do inglês, *core-mantle boundary*.

As refacções e reflexões das ondas incidentes, impostas pela presença desta descontinuidade, ocorrem segundos ângulos determinados (em concordância com a lei de Snell), sendo, por isso, possível delimitar a zona de sombra, quer para as ondas P, quer para as ondas S (fig. 2.27).



2.27. (a) Zona de sombra das ondas P e S. (b) Na zona de sombra podem registar-se ondas sísmicas que sofreram reflexões múltiplas, de muita baixa energia (adaptado de Ammon, 2001:13).

Em 1925, Gutenberg publicou um artigo no qual, entre outros assuntos, enumerou e discutiu hipóteses de trabalho utilizadas pelos geofísicos no estudo da rigidez do interior da Terra, a saber: as marés oceânicas, os deslocamentos verticais em consequência da atracção lunar e solar, a deformação da Terra em consequência da atracção gravitacional, o

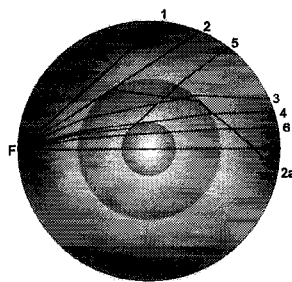
período de oscilação do eixo da Terra, as ondas sísmicas e a suposta dependência da estabilidade terrestre assente num núcleo rígido. Dos dados analisados, apenas os sísmicos pareciam apontar para a existência de um núcleo líquido (Olroyd, 1996:236).

Em 1928, Sir Harold Jeffreys, um conceituado geofísico da época, Professor de Astronomia em Cambridge, argumenta, baseado num elaborado modelo matemático, que a ideia de um núcleo líquido é aceitável, argumentos esses que a comunidade científica logo subscreve. Gutenberg assume, nesta altura, uma postura mais reservada, vindo, também ele, a assumir mais tarde a liquidez do núcleo (Olroyd, 1996:236).

A dinamarquesa Inge Lehmann²⁴, em 1929, intervém, de forma decisiva, na discussão científica em torno do núcleo terrestre.

Lehmann observou registos de várias estações europeias, do sismo de 16 de Junho de 1929, da Nova Zelândia, nomeadamente, da estação de Sverdlovsk, situada a 135° do foco, e da estação de Irkutsk, situada a 110,8°. À época, pensava-se que o interior da Terra se dividia em três camadas – a crosta (que analisaremos mais à frente), o manto e um único núcleo (Olroyd, 1998:237 e Bolt, 1998:75).

Lehmann relacionou os tempos de chegada dos diferentes tipos de onda e os dados obtidos permitiram-lhe inferir possíveis trajectos de propagação no interior da Terra (fig. 2.28), incompatíveis com o modelo teórico então em vigor.



2.28. Trajectos das ondas sísmicas, no interior da Terra, função dos sismogramas analisados, sugerido por Lehmann no seu artigo de 1936 (extraído de Bolt, 1999:75).

²⁴ Inge Lehmann (1888-1993), foi nomeada assistente, em 1925, no Instituto de Geofísica de Copenhaga (apesar de não ter educação formal em sismologia) tendo consciência de que tal facto se devia ao facto de ser mulher; aliás, a profissão de sismólogo, na assísmica Dinamarca, era rara (Bolt, 1999:75).

Considerando constante a velocidade de propagação das ondas sísmicas em cada uma das camadas do interior da Terra, eram de esperar, à luz do modelo tri-camada, as ondas identificadas pelos raios 1, 2, 3 e 2a. Mas, para explicar as ondas de raio 4, 5 e 6, uma outra descontinuidade teria de existir no interior da Terra, concretamente, no interior do núcleo. Lehmann avançou então, com a hipótese de um núcleo interno, no qual a velocidade de propagação das ondas é maior do que no núcleo externo (Bolt, 1999:75-76).

Os argumentos de Lehmann sobre a provável existência de um núcleo interno tiveram grande aceitação pelos investigadores da estrutura interna da Terra, que adoptaram a sua hipótese (Bolt, 1999:76). Mais tarde, estimou-se o raio desta camada em 1216 km e a fronteira núcleo externo – núcleo interno passou a designar-se por descontinuidade de Lehmann e, actualmente, por ICB, do inglês, *inner core boundary*.

Apesar de Lehmann não ter discutido a natureza do núcleo interno, o aumento brusco da velocidade das ondas P e da densidade sugere que o núcleo interno é um corpo sólido, ‘mergulhado’ no núcleo externo líquido. Okal e Deuss, ao reclamarem, como já referimos, o registo de ondas PKJKP, contribuíram, também, para a reforçar a ideia de um núcleo interno sólido. A análise das oscilações livres da Terra – vibrações de muito baixa amplitude, que se prolongam por vários dias, ou mesmo semanas, quando a Terra é perturbada por um sismo de grande magnitude – aponta também para a solidez desta porção do núcleo (Borges, 2000:5-6).

Actualmente, Taylor e Singh (2000:143) defendem que no núcleo interno poderão existir inclusões lenticulares líquidas (numa fracção de volume da ordem dos 3 a 10%), alinhadas segundo o plano equatorial. Segundo estes investigadores, a capacidade explicativa do modelo da Terra aumenta se considerarmos o núcleo interno parcialmente fluido, porquanto permite uma melhor compreensão e fundamentação da anisotropia das ondas P, da baixa velocidade das ondas S (variável entre o eixo polar e o plano equatorial) e do elevado grau de atenuação sísmica no núcleo interno.

Outros estudos sísmicos, parecem evidenciar, por sua vez, que o núcleo interno se encontra em lenta rotação, relativamente ao núcleo externo (Bolt, 1999:76).

A caracterização da camada mais externa da Terra – a crosta – coube, por sua vez, a Andrija Mohorovicic²⁵.

²⁵ Andrija Mohorovicic (1857-1936), professor da Universidade de Zagreb, na actual Croácia.

Em 1909, este investigador constatou, ao analisar os registos sismográficos do sismo de que em Outubro desse ano ocorreu em Kulpa Valley (sensivelmente a quarenta e oito quilómetros a sul de Zagreb, na actual Croácia), que as estações sismográficas situadas a menos de oitocentos quilómetros da origem do sismo registavam a chegada de dois conjuntos de ondas P e S (Olroyd, 1996:238).

A hipótese de se tratarem de dois momentos sísmicos foi rejeitada dado que a diferença de tempo entre os dois conjuntos de ondas parecia diminuir de acordo com a distância ao centro sísmico.

Para explicar as suas observações, Mohorovicic propôs a existência de uma descontinuidade, a uma profundidade da ordem dos quarenta e cinco quilómetros, separando um meio de menor velocidade de propagação (o meio superior) de um meio de maior velocidade de propagação (o meio inferior). O registo dos dois grupos distintos de ondas P e S era, assim, consequência, da refacção das ondas nesta interface – o primeiro grupo correspondia a ondas refractadas e o segundo, a ondas directas. Esta descontinuidade designa-se de Mohorovicic e separa a crosta do manto (Olroyd, 1996:238).

Em 1914, Joseph Barre²⁶ propõe, na tentativa de ampliar a capacidade explicativa da Teoria da Isostasia, a existência de um nível estrutural de menor rigidez, situado abaixo da crosta, capaz de acumular tensões de magnitude limitada. Barre sugere, para esta camada, a designação de astenosfera²⁷. Os estudos sísmicos efectuados por Gutenberg, no âmbito da sua investigação sobre a natureza cristalina ou fluida do núcleo, contribuíram para a evidência desta camada – na porção exterior do manto, sensivelmente entre os 70 e os 100 km de profundidade, os dados analisados indicavam uma diminuição na amplitude e na velocidade de propagação das ondas sísmicas, o que sugeria, a esta profundidade, uma maior plasticidade do manto.

Num artigo publicado em 1926, Gutenberg defende a ideia de que esta provável plasticidade da parte externa do manto pode ser o possível *locus* dos movimentos de porções da crosta, relativamente ao manto, de acordo com a teoria mobilista da Deriva dos Continentes proposta por Wegener (1912-1915).

²⁶ Joseph Barre (1869-1919), geólogo norte-americano.

²⁷ Do grego *asthenos*, isto é, sem força.

Em 1929, Jeffreys aceita, também ele, a existência desta camada, o que, dada a sua reputação, contribuiu para a afirmação desta hipótese na comunidade científica, apesar de empiricamente não ter sido ‘provada’ a sua existência, o que se julgou ter acontecido cerca de trinta anos mais tarde, aquando da análise dos registos sismográficos de todo o mundo das explosões atómicas. A existência deste nível estrutural - a astenosfera -, de menor capacidade de transmissão das ondas sísmicas, possivelmente em resultado de uma fluidez parcial, tem sido atribuída à conjugação das condições de pressão e de temperatura. O aumento da temperatura em profundidade potencia a fusão das rochas; contudo, esta fusão é condicionada pelo aumento da pressão. Na parte superior do manto, o efeito da temperatura seria dominante, pelo que os materiais rochosos deste nível seriam mais fluidos; à medida que a profundidade aumenta, aumenta também a pressão, sendo o restante manto sólido. A maiores profundidades, o efeito da temperatura será de novo dominante, pelo que o núcleo externo é líquido. A solidez do núcleo interno deve-se, por sua vez, ao facto do efeito da pressão superar o da temperatura (Olroyd, 1996:238-239).

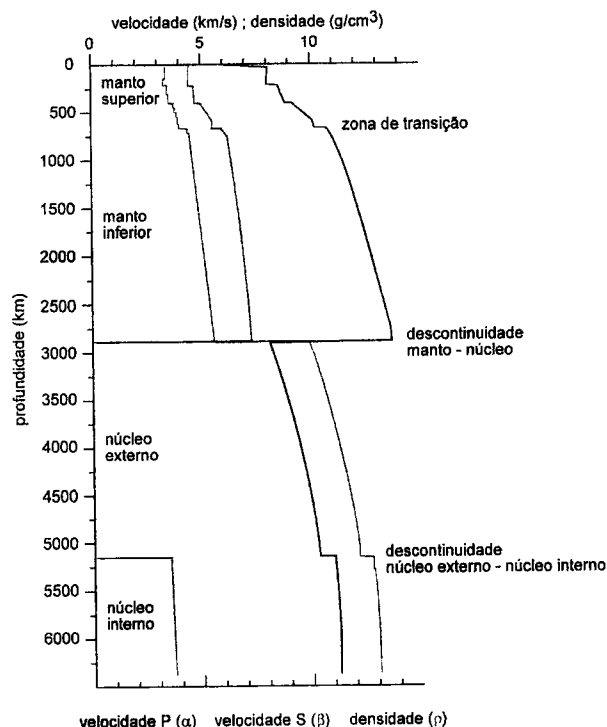
Todas estas leituras interpretativas dos sismogramas, obtidos a partir de abalos sísmicos naturais e, também artificiais, têm vindo a ser reunidas em modelos teóricos da estrutura interna da Terra. Até ao momento, quase todas as técnicas usadas na construção de um modelo tridimensional da Terra, baseiam-se na representação por referência a um modelo esférico e simétrico.

O modelo de estrutura interna da Terra mais divulgado é o modelo PREM - Preliminary Reference Earth Model - estabelecido por Dziewonski²⁸ e Anderson²⁹, em 1981, na linha de investigação iniciada por Dziewonski *et al.* em 1975.

A construção deste modelo terrestre de referência preliminar (fig. 2.29) teve em consideração, essencialmente, informações provenientes das oscilações livres da Terra, da dispersão das ondas superficiais e dos tempos de propagação das principais fases sísmicas P e S (Kennett e Hilst *in* Jackson, 1998:383).

²⁸ Adam M. Dziewonski é Professor (Ph. D.) da Universidade de Harvard, EUA, e considerado o percursor da tomografia sísmica.

²⁹ Don L. Anderson é Professor (Ph. D.) de Geofísica na Divisão das Ciências Tecnológicas e Planetárias no California Institute of Technology, EUA.



2.29. Variação, no interior da Terra, da velocidade de propagação das ondas sísmicas internas e da densidade, baseada em dados sísmicos – modelo PREM (adaptado de Shearer, 1999:3).

Neste modelo torna-se visível o comportamento da velocidade das ondas sísmicas em profundidade, o que contribuiu para especialização do modelo da estrutura interna da Terra.

Observam-se três descontinuidades de 1ª ordem³⁰:

- a de Mohorovicic (crusta-manto), localizada, média ponderada para continentes e oceanos, a 19 km de profundidade;
- a de Gutenberg ou CMB, a 2891 km;
- e a descontinuidade de Lehmann ou ICB, a 5150 km (Borges, 2000:8).

No manto definem-se descontinuidades de 2ª ordem³¹, nomeadamente, aos 220 km (transição litosfera - astenosfera), aos 400 km (fronteira entre o manto superior e a zona de transição do manto), aos 670 km de profundidade (fronteira entre a zona de transição e o

³⁰ Descontinuidade de 1ª ordem é aquela que resulta de uma acentuada variação brusca nas propriedades elásticas e de densidade do meio, sendo assinalada por uma marcada variação da velocidade das ondas sísmicas (Borges, 2000:7).

manto inferior) e aos 150 km, sensivelmente, acima do contacto com o núcleo externo (Borges, 2000:8).

A partir da zona de transição, os minerais constituintes das rochas são transformados em função do aumento da pressão litostática – os átomos reorganizam-se em estruturas mais compactas, estáveis a elevadas pressões, sendo o resultado deste rearranjo, um aumento da densidade e, sobretudo, do módulo de elasticidade (E), o que produz um aumento generalizado da velocidade de propagação das ondas sísmicas (Ammon, 2001:10).

O manto superior é uma zona com considerável variabilidade regional, enquanto que no manto inferior existe uma maior consistência entre as velocidades das ondas internas (Kennett e Hilst *in* Jackson, 1998:386).

Os dois contrastes maiores, na velocidade das ondas sísmicas, ocorrem perto da superfície, no limite crusta/manto³², e na fronteira manto/núcleo, o que sugere mudança de composição a estas profundidades (Ammon, 2001:11).

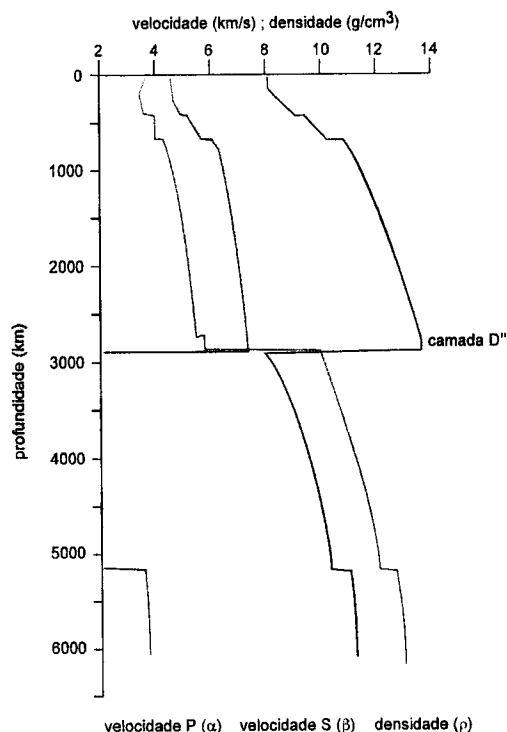
Baseados nos mesmos parâmetros - velocidade de propagação das ondas P e S, obtidas a partir da análise interpretativa dos tempos de propagação - outros modelos sucederam o PREM, nomeadamente o modelo *iasp91* (Kennett³³ e Engdahl, 1991) e o *sp6* (Morelli e Dziewonski, 1993). Estes modelos de velocidade, mais precisos, permitem localizar com maior exactidão os acontecimentos sísmicos do interior da Terra, e, consequentemente, actualizar os tempos de propagação empíricos de um abrangente conjunto de fases sísmicas, com base nos quais, Kennett, Engdahl e Buland construíram, em 1995, o modelo *ak135*. Contudo, e para ajustar os comportamentos observados, os autores introduziram parâmetros mais complexos no manto inferior e núcleo (Kennett e Hilst³⁴ *in* Jackson, 1998:384), o que permitiu precisar aspectos da sua estrutura (fig. 2.30).

³¹ Descontinuidade de 2ª ordem é uma zona marcada por uma variação significativa do gradiente de velocidade (Borges, 2000:7).

³² A resolução do esquema não permite observar com precisão este contraste.

³³ Brian L. N. Kennett, é Professor (Ph. D.) na Research School of Earth Sciences, da Australian National University.

³⁴ Robert D. van der Hilst é Professor (Ph. D.) do Departamento da Terra, Atmosfera e Ciências Planetárias, no Massachusetts Institute of Technology.



2.30. Variação, no interior da Terra, da velocidade de propagação das ondas sísmicas internas e da densidade, baseada em dados sísmicos – modelo *ak135* (extraído de Kennett e Hilst in Jackson, 1998:386).

Nos últimos 150-200 km do manto inferior, a média das velocidades parece variar, ainda que de modo incipiente, em profundidade. Esta zona – que se convencionou designar por camada D'' – caracteriza-se por uma heterogeneidade relativamente forte, admitindo-se que serve de repositório dos produtos dos processos mantélicos, os quais, potencialmente, podem ser remobilizados pela energia/calor emergente do núcleo (Kennett e Hilst in Jackson, 1998:387).

Estudos regionais detalhados mostram, ainda, que a velocidade de propagação sísmica, dentro da camada D'', pode ser localmente complexa, evidenciando a existência de zonas de alta e de baixa velocidade, com variações muito idênticas às verificadas na superfície da Terra. Estas anomalias poderão ser consequência de um possível enrugamento na zona de fronteira manto/núcleo (que poderá corresponder a uma 'topografia' de alguns quilómetros), e do facto da camada D'' corresponder a uma região de reacção química ou de mistura física entre o núcleo e o manto (Wyssession, 1995:8).

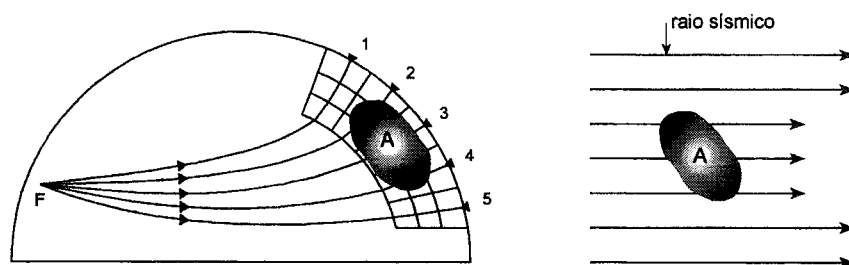
Embora o modelo PREM continue a ser uma referência básica, as profundidades das descontinuidades de 2ª ordem do manto têm vindo a ser corrigidas, tendo as dos 400 e 670

km, passado para valores que variavam entre os 380-420 e os 640-680 km, sendo actualmente frequentemente localizadas aos 410 e aos 660 km de profundidade, pelo que são designadas por descontinuidades *410* e *660* (Borges, 2000:9).

Ultimamente, os esforços de investigação da estrutura do interior da Terra vão no sentido de precisar as variações laterais de velocidade, em profundidade, através da tomografia sísmica.

Esta técnica, que basicamente consiste numa cartografia das variações de estrutura do interior da Terra, recorre à observação de um elevado número de sismogramas, comparando os tempos de propagação reais com os tempos calculados teoricamente ($\Delta t = t_{\text{obs}} - t_{\text{theo}}$). As variações de velocidade assim detectadas, relativamente a um modelo de referência (Jeffreys-Bullen, PREM, ou outro), permitem a dedução de modelos tridimensionais da heterogeneidade do interior da Terra, desde a crosta até ao núcleo (Udías, 1999:158).

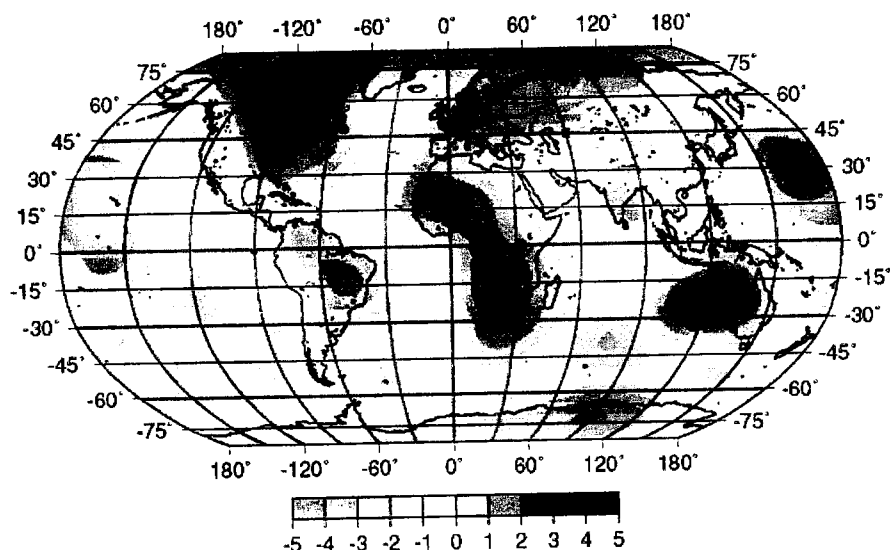
A figura 2.23 ilustra o princípio da análise tomográfica aplicado a uma região A que, neste caso, atrasa a propagação das ondas sísmicas.



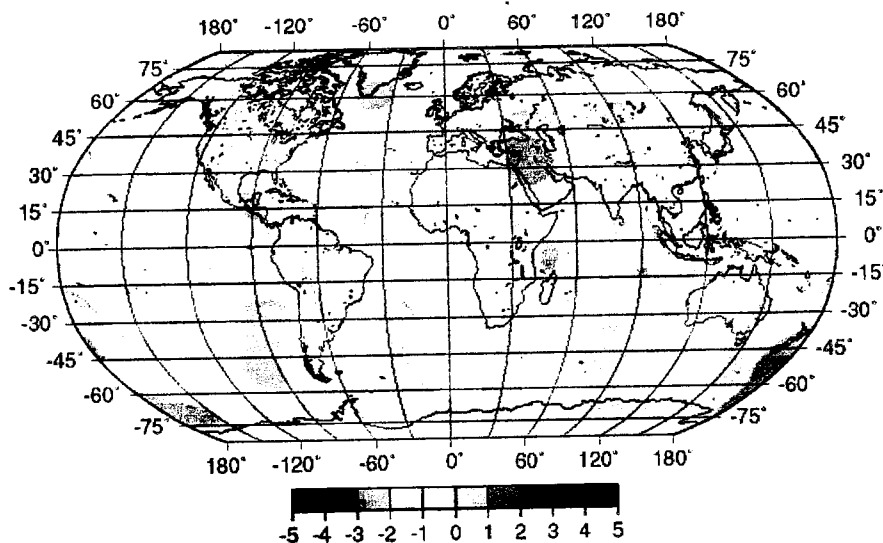
2.31. Princípio da análise tomográfica – o registo das ondas sísmicas nas estações 2, 3 e 4 é posterior ao das estações 1 e 5 (adaptado de Udías, 1999:159).

Nas regiões de elevada temperatura do planeta (zonas tectonicamente activas), espera-se uma diminuição da velocidade de propagação sísmica, enquanto que nas zonas antigas e frias (zonas cratónicas) se espera um aumento (partindo do pressuposto que a única variante é a temperatura).

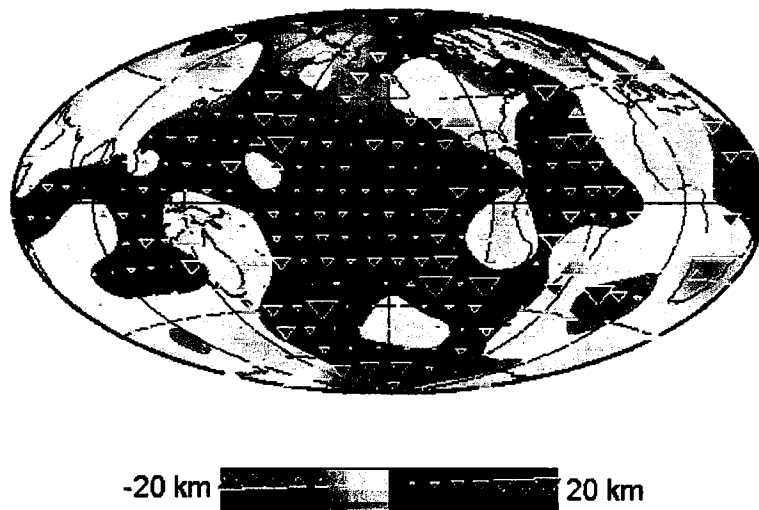
As imagens de tomografia sísmica seguintes evidenciam pormenores da estrutura interna da Terra.



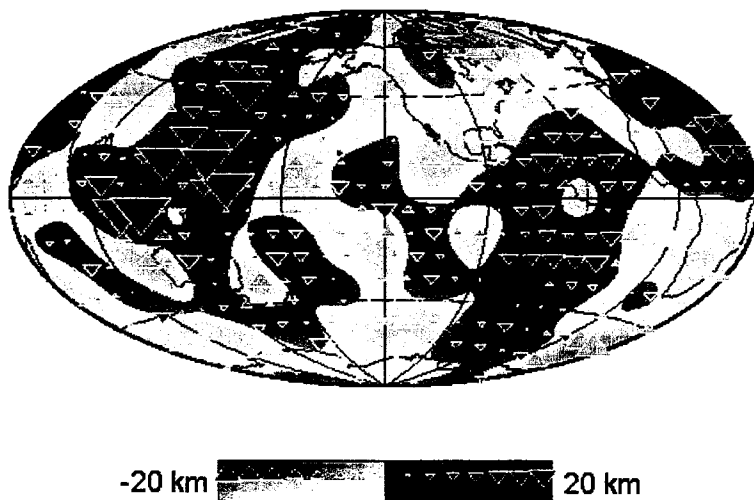
- 2.32. Variação percentual da velocidade de propagação das ondas S, por referência ao modelo PREM, à profundidade de 100 km, segundo Su, Woodward e Dziewonski, 1994. De salientar a correlação com a tectónica superficial (extraído de www.seismology.harvard.edu).



- 2.33. Variação percentual da velocidade de propagação das ondas S, por referência ao modelo PREM, à profundidade de 2880 km, segundo Su, Woodward e Dziewonski, 1994. As variações de velocidade no manto inferior são mais discretas do que no heterogéneo manto superior (extraído de www.seismology.harvard.edu).



2.34. Variação da topografia na descontinuidade 410, por referência ao modelo PREM, segundo Gu, Dziewonski e Agee, 1997 (extraído de www.seismology.harvard.edu).



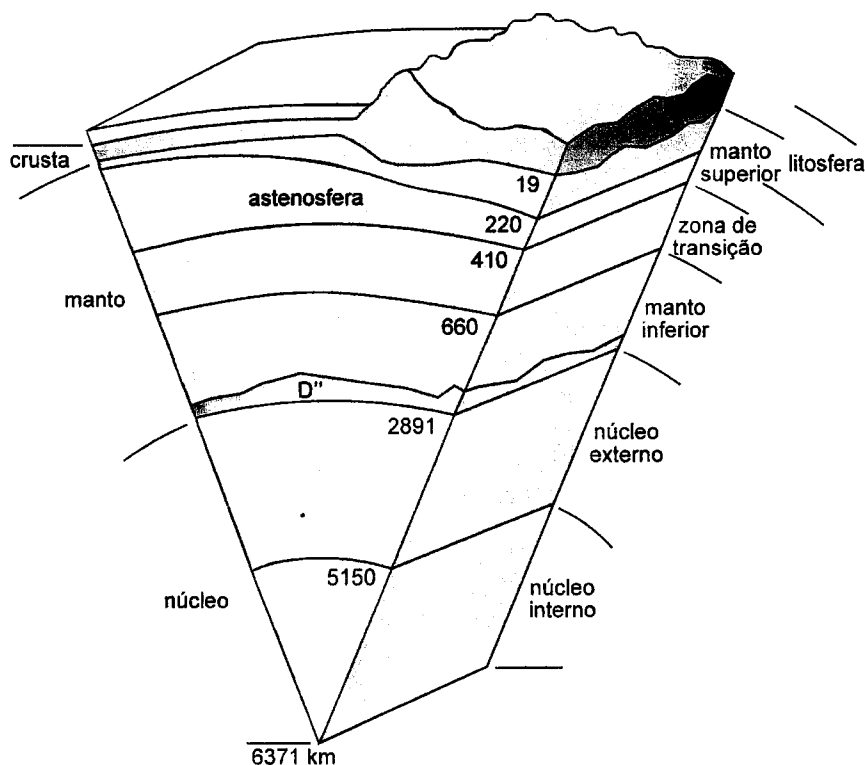
2.35. Variação da topografia na descontinuidade 660, por referência ao modelo PREM, segundo Gu, Dziewonski e Agee, 1997 (extraído de www.seismology.harvard.edu).



2.36. Modelo 3-D da estrutura interna da Terra, segundo Dziewonski *et al.*, 2000 (extraído de www.seismology.harvard.edu).

O apuramento crescente destes modelos tem contribuído para a afirmação, incontestável, da hipótese da estratificação esférica da Terra, sendo os principais estratos:

- a crusta
- o manto
 - manto superior
 - zona de transição
 - manto inferior
- o núcleo externo
- o núcleo interno.



2.37. Esquema gráfico de um modelo teórico da estrutura interna da Terra.

A dinâmica dos modelos do interior da Terra - cuja análise ultrapassa o âmbito desta revisão científica - tem sido, ao longo dos tempos, objecto de estudo de geocientistas, cujos estudos mais recentes, de áreas de investigação diversa (sismologia, mineralogia física, termodinâmica, geodesia e geomagnetismo), parecem apontar para o facto de os movimentos observados à superfície serem dirigidos por um processo, volumoso e profundo, de reciclagem de material geológico; o papel da fronteira dinâmica entre o manto e o núcleo, aparentemente idêntico ao da fronteira crosta-manto, parece ter um papel relevante nesta ideia de reciclagem.

Supõe-se, no enquadramento dos modelos actuais, uma ligação estrutural e dinâmica entre a camada D'' e a superfície, na medida em que parece existir uma correlação entre a tectónica de placas litosféricas e a base do manto. De facto, imagens de tomografia sísmica revelam que algumas das zonas de maior velocidade da camada D'' se localizam debaixo de zonas com geohistória de subducção e que algumas das zonas de menor velocidade de situam sob grandes pontos quentes. Estes contributos da tomografia sísmica aumentam a capacidade explicativa da Teoria da Tectónica de Placas, porquanto permitem leituras do trajecto das rochas, no interior da Terra, entre a subducção e a erupção.

A Terra, na perspectiva da sua dinâmica interna, é, nesta nova compreensão global, um corpo convectivo, com movimentos volumosos e vigorosos de rocha, que percorrem, continuamente, todos os níveis estruturais, situados entre a superfície e o centro terrestre, controlados pela complexidade surpreendente da descontinuidade manto-núcleo, nomeadamente, pela camada D'' (Wyssession, 1995:8).

3. Metodologia

O presente trabalho desenvolveu-se, inicialmente, no sentido de diagnosticar dificuldades de aprendizagem dos alunos na temática curricular “Os Contributos da Sismologia para o Estudo da Estrutura Interna da Terra”, tendo em vista a construção de materiais didácticos. A interposição de um problema não previsto, como descreveremos adiante, levou-nos a adaptar e reorientar esta intenção inicial de investigação.

O estudo suportou-se na análise educacional de dois grupos-turma da Escola Secundária de José Régio, de Vila do Conde, do ano lectivo 1999/2000, estando os seus professores da disciplina de Ciências da Terra e da Vida, em formação inicial, no seu período de estágio pedagógico.

Esta análise foi feita a diferentes níveis: um de acompanhamento da ante-planificação do tema, ao nível da definição dos seus objectivos gerais, e outro de observação das aulas e subsequente reflexão.

Defendendo o modelo de professor problematizador de saberes, organizador de partilha, interacção e reflexão crítica, promotor de debates em torno de situações problema, fomentador da criatividade e envolvimento dos alunos na sua própria aprendizagem (Cachapuz, Praia e Jorge, 2000:4-5), a análise da planificação do processo de ensino/aprendizagem e o acompanhamento da sua implementação na sala de aula, tiveram presente o quadro de referência didáctica desenvolvido por Gil Pérez (1991).

Assim, orientámos a nossa pesquisa no sentido de definir o que os “*professores têm de saber*” (conhecimento) e o que “*têm de saber fazer*” (competências ao nível do processo ensino/aprendizagem), para que os alunos compreendam/aprendam, de modo significativo³⁵, os contributos da sismologia para o conhecimento da estrutura interna da Terra.

³⁵ Na perspectiva do conceito de aprendizagem significativa definida por Ausubel, Novak e Hanesian (1980:23), isto é, aquela que *ocorre quando o processo de aprendizagem implica relacionar, de forma não arbitrária e substantiva (não literal), uma nova informação a outras com as quais o aluno já esteja familiarizado, e quando o aluno adopta uma estratégia para assim proceder.*

Assim, optou-se por um trabalho grupal e cooperativo, no sentido de implementar uma filosofia de trabalho participado/reflexivo/crítico e, sobretudo, por dados experimentais evidenciarem que os resultados deste trabalho se aproximam mais, ao nível das suas análises e propostas, dos resultados da investigação didáctica, do que os do trabalho individual (Gil Pérez, 1991).

Acresce que, neste tipo de trabalho, se introduzem, na construção do processo de ensino/aprendizagem, características da investigação científica (nomeadamente, o reconhecimento das insuficiências cognitivo-didácticas, a necessidade da ampliação contínua de recursos, a modificação de perspectivas,...), conduzindo, eventualmente, a práticas mais criativas e inovadoras.

Esta metodologia de trabalho, em que o professor é elemento activo no processo educativo, constituiu um importante meio de combate ao “ensino do senso comum”, caracterizado pelo pensamento espontâneo (Gil Pérez, 1991). De facto, investigações parecem indiciar que os professores possuem *concepções (alternativas) de ensino*, desprovidas de fundamentos científico-didácticos, tornando-se necessário mudar as concepções tradicionais de formação (Praia, 1999:8).

A opção por um trabalho conjunto com um grupo de professores estagiários, prendeu-se, ainda, com outros aspectos, a saber:

- a sua formação académica (Geologia – Ramo Educacional) e o facto de estarem em formação inicial (estágio pedagógico), o que, na continuidade da disciplina de Didáctica da Geologia, permitiu, também, analisar aspectos da passagem da teoria à prática;
- devido à sua inexperiência, os estagiários não possuem rotinas e revelam “insegurança positiva”, factores que, em nosso entender, impedem a estruturação do pensamento docente espontâneo, obstáculo de uma prática docente de qualidade e inovadora;
- limitar a influência dos preconceitos e atitudes da mestrandia relativamente à matéria em análise, e a dos próprios professores em estágio, dada a sua reduzida experiência profissional.

Na fase de ante-planificação da unidade curricular reuni, duas vezes (18 e 25 de Outubro/99) com os professores estagiários e com a respectiva orientadora, tendo-se

evidenciado que, relativamente ao tema, o grupo manifestava dificuldade em enunciar os contributos da sismologia para o conhecimento da estrutura da Terra.

Desta análise conceptual e da discussão gerada em torno das significações de cada um, tornou-se notória a tendência para planificar o tema de forma descritiva, abordando a sismologia pela sismologia, simplificando o processo de ensino/aprendizagem a formas didácticas pouco estruturadas, reduzindo ao mínimo a interdisciplinaridade implícita na abordagem dos contributos da sismologia para o conhecimento da estrutura interna da Terra; em suma, contornando dificuldades, ainda que de forma não consciente.

E de facto, esta tendência veio a verificar-se – em quinze aulas planificadas (doze horas e trinta minutos), apenas em seis³⁶ se abordaram, de facto, o(s) contributo(s) da sismologia para o conhecimento da estrutura interna da Terra, o que perfaz um total de, aproximadamente, cinco horas.

Acresce que, apesar de na planificação se indicar que a mesma se fundamenta numa perspectiva construtivista, esta reduz-se a um plano intencional, teórico, uma vez que na prática, os pressupostos decorrentes desta perspectiva não se concretizam - as aulas leccionadas pelos professores estagiários foram tendencialmente marcadas pelas perspectivas de Aprendizagem por Transmissão e de Aprendizagem por Descoberta, perspectivas de ensino em regressão, do ponto de vista da investigação didáctica, mas ainda fortemente enraizadas nas práticas lectivas. Estes *modelos de aula*, de natureza empírica, reforçam e perpetuam a tendência natural do aluno para tentar construir os conceitos científicos com as mesmas metodologias com que constrói o seu conhecimento do dia-a-dia (Santos, 1992), segundo aprendizagens meramente mecânicas³⁷.

Ainda numa tentativa de sentido construtivista, foi planificado, pelo Núcleo de Estágio, um *teste diagnóstico* com vista ao levantamento/identificação de algumas ideias erróneas dos alunos sobre o conteúdo científico em estudo; contudo, não se planificou, pelo menos de forma sistemática, o seu tratamento nem se propuseram orientações de actuação didáctica que permitissem, porventura, ultrapassá-las.

³⁶ Na 6ª, em parte da 7ª e nas 11ª, 12ª, 13ª e 14ª aulas (anexos II e III).

³⁷ Segundo Ausubel, Novak e Hanesian (1980:23), aquela que *ocorre se a tarefa consistir de associações puramente arbitrárias [...], quando falta ao aluno o conhecimento prévio relevante necessário para tornar a tarefa potencialmente significativa, e também (independentemente do potencial significativo contido na tarefa) se o aluno adopta uma estratégia apenas para internizá-la de uma forma arbitrária, literal.*

Assim, e ainda nesta primeira fase, deparámo-nos com um “modelo” de formação inicial de professores mais preocupado com critérios de natureza organizacional e administrativa do que com critérios didácticos e pedagógicos.

Era também objectivo destas reuniões preliminares, discutir algumas dificuldades de ordem científica, já identificadas e discutidas noutros contextos (como por exemplo, em aulas do mestrado, envolvendo professores de perfil profissional distinto, mas igualmente inseridos num contexto de formação, o que, em nosso entender, releva da importância da compreensão dos conteúdos científicos em causa e das dificuldades de aprendizagem associadas).

Com estes debates - pensava-se, à partida - condicionar-se-ia a planificação do ensino/aprendizagem, na medida em que a explicitação, pelos professores, dos seus pontos de vista sobre a construção do conhecimento científico em estudo, ajudaria a combater as concepções positivistas e empiristas sobre a natureza da ciência (Mellado Jiménez e Carracedo Gallardo, 1992). Nesta perspectiva, estas dificuldades não se reduziriam a obstáculos de ensino/aprendizagem, mas a pontos de debate, reflexão e desestruturação de concepções erróneas. Porém, as planificações dos professores estagiários vieram a revelar-se omissas relativamente a estes pontos críticos, apesar de previamente discutidos.

Pareceu-nos, assim, que neste, como provavelmente em muitos outros casos, a formação inicial não estimula a investigação/acção na área da docência, incutindo, antes, uma imagem espontânea e ambiental do ensino (Gil Pérez, 1991), em que os professores estagiários tendem a reproduzir práticas educativas, numa lógica tradicional, comportamentalista, universitária e escolar (Praia, 1999:9).

Este ponto crítico, associado a dificuldades dos professores de ordem cognitiva, que desde logo se manifestaram, levaram a que se ponderasse a orientação da linha de investigação, o que veio a acontecer logo após a observação das primeiras aulas.

Na observação directa das aulas³⁸, num total de quinze (Outubro a Dezembro), a investigadora assumiu uma posição não participante, ou seja, sem interacção com o

³⁸ Optou-se pela observação directa das aulas, na medida em que esta metodologia permite (Lüdke e André, 1986):

grupo-turma, no sentido de reduzir ao máximo o efeito da sua presença na sala, *apesar de os ambientes sociais serem relativamente estáveis* (Guba e Lincoln in Lüdke e André, 1986:27).

A fim de justificar a presença de um observador, os professores estagiários explicaram, sumariamente, aos seus alunos que o grupo-turma iria colaborar num trabalho de investigação educacional, que pretendia a identificação de dificuldades de aprendizagem.

As aulas desta unidade lectiva foram gravadas em vídeo, não se tendo procedido, contudo, à sua transcrição, uma vez que não são objectivos desta tese a análise dos perfis dos professores, nem as suas práticas pedagógico-didácticas, razões pelas quais não definimos, *a priori*, categorias de análise de aulas.

Tivemos como finalidade a observação empírica de práticas de sala de aula, centrada no professor, e a recolha de elementos, nomeadamente dados relativos à detecção e identificação de dificuldades de ensino, decorrentes das estratégias e actividades utilizadas pelos professores, bem como da sua formação científica.

De salientar que, dada a natureza qualitativa³⁹ desta investigação, não se pretende generalizar, em termos estatísticos, com base na observação das aulas leccionadas nestas

- uma maior aproximação das perspectivas dos sujeitos em análise, neste caso, os professores estagiários;
- apreender a visão dos professores estagiários do processo de ensino/aprendizagem da temática curricular em análise;
- identificar/"descobrir" aspectos novos do problema em estudo (que, nesta investigação, determinou uma alteração do seu rumo – das dificuldades de aprendizagem dos alunos às dificuldades de aprendizagem dos professores).

39

Investigação qualitativa, na linha metodológica definida por Bogdan e Biklen (1994)	
Características (in Bogdan e Biklen, 1994:47-74)	Metodologia adoptada nesta investigação
- A fonte directa de dados é o meio natural. - O comportamento humano é significativamente influenciado pelo contexto em que ocorre.	A investigadora assistiu às aulas leccionadas por dois estagiários, na Escola Secundária da José Régio; retirou notas e registou as aulas em vídeo.
- A investigação é descritiva. - A realidade é "socialmente construída" (pág. 54).	A reflexão posterior sobre as aulas gravadas e as anotações, constituíram um importante instrumento-chave de análise. As reflexões colectivas descrevem/sintetizam as análises realizadas e apontam relações interpretativas/explicativas.
- Os processos são mais valorizados do que os resultados/produtos. - Pretende a compreensão interpretativa das interacções e comportamentos humanos.	A ideia inicial deste trabalho era analisar dificuldades de aprendizagem dos alunos; porém, logo nos primeiros passos da investigação, emergiram dificuldades dos professores, de raiz científica; estas dificuldades de processo determinaram uma reorientação da investigação, partindo do pressuposto que o desempenho cognitivo dos alunos depende do desempenho cognitivo dos professores.

duas turmas; antes se considera que cada uma constitui, *per se*, um caso⁴⁰. Contudo, as análises feitas podem ser úteis em abordagens de contextos educacionais semelhantes, na medida em que contribuem com fundamentos práticos, enriquecendo o quadro teórico preconizado neste trabalho; isto é, permite-nos concretizar, na prática, o modelo de formação e de actuação de professores que defendemos.

No decurso de cada aula, foi elaborada uma reflexão individual, posteriormente confrontada e discutida com os estagiários, aquando do visionamento das gravações vídeo das aulas (anexo III).

Durante a observação das aulas - visando o diagnóstico das dificuldades de aprendizagem dos alunos, por via do professor, associadas ao ensino/aprendizagem do tema curricular Sismologia/Estrutura Interna da Terra - emergiram dificuldades dos professores que, se nuns casos se manifestam de forma directa no exercício das suas práticas lectivas (ao nível da dificuldade de esclarecimentos a dúvidas colocadas pelos alunos, da área da sismologia e afins), noutros, manifestaram-se de forma indirecta, na medida em que condicionaram a abordagem de questões relevantes no tratamento do tema.

- "O método" científico não existe; as características mais importantes dos procedimentos do investigador é a utilização da mente (pág. 64). - Os dados são analisados de forma indutiva. - As experiências humanas são mediadas pela interpretação. - Para compreender o comportamento é necessário compreender as definições e o processo que está subjacente à construção destas.	Não se pretendeu confirmar ou infirmar hipóteses previamente definidas. O rumo da investigação foi função da recolha de dados e das suas inter-relações, num contexto de análise interpretativa.
- Os significados são vitais na abordagem qualitativa. - Nada é dotado de significado próprio; o significado é atribuído/construído por interacção simbólica (pág. 55). - Analisa o mundo conceptual dos seus sujeitos, com o objectivo de compreender como e quais os significados construídos para os acontecimentos. - A interacção simbólica assume o papel de paradigma conceptual. - Não pretende a criação de teorias, antes a compreensão de processos de construção de significados e descrever em que consistem esses mesmos significados (<i>teorias fundamentadas</i>) (pág. 70).	A opção por um trabalho colectivo, em detrimento do trabalho individual, teve como principal objectivo a recolha de <i>perspectivas participantes</i>, no sentido de esclarecer aspectos da dinâmica interna do processo de ensino/aprendizagem, da unidade curricular em análise, e das dificuldades associadas.

⁴⁰ Tal como o definem Lüdke e André (1986:17) "O estudo de caso é o estudo de *um* caso", sendo que, nesta investigação o caso, numa primeira fase, foi o processo de ensino/aprendizagem da unidade curricular "Sismologia versus Estrutura Interna da Terra" e as dificuldades dos alunos de duas turmas da Escola Secundária José Régio, e, numa segunda fase, por necessidade de reformulação, passou a ser o processo de ensino/aprendizagem da unidade curricular "Sismologia versus Estrutura Interna da Terra" e as dificuldades dos professores de Ciências da Terra e da Vida das referidas turmas.

Supusemos, então, que estas dificuldades manifestadas pelos professores, nas práticas que desenvolveram, com raízes já ao nível da elaboração das suas planificações, possivelmente escondem dificuldades maiores, ao nível dos conceitos científicos que é necessário dominar.

Estas dificuldades – que podem ser subdivididas em duas classes: uma de índole científica e outra de natureza metodológico-didáctica –, no seu conjunto, inviabilizaram, em nosso entender, a concretização dos objectivos programáticos, definidos nos diplomas do Ministério da Educação.

Neste contexto, as intenções de investigação em que assentava o projecto inicial não se verificaram no decurso do seu desenvolvimento – o projecto iniciou-se tendo presente uma componente de aprendizagem dos alunos e a construção de materiais didácticos, porém teve de se adequar a uma componente de formação de professores, nomeadamente ao nível do diagnóstico das suas dificuldades na planificação e concretização do processo de ensino/aprendizagem.

Por esta razão, os casos em estudo deixaram de ser os grupos-turma, para passarem a ser os professores da turma, numa linha metodológica de investigação-acção, que pretendeu a resolução de um problema concreto (no caso, as dificuldades dos professores) identificado no decurso da pesquisa educacional (Cohen e Manion, 1989 *in* Bell, 1997:20)

Passámos então a uma reflexão sobre as causas destas dificuldades, a qual orientou a análise, *a posteriori*, das gravações vídeo das aulas observadas. De entre essas causas, identificámos as seguintes:

- a falta de aprendizagem, sentido estrito, dos conceitos disciplinares e interdisciplinares, relevantes para a compreensão do tema curricular;
- um modelo de professor que planifica as suas actividades recorrendo à informação dos manuais escolares do aluno disponíveis no mercado, e a verbaliza no contexto de sala de aula, apoiado em algumas actividades aplicadas isoladamente, num processo de planificação e construção do ensino/aprendizagem marcadamente individual, do qual decorre
- uma planificação do tema apenas na área disciplinar, conceito a conceito, sem uma leitura interpretativa, prévia, do currículo e das suas implicações conceptuais, disciplinares e interdisciplinares.

A orientação da observação directa das restantes aulas e do visionamento conjunto das gravações vídeo das mesmas, baseou-se, então, nas seguintes hipóteses de trabalho:

- o desempenho cognitivo dos alunos depende do desempenho cognitivo dos professores;
- o processo de ensino/aprendizagem deve ser estruturado do ponto de vista científico (disciplinar e interdisciplinar) e didáctico.

Os dados recolhidos (escritos e videográficos) e o seu tratamento posterior, proporcionaram uma sistematização mais detalhada dos contextos educativos observados, e desvendaram aspectos cruciais do processo de construção de significados conceptuais, por alunos e professores.

De facto, estas reflexões conjuntas (anexo III) constituíram um importante instrumento-chave de análise das dificuldades científico-pedagógicas destes professores, na medida em que permitiram induzir possíveis relações interpretativas e clarificaram aspectos da dinâmica interna do processo de ensino/aprendizagem e das dificuldades associadas, *dinâmica esta que é frequentemente invisível para o observador exterior* (Bogdan e Biklen, 1986).

Acreditamos, ainda, terem constituído um passo importante na definição da formação científica necessária aos professores, porquanto permitiram a delimitação de dúvidas de carácter científico, susceptíveis de dificultar o processo de ensino/aprendizagem e a identificação de conceitos-base, nucleares, porventura estruturantes, disciplinares e interdisciplinares, da unidade temática em estudo.

A natureza interdisciplinar destas dificuldades constituiu um obstáculo ao desenvolvimento desta investigação, dada a necessidade de clarificar conceitos científicos, e os seus significados, de outras áreas disciplinares (nomeadamente, da Física e da Matemática), necessários à intervenção didáctica, no âmbito do processo de ensino/aprendizagem.

Contudo, releva também da importância do conhecimento dos conteúdos científicos na implementação de metodologias investigativas⁴¹, em detrimento das meramente

⁴¹ Metodologias que integrem o estudo de problemas abertos, sempre que possível, com interesse para os alunos, no âmbito da Ciência/Tecnologia/Sociedade/Ambiente, abordados de forma qualitativa em actividades inter e transdisciplinares, em trabalho de grupo e de cooperação inter-grupos, por forma que se

transmissivas, na medida em que o seu domínio e compreensão permitem “o salto qualitativo” para a sua utilização didáctica, porquanto induzem à concretização da transposição didáctica, isto é, à importação do conhecimento científico de áreas da produção científica para contextos educativos.

Em síntese, estas reflexões conjuntas induziram novas reflexões, de grau de complexidade crescente, permitindo a compreensão, no âmbito do ensino/aprendizagem deste tema curricular, do papel do professor na sala de aula, das suas condicionantes cognitivas e das opções didácticas que delas decorrem.

Posteriormente, estas reflexões foram confrontadas com outro grupo de reflexão - constituído por elementos dos Núcleos de Estágio Penafiel 1, Penafiel 2 e Almeida Garrett (Vila Nova de Gaia), do ano lectivo 2000/2001, num total de doze professores (dez estagiários e dois orientadores) do 11º Grupo B (Biologia/Geologia) - com o objectivo de validar as dificuldades, científicas e metodológicas, diagnosticadas com o grupo de trabalho inicial.

Nesta perspectiva, com este grupo pretendeu-se, não a formação de professores, antes:

- a reflexão sobre a formação científica que é necessária aos professores, evidenciando o carácter transdisciplinar e instrumental da sismologia face à estrutura interna da Terra;
- a aferição dos conceitos-chave, disciplinares e interdisciplinares, para a compreensão da temática curricular em análise;
- a exploração de possibilidades de apropriação didáctica desta área científica (a sismologia).

Como síntese deste trabalho, apresentamos uma proposta de carta de exploração, disciplinar e interdisciplinar, do tema “Contributos da Sismologia para o Conhecimento da Estrutura Interna da Terra”, que representa, pensamos, uma importante ferramenta didáctica na preparação científica dos professores de geociências, bem como um possível modelo de professor, suportado pelas análises empíricas efectuadas.

SUGESTÕES DE ACTIVIDADES E/OU COMENTÁRIOS

- É importante referir que, quer o estudo da planetologia, quer do vulcanismo, quer da sismologia, deve ser perspectivado enquanto contributo diversificado para o conhecimento da Estrutura interna da Terra e não como conteúdo específico a desenvolver.
- [...]
- Relativamente à sismologia, é igualmente de salientar a importância da análise de gráficos e esquemas interpretativos do modo como as diversas ondas se propagam através das diferentes camadas.
- Relativamente ao modelo da estrutura da Terra, será de toda a conveniência que sejam os alunos a construí-lo com base nos dados recolhidos, contrastando-o, após discussão em grande grupo, com o modelo que é proposto.
- Será de referir a importância dos modelos na ciência, para a compreensão do não observável directamente, sendo contudo de salientar que eles constituem apenas interpretações da realidade.
- [...]

No âmbito desta investigação educacional não explorámos o currículo na sua totalidade, dado prosseguirmos a compreensão dos contributos da sismologia para a definição de modelos da estrutura interna da Terra. Assim, não abordámos, por exemplo, as causas de sismos, segundo os objectivos discriminados no quadro 4.I, dado que as mesmas, em nosso entender, remetem já para aspectos da dinâmica desta estrutura, numa análise conceptualmente mais abrangente e que inclui outros contributos, além da sismologia.

O Núcleo Significativo de Objectivos/Conteúdos, assinalado a *bold* no quadro 4.I, é, segundo o documento de Orientação de Gestão de Programas, exequível no tempo previsto e nos moldes de ensino/aprendizagem preconizados (ME/DES, 1996:2-5). Para o estudo da Estrutura da Terra, o programa prevê um total de vinte e cinco aulas, a repartir pelos contributos da planetologia, da sismologia e do vulcanismo.

A planificação efectuada pelo Núcleo de Estágio reservou, para esta unidade programática, quinze aulas, ou seja, doze horas e trinta minutos. Contudo, apenas cerca de cinco horas foram utilizadas, efectivamente, na discussão dos contributos da sismologia para o estudo da estrutura interna da Terra, pelo que, a percentagem de tempo sujeito a observação e a reflexão, marcadamente significativas, foi reduzido, sendo ainda que o tempo de “aula útil” (isto é, de tempo aplicado em processo de ensino/aprendizagem) é, obviamente, inferior a cinco horas.

A análise reflexiva das aulas, individual e conjunta, permitiu-nos identificar dificuldades no desenvolvimento das práticas lectivas, na sala de aula, dificuldades essas que, porventura, se constituíram como entraves ao processo de ensino/aprendizagem.

Discriminamos, de seguida, essas dificuldades, de base cognitiva, sendo que, as representadas a *bold* são, cumulativamente, dos professores e dos alunos:

1. distinção dos conceitos de intensidade e de magnitude sísmicas;
2. conceitos de placa tectónica/litosférica, de falha e de movimento de falha;
3. **propagação de energia sísmica;**
4. **conceito de onda(s) sísmica(s);**
5. **conceito de onda directa;**
6. **conceito de raio sísmico;**
7. **reflexão e a refacção no interior da Terra e seus contributos para o conhecimento da sua estrutura interna;**
8. **zona de sombra.**

As duas primeiras dificuldades, por serem apenas dificuldades dos alunos, não serão alvo de estudo⁴²; centrar-nos-emos, de agora em diante, nas dificuldades 3 a 8, numa perspectiva de enquadramento científico-didáctico.

Os conceitos científicos subjacentes às dificuldades identificadas, de forma mais ou menos directa, estão interligados e são fundamentais à compreensão do contributo da sismologia para o esboço de um modelo do interior da Terra. Porventura, alguns deles poderão ser considerados conceitos estruturantes deste tema curricular.

Segundo Gagliardi (1988), conceitos estruturantes são aqueles que transformam o sistema cognitivo do indivíduo, permitindo-lhe que, de forma coerente, adquira novos conhecimentos, função da construção de novos significados ou da modificação dos anteriores, por reconstrução de significados antigos.

A apropriação deste conceito – conceito estruturante – é em sentido lato, já que na investigação empírica que realizámos, não desenvolvemos pressupostos preconizados pelo autor para a sua definição em sentido estrito, como por exemplo, a análise histórica das

⁴² As dificuldades dos alunos associadas a estes conceitos revelaram-se na medida em que foi por eles referido, com frequência, que o limite das placas continentais coincide com o limite dos continentes e que todas as falhas são visíveis à superfície terrestre. Relativamente à distinção entre intensidade e magnitude sísmicas, as dificuldades residiram sobretudo, na não clarificação dos critérios subjacentes (qualitativo, no primeiro caso, e quantitativo, no segundo). Nestes casos, as dificuldades dos professores traduziram-se, ao nível da sala de aula, em dificuldades didácticas.

teorias científicas actuais com o objectivo de identificar os conceitos que permitiram a sua transformação e evolução (Gagliardi, 1988).

O facto de os professores dominarem de forma débil as representações, e as implicações, dos conceitos acima indicados, permite que estes se constituam como obstáculos epistemológicos ao ensino e aprendizagem do tema curricular.

A identificação de (potenciais) obstáculos epistemológicos é fundamental para o ensino de qualquer ciência, enquanto meio de construção de conhecimento, na medida em que permite centrar o processo de ensino e aprendizagem no desenvolvimento da capacidade de aprender; nesta perspectiva, a Escola deixa de ser “o local onde se aprende ciência” para passar a ser “o local onde se transforma o sistema cognitivo para poder aprender ciência” (Gagliardi, 1988).

Nesta linha de pensamento e na tentativa de trabalhar, com professores, estes conceitos, de forma sustentada, tentámos hierarquizá-los, tendo estabelecido como critério a sua abrangência científico/pedagógica (hierarquia de ordem).

Assim, definimos como conceitos de ordem superior aqueles que nos parecem constituir o núcleo duro da compreensão da relação sismologia/estrutura interna da Terra; os conceitos de ordem inferior sendo, também eles relevantes para a compreensão do tema, decorrem dos anteriores (quadro 4.II).

Quadro 4.II. Hierarquização de ordem de conceitos relevantes para a compreensão dos contributos da Sismologia para o estudo da estrutura interna da Terra.

Conceitos de ordem superior	Conceitos de ordem inferior
▪ Propagação de energia sísmica ▪ Reflexão e refacção da energia sísmica	▪ Onda(s) sísmica(s) ▪ Onda directa ▪ Raio sísmico ▪ Zona de sombra

De seguida, procederemos à discussão científico-didáctica das representações necessárias à compreensão formativa desta hierarquia de conceitos, em articulação com o *curriculum*

oficial. Para tal, suportar-nos-emos na observação de aulas efectuada (reflexões individual e conjunta, reproduzidas no anexo III).

O tema curricular em análise, ao abordar os sismos - ainda que não o seu estudo *per se*, antes os seus contributos para o conhecimento da estrutura interna da Terra - motiva os alunos, porquanto o seu impacto na sociedade é, infelizmente e em muitos casos, catastrófico. O aproveitamento ponderado desta motivação é desejável, podendo-se, por via dela, articular objectivos de natureza técnica (protecção civil) e atitudinal (solidariedade social, espírito de entreajuda,...) com objectivos curriculares.

Assim, na 3ª aula e na exploração do conceito de sismo, o debate centrou-se exclusivamente em torno das causas de sismos, não se tendo problematizado o sismo como fonte de energia e, consequentemente, as relações “energia sísmica – propagação da energia sísmica – ondas sísmicas – estudo da estrutura da Terra”.

Esta situação, de modo análogo, repetiu-se em torno do conceito de magnitude (escala de Richter), onde se explorou mais o carácter apocalíptico dos sismos de elevada magnitude do que a quantificação da energia sísmica envolvida, o que permitiria a discussão da amplitude das ondas formadas *versus* a sua capacidade de atravessar, e assim ‘radiografar’, a Terra de uma lado ao outro (8ª aula).

Na 6ª aula abordaram-se os diversos tipos de ondas sísmicas (P, S, L e R) e o seu modo de propagação, sem antes se ter clarificado o conceito de onda – propagação de energia, no vácuo ou num meio material (gasoso, sólido ou líquido), de um ponto para a outro, sem que haja transporte de matéria (Alonso e Finn, 1972:237).

Esta abordagem veio a revelar-se de elevado grau de abstracção para estes alunos, na medida em que tem subjacente a representação de transferência de estados vibratórios de partículas microscópicas, constituintes da matéria rochosa, matéria esta que os alunos identificam, frequentemente, como inanimada (“natureza morta”) e, portanto, sem dinâmica interna. Esta ideia de matéria rochosa dificulta-lhes o entendimento e as implicações da relação “propagação de energia sísmica - formação de ondas”, sendo importante que os professores tenham consciência da existência desta limitação, no desenvolvimento do processo de ensino/aprendizagem.

A nível didáctico-metodológico, a utilização do conceito de onda, sem o quadro de referência científico, dificulta, aos próprios professores, a compreensão do contributo das

ondas para o conhecimento da estrutura interna da Terra. Concretizando: perante a afirmação “as ondas sísmicas são ondas elásticas” muitas interrogações se colocam, nomeadamente, “o que é uma onda elástica?”, “por que razão as ondas sísmicas são elásticas?”, “que outros tipos de ondas existem?”, “o que os distingue?”, ...

A resposta a estas questões remete-nos para a área disciplinar da Física - classificação de ondas - que não foi contemplada na preparação e planificação prévias do tema. Uma revisão bibliográfica científica, ainda que sumária, como a que a seguir apresentamos, teria facilitado a compreensão do importante contributo do estudo das ondas sísmicas para o estudo da estrutura interna da Terra (Quadro 4.III).

Quadro 4.III. Revisão bibliográfica de classificações de ondas.

CLASSIFICAÇÃO DAS ONDAS
<i>Independentemente da sua natureza, as ondas transmitem energia de um ponto a outro.</i>
1. Quanto à sua origem: 1.1. Ondas elásticas (mecânicas) São originadas pela deformação de uma região de um meio elástico, transmitida sucessivamente de um ponto a outro. As partículas do meio vibram somente ao redor de suas posições de equilíbrio, sem se deslocarem como um todo. Para se propagarem necessitam de um meio material elástico - qualquer material sólido, líquido ou gasoso que tende a preservar o seu comprimento, forma e volume contra a actuação de forças externas. Nestes meios, à perturbação/deformação das partículas, opõe-se uma força restauradora proporcional, dentro dos limites de elasticidade da mesma, no sentido de restabelecer as suas posições originais após a remoção das forças externas. A força restauradora é característica do material e tem origem nas forças de ligação entre seus átomos ou moléculas individuais. Exemplos: ondas da água, ondas sonoras, ondas sísmicas. 1.2. Ondas electromagnéticas (não mecânicas) São originadas por campos eléctricos e campos magnéticos variáveis. As ondas electromagnéticas não necessitam de um meio material para se propagarem, razão pela qual também se propagam no vácuo, à velocidade da luz ($c \cong 3,0 \times 10^8$ m/s).

Exemplos: ondas de rádio, microondas, infravermelhos, luz visível, ultravioletas, ondas de raio X, ondas de raio γ .

2. Quanto à direcção de vibração

2.1. Longitudinais

A direcção de vibração é paralela à direcção de propagação.

Exemplo: ondas sísmicas internas P.

2.2. Transversais

A direcção de vibração é perpendicular à direcção de propagação.

Exemplo: ondas sísmicas internas S e superficiais L e R.

2.3. Mistas

A onda tem componentes longitudinais e transversais.

3. Quanto à dimensão

3.1. Unidimensionais

A frente de onda é um ponto.

Exemplo: propagação de uma perturbação numa corda.

3.2. Bidimensionais

A frente de onda é circular ou plana.

Exemplo: Ondas na superfície da água.

3.3. Tridimensionais ou esféricas

A frente de onda é uma superfície esférica.

Exemplo: ondas sonoras, ondas sísmicas.

Oldham apropriou-se do conceito de onda, descrevendo o comportamento das ondas sísmicas em função dos princípios da Teoria das Ondas, tratando a Terra como um corpo elástico (Olroyd, 1996:234). O estudo das ondas, do ponto de vista geofísico, não é tarefa fácil uma vez que a bibliografia técnica não clarifica estes conceitos – antes os aplica – utilizando, em muitos casos, uma linguagem ininteligível ou de difícil compreensão, para muitos dos professores de geociências.

A ênfase dada pelos professores estagiários ao estudo das ondas sísmicas (6ª e 7ª aulas e revisão extensa na 9ª aula) foi, porventura, excessivamente expositiva e transmissiva, sendo que, neste contexto de ensino/aprendizagem, os alunos desenvolvem, sobretudo, a

sua capacidade descritiva, de base memorial, o que condiciona a compreensão significativa, no caso, do contributo das propriedades das ondas sísmicas para o conhecimento do interior da Terra.

Relativamente ao conceito de onda, os alunos enumeraram com facilidade as características dos diferentes tipos estudados (9ª aula), nomeadamente, a sua velocidade e respectiva fórmula de cálculo, o seu modo de propagação e a sua amplitude; porém, manifestaram dificuldades na leitura interpretativa destas características, não conseguindo, por exemplo, explicar por que razão as ondas P se propagam em todos os meios e as S apenas em meio sólido, o que indicia, que os alunos não estabeleceram correlações cognitivas entre o modo de propagação das ondas e os conceitos de incompressibilidade (κ), rigidez (G) e de densidade (ρ) dos materiais do interior da Terra. No desenvolvimento das actividades lectivas, e concretamente na 6ª aula, definiram-se estas variáveis *per se*, não se tendo abordado as relações funcionais entre estas, a caracterização de diferentes tipos de rochas e as propriedades do meio em que se propagam.

Da reflexão conjunta, em torno do conceito de onda sísmica, resultaram ainda outras dúvidas - como por exemplo, a formação das ondas superficiais L e R e a tridimensionalidade das ondas sísmicas -, o que, de novo, remeteu para a necessidade de um maior aprofundamento ao nível da preparação teórica do professor, no âmbito da geofísica.

As ondas Love formam-se por processos de interferência construtiva de fases resultantes de múltiplas reflexões, na superfície da Terra, de ondas SH; isto é, estas ondas podem ser consideradas como um somatório de ondas internas SH (Shearer, 1999:144), mutuamente coerentes.

Na superfície da Terra, ondas incidentes SH apenas produzem ondas reflectidas SH; porém, ondas incidentes P e SV reflectem-se em ondas P e SV (fig. 2.11), pelo que, as ondas incidentes e as fases resultantes de reflexões múltiplas na superfície terrestre não se somam construtivamente para formar ondas de superfície (Shearer, 1999:148), dado não serem coerentes entre si. Assim, a formação de ondas Rayleigh resulta de formas de

interferência mais complexas - cuja descrição físico-matemática consideramos excessiva no âmbito deste trabalho - de ondas P e SV⁴³.

Para a compreensão da formação das ondas superficiais há, então, que mobilizar conceitos da área disciplinar da Física, nomeadamente, o conceito de interferência. Segundo Saxby (1994:553), quando duas frentes de onda coerentes, com a mesma frequência se sobrepõem, as suas amplitudes somam-se algebricamente em cada ponto; se a amplitude da onda resultante for maior do que a amplitude das ondas iniciais, a interferência diz-se construtiva; se for menor, destrutiva. Este princípio aplica-se a todas as ondas (elásticas e electromagnéticas).

Quanto à dimensão das ondas sísmicas verifica-se que, apesar de tridimensionais, na bibliografia em geral, e por uma questão de simplificação da sua representação gráfica, são descritas como ondas planas e representadas, em regra, pelos seus raios sísmicos. Esta redução da tridimensionalidade das ondas exige, aos professores, referenciais de âmbito conteúdal e, aos alunos, capacidade de abstracção teórica, o que, no caso dos últimos, se pode constituir como um obstáculo ao ensino/aprendizagem, se porventura as suas representações espaciais não lhes permitirem esta maleabilidade conceptual.

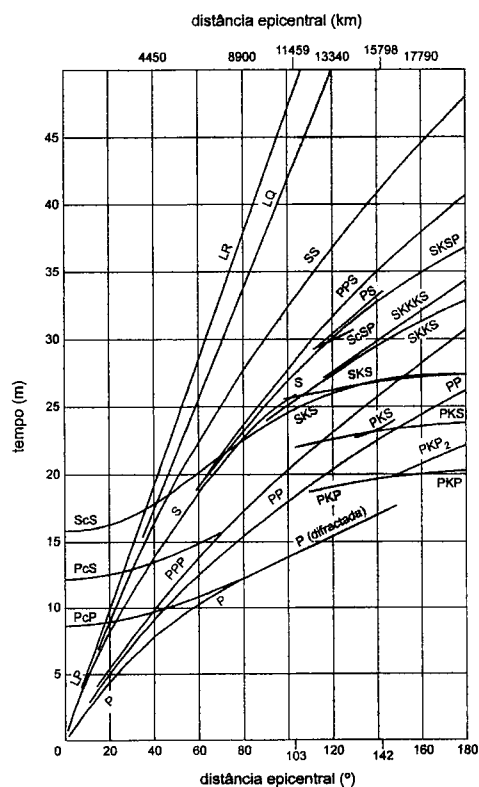
Neste contexto, a análise de propagação da energia sísmica, em planos bidimensionais, dificulta a aplicação e instrumentalização deste contributo na definição da estrutura tridimensional do interior da Terra, nomeadamente na definição de um modelo em camadas concêntricas, em detrimento de um modelo de sobreposição de camadas horizontais.

O conceito de onda directa, *versus* os conceitos de onda reflectida e de onda refractada, é também fonte de dúvidas e de constrangimentos didácticos, nomeadamente:

- na discussão e interpretação da existência de uma *zona de sombra* no interior da Terra para as ondas P e S, como “corolário” da lei de Snell;
- na análise dos diagramas de velocidade, no interior da Terra, das ondas sísmicas P e S;
- na definição de descontinuidades no interior da Terra e cálculo das respectivas profundidades.

⁴³ Embora não relacionadas com superfícies livres, na interface entre meios com características elásticas diferentes, formam-se ondas com características idênticas às das ondas L e R - ondas de Stoneley (Udías, 1999:183).

De facto, a referência, frequente, à zona de sombra como uma zona onde não se registam quaisquer ondas sísmicas remete para a incompreensão dos conceitos de onda directa, reflectida e refractada. A leitura interpretativa de gráficos de curvas tempo-distância ilustra, de modo claro, a possibilidade de registo de ondas reflectidas, refractadas e difractadas na zona de sombra (fig. 4.1).



4.1. Curva tempo-distância de um sismo de foco superficial. O sombreado representa a zona de sombra desse sismo.

A lei de Snell é um importante contributo para a explicação do comportamento das ondas sísmicas no interior da Terra, nomeadamente, na relação trajectória-velocidade, na medida em que relaciona os ângulos de incidência e de refacção/reflexão e a velocidade do movimento da onda no respectivo meio.

O desvio das trajectórias das ondas internas, por reflexão e/ou refacção segundo o padrão definido pela lei de Snell, imposto pela presença de uma interface estrutural - a CMB - e pelas características elásticas do manto e do núcleo, determina a existência, para cada sismo, de uma zona de sombra para as ondas internas directas, a uma distância constante do foco.

Assim sendo, tornou-se difícil, na disciplina de Ciências da Terra e da Vida-10º ano de escolaridade, o ensino e a compreensão significativa do conceito de *zona de sombra*, dado os professores estagiários desconhecerem a lei de Snell e esta não integrar o núcleo significativo de conceitos/objectivos definidos no documento de orientações de gestão do programa homologado. Talvez por esta razão, os próprios professores refiram, com frequência, a dificuldade em planificar o ensino/aprendizagem deste conceito e os manuais escolares o refiram de modo descritivo e “discreto”.

Relativamente à definição dos limites da *zona de sombra* das ondas P e S directas, a bibliografia não é unânime, sendo que este facto poderá ser consequência, pensamos, de mecanismos de difracção das ondas sísmicas no contacto com a superfície de descontinuidade CMB.

A difracção é um fenómeno característico de qualquer movimento ondulatório, observável em processos de transmissão e de reflexão; consiste na deformação da onda incidente, no contacto com um obstáculo ou descontinuidade (Alonso e Finn, 1972:470), manifestando-se pelo desvio ou partição da onda, em diferentes direcções (Bernardo, 1995). Devido a este fenómeno, a difracção conduz a uma dispersão, segundo várias direcções, dos raios incidentes, pelo que o registo de ondas sísmicas à superfície pode ocorrer segundo um leque estreito de ângulos, o que determina pequenas variações na definição dos limites da zona de sombra. Não nos podemos também esquecer, que o estudo da estrutura interna da Terra é feito por referência a um modelo - teórico, elástico e isotrópico -, quando, na verdade, ela é imperfeitamente elástica e apresenta anisotropia sísmica radial e lateral (Borges, 2000:7).

Quanto aos diagramas de velocidade das ondas sísmicas, em profundidade (figs. 2.29 e 2.30), a interpretação da variação da velocidade das ondas P é consensual; o mesmo não se verifica com a interpretação da velocidade das ondas S, dada a utilização indiferenciada dos conceitos de onda directa, reflectida e refractada. A ausência de ondas S directas para além de determinada distância angular do epicentro (103º, 104º, 105º, 110º,..., consoante a referência bibliográfica) não significa a ausência de propagação de ondas S no núcleo interno, como por exemplo da fase sísmica PKJKP, cujo registo, foi já reclamado por Okal e Cansi, em 1998, como referimos no capítulo 2.

A contribuir para esta falta de consenso, ao nível da discussão entre professores, está a bibliografia de âmbito generalista, que não é unânime nos gráficos apresentados: nuns a

propagação das ondas S é representada no núcleo interno (Dercourt e Paquet, 1986; Telles Antunes, 1991) e noutros, não (Wyllie, 1976; Chericoff e Fox, 1997; Murck e Skinner, 1999).

Um dos contributos da sismologia - através da análise dos registos sismográficos - para o estudo da estrutura da Terra é a possibilidade do cálculo da espessura (h) de camadas/estruturas e, portanto, da profundidade das descontinuidades que as separam. Contudo, este cálculo implica, ao seu nível mais elementar, conhecimentos de refração/reflexão, de refração crítica, dos Princípios de Fermat e de Huygens e de cálculo trigonométrico, como exemplificámos no capítulo 2, para um dos métodos de prospecção sísmica. Porém, os conceitos de reflexão e de refração foram abordados apenas ao nível da sua definição (11ª aula), não tendo sido exploradas as suas implicações conceptuais e experimentais no conhecimento da estrutura interna da Terra, porquanto não foram discutidas as (inter)relações físico-matemáticas “incidência/reflexão/refração - (variação da) velocidade de onda - propriedades dos materiais (κ , μ e ρ) - superfície de descontinuidade”.

A inexistência de articulação entre estes conceitos, dificultou - e, porventura, inviabilizou - na 12ª aula, a interpretação e compreensão dos factos observados por Mohorovicic, Gutenberg (13ª aula) e Lehmann (14ª aula).

Na 12ª aula, alguns alunos questionaram como se sabem as profundidades das diversas camadas da Terra, dada a impossibilidade de medição directa. Sem o quadro de referência teórico consistente, a resposta do professor resumiu-se, naturalmente, à existência de estudos científicos que apontam para os valores apresentados pelos modelos analisados.

Neste contexto, porventura o mais representativo das situações de ensino/aprendizagem da temática “Sismologia/Estrutura Interna da Terra”, o modelo da estrutura da Terra, surge como uma sucessão de camadas a profundidades precisas, cujos valores, contudo, diferem de fonte científica para fonte científica - e portanto, de manual para manual -, situação naturalmente justificável, no âmbito de processos de construção de ciência, dado que as soluções encontradas se baseiam em modelos físico-matemáticos, onde pressupostas descontinuidades são testadas, face aos tempos de chegada de diferentes ondas sísmicas refractadas, reflectidas e difractadas (Borges, 2000:7).

Acresce que o modelo de Terra é, frequentemente, apresentado como um produto acabado, e que no desenvolvimento do processo de ensino/aprendizagem, e nos materiais de apoio, nomeadamente, nos manuais escolares, apenas são referidos, modo geral, os contributos de investigadores já desaparecidos, como Mohorovicic, Gutenberg e Lehmann (nomes cuja importância para a sismologia é capital, porquanto definiram a estrutura base ainda hoje aceite), não se procedendo à análise dos contributos de investigadores da actualidade, como Dziewonski, Anderson, Kennett, Engdahl, entre outros.

Em nosso entender, mais importante, neste nível de escolaridade, do que aprender a ordem de sucessão e as profundidades dos diversos níveis estruturais do interior da Terra, é aprender a explicar a razão da sua existência.

Esta opção obriga a uma exploração do carácter instrumental da sismologia, e dos seus contributos, nomeadamente:

- na identificação das camadas que constituem o interior da Terra;
- no cálculo da sua espessura;
- na dedução do seu estado físico e das suas propriedades elásticas;
- na definição de uma estrutura em camadas geoconcêntricas;
- e na especificação da estrutura de cada camada (tomografia sísmica).

Impõe-se, então, definir um compromisso entre a produção científica e a didáctica, por forma a adequar a complexidade desta abordagem ao desenvolvimento cognitivo de alunos do 10º ano de escolaridade.

4.2. Delimitação das áreas de intervenção

O desenvolvimento curricular proposto pelo documento de Orientação de Gestão de Programas assenta nos seguintes princípios orientadores (ME/DES, 1996:1-2):

- paradigma construtivista, por referência a um aluno activo que, participando no processo de aprendizagem, construa o seu próprio conhecimento;
- utilização de metodologias investigativas (entendida no sentido de pesquisa e não de carácter meramente demonstrativo), que envolvam a compreensão dos factos,

princípios e teorias, de modo a possibilitarem a compreensão real das questões estudadas mediante aprendizagens significativas.

No âmbito das metodologias investigativas, defendidas nos documentos oficiais do Ministério da Educação, o processo de ensino/aprendizagem deve, assim, centrar-se mais na vertente experimental da sismologia e menos na sismologia *per se*.

Contudo, aprendizagens significativas das implicações deste(s) contributo(s), implicam a mobilização de conhecimentos de outras áreas disciplinares, sobretudo da Física e da Matemática (Quadro 4.IV).

Quadro 4.IV. Conceitos interdisciplinares relevantes para a compreensão do tema curricular em análise.

IMPLICAÇÕES CONCEPTUAIS DO TEMA	
“CONTRIBUTOS DA SISMOLOGIA PARA O ESTUDO DA ESTRUTURA INTERNA DA TERRA”	
ÁREA DISCIPLINAR - FÍSICA	ÁREA DISCIPLINAR - MATEMÁTICA
Conceito de onda Classificação das ondas Interferência de ondas Reflexão, refração e difracção Onda directa, reflectida, refractada e difractada Lei de Snell Incidência crítica / refração crítica Princípios de Fermat e de Huygens	Trigonometria do triângulo rectângulo Razões trigonométricas de ângulos agudos (seno, co-seno e tangente) Relações entre as razões trigonométricas $\text{sen}^2\alpha + \text{cos}^2\alpha = 1$ $\text{tg}\alpha = \text{sena}/\text{cosa}$...

A formação científica, disciplinar a interdisciplinar, dos professores (em detrimento da formação espartilhada), no âmbito dos diversos temas curriculares, potencia a compreensão globalizante dos mesmos e a construção de modelos de referência teóricos, enriquecendo o ensino/aprendizagem, na medida em que acreditamos que a capacidade de simplificação dos conceitos envolvidos é tanto maior, quanto maior for a solidez da sua formação.

A implementação de metodologias investigativas, de raiz construtivista, indutoras de aprendizagens significativa, exige aos alunos, deste nível de escolaridade, a capacidade de

aplicar e utilizar, de modo suficientemente diferenciado e visando a construção significativa do seu conhecimento, pelo menos, os conceitos de onda elástica e de propagação das ondas elásticas (Física), bem como dos conceitos de seno, de co-seno e de tangente (razões trigonométricas) e das relações entre eles.

Da capacidade de mobilização destes conhecimentos depende a compreensão, por exemplo, da lei de Snell e das suas implicações experimentais, nomeadamente, o cálculo da velocidade das ondas sísmicas em camadas do interior da Terra, o cálculo da espessura das camadas em que se propagam e, por conseguinte, o modelo da estrutura interna da Terra.

Estas implicações conceptuais do tema curricular Contributos da Sismologia/Estrutura Interna da Terra, encontram-se, aparentemente, em consonância com o desenvolvimento curricular das áreas científicas implícitas, como a Física e a Matemática, porquanto são abordados os referidos conceitos chave, ao nível do 8º e 9º anos de escolaridade (quadro 4.V).

O estudo das ondas e da sua caracterização, é abordado no âmbito do estudo do som; a apropriação deste processo de ensino/aprendizagem é válida, dado que as ondas sísmicas, tal como as sonoras, são ondas elásticas.

Quadro 4.V. Extracto dos conteúdos curriculares dos programas homologados e em vigor das disciplinas de Ciências Físico-Químicas e de Matemática.

PROGRAMAS OFICIAIS DO 3º CICLO DO ENSINO BÁSICO (<i>in</i> publicações do DEB/INCM)		
Ano de escolaridade	Disciplina	Conteúdos
8º	Ciências Físico-Químicas	<i>O som e a audição</i> <i>Caracterização do som como fenómeno ondulatório que necessita de suporte material para a sua propagação (ondas longitudinais e ondas transversais).</i> <i>Reflexão do som.</i> <i>Refracção do som.</i> <i>Velocidade de propagação do som nos sólidos, líquidos e gases.</i> <i>Distâncias percorridas pelo som nos sólidos, líquidos e gases.</i> <i>Distâncias percorridas pelo som, função da velocidade e do tempo de propagação – a equação $v = d/t$.</i> [...]

9º	Matemática	<i>Trigonometria do triângulo rectângulo</i> <i>Razões trigonométricas de ângulos agudos</i> <i>Seno</i> <i>Co-seno</i> <i>Tangente</i> <i>Relações entre as razões trigonométricas</i> $\text{sen}^2 \alpha + \text{cos}^2 \alpha = 1$ $\text{tg} \alpha = \text{sen} \alpha / \text{cos} \alpha$ [...]
----	------------	--

A mobilização destes conceitos, para a compreensão do tema “Contributos da sismologia para o conhecimento da estrutura interna da Terra” requer aprendizagens significativas dos mesmos, por parte dos alunos e, em primeira instância, dos professores.

Relativamente aos alunos, supomos, que o grau de abstracção teórica destes conceitos, exigido no currículo deste nível de escolaridade (10º), poderá ser desproporcional relativamente à sua abordagem nos níveis de escolaridade do 3º ciclo do ensino básico. Ou seja, os modelos em análise são mais complexos, com linguagens mais abstractas e formais.

Quanto aos professores, impõe-se uma preparação científica mais reflectida e estruturada dos temas a planificar, isto é, que envolva uma leitura interpretativa do currículo e que promova a mobilização e/ou aprendizagem dos conceitos, disciplinares e interdisciplinares, necessários à construção de um quadro teórico de referência. No presente trabalho, a sistematização dos contributos da sismologia para o conhecimento do interior da Terra (capítulo 2), foi o resultado de um percurso longo de investigação teórica da produção científica, na medida em que envolveu, pelos menos, a já referida mobilização transdisciplinar, integrada e correlacionada, de conceitos (no caso da Física, porventura aprendidos de forma mecânica) e a capacidade de extrapolar representações bidimensionais para a sua tridimensionalidade.

Assim, a preparação didáctica e metodológica desta unidade temática, ao seu nível mais simples, requer um longo tempo de preparação incompatível, na maior parte dos casos, quer com a motivação dos professores, quer com o paradigma de trabalho docente vigente, o que nos remete para a necessidade premente de uma redefinição do trabalho do grupo

disciplinar (intradisciplinar) e do grupo turma (inter e transdisciplinar), em cada nível de escolaridade e por ciclos de ensino.

Delimitam-se aqui dois potenciais obstáculos ao processo de ensino/aprendizagem, segundo metodologias investigativas, dos contributos da sismologia para o conhecimento da estrutura interna da Terra:

- por um lado, a dificuldade, senão mesmo a impossibilidade, de tratar conceitos chave desta temática, com alunos cuja diferenciação cognitiva se encontra, porventura, em níveis de desenvolvimento inferiores aos necessários;
- por outro lado, a exigência na preparação científica deste tema e a consequente dificuldade dos professores em delimitar o compromisso entre os elementos da produção científica e os elementos da acção didáctica.

Relativamente ao primeiro obstáculo - que, em última análise se pode traduzir numa falta de pré-requisitos conceptuais -, formas de o combater poderão ser:

- rentabilizar os, recentemente criados, departamentos curriculares, articulando as suas planificações, vertical e transversalmente;
- incluir, como primeiro ponto do processo de ensino/aprendizagem, o diagnóstico dos conhecimentos que o aluno possui, nomeadamente dos pré-requisitos já identificados, da área da Física e da Matemática.

Quanto ao segundo obstáculo importa, antes de esboçar formas de combate, tentar inferir causas, tendo por referência o caso analisado.

Uma parece-nos ser a interdisciplinaridade implícita no tema “Sismologia/Estrutura Interna da Terra”. Uma outra parece-nos ser o défice de aprendizagem, sentido estrito, dos próprios professores, dos conteúdos, disciplinares e transdisciplinares, relevantes para a compreensão global do tema, nomeadamente do(s) contributo(s) da sismologia para a definição de um modelo da estrutura da Terra.

A conjugação destas duas causas parece ser a base do manancial de dificuldades dos professores estagiários, com que fomos confrontados, quer na sala de aula, quer nas reflexões conjuntas posteriores.

Os professores não necessitam de ser especialistas na área geofísica da sismologia; precisam, porém, de dominar conceitos base, estruturantes, que lhes permitam organizar um pensar a sismologia na sua vertente instrumental, ultrapassando a sua dimensão descritiva, o que, ao nível da sala de aula, se traduzirá, potencialmente, numa compreensão dos contributos da sismologia para o conhecimento da estrutura interna da Terra, em detrimento do enunciado desses mesmos contributos. Aliás, sendo a Terra o objecto de estudo da Geologia, este tema é central nesta área disciplinar. Por outro lado, a integração nos currículos universitários de estudos deste tema, na especialidade e em detrimento de estudos na generalidade, contribuiria, em nosso entender, para confrontar os modelos descritivos da Terra com os modelos físico-matemáticos que os suportam, valorizando, à partida, a formação científica dos futuros professores.

No sentido de validar os pressupostos até aqui enunciados, recorreremos a um segundo grupo de reflexão, com o qual se pretendeu ainda discutir modelos de formação científica dos professores, existentes e a implementar, e explorar possibilidades de apropriação didáctica de conhecimento científico sismológico; em suma, reflectir sobre práticas de passagem da cultura de investigação (científica) à cultura de acção (didáctica).

A problematização em torno da formação científica que se pretendeu aqui, foi a adequada à prática educativa; isto é, pretendeu-se debater questões de fundo, relevantes para formação de professores de geologia nesta área curricular, nomeadamente “por que razão a sismologia permite definir um modelo de estrutura interna da Terra?” e “quais são, afinal, os seus contributos?”.

A leccionação deste tema curricular, numa perspectiva de pesquisa, que envolva necessariamente aprendizagens significativas de conceitos de natureza disciplinar e interdisciplinar, exige, aos professores, uma preparação científica mais profunda. De facto, sendo a sismologia um método indirecto de estudo da estrutura interna da Terra, os modelos baseados nos seus dados experimentais carecem de evidência científica, suportando-se, antes, em modelos físico-matemáticos, cuja compreensão exige quadros de referência teórica mais complexos.

Assim, com esta formação, pretende-se, mais do que uma formação de nível curricular (que em nosso entender seria uma perspectiva de formação demasiado redutora), implementar o paradigma do professor investigador, que é capaz de interpretar o currículo,

na sua vertente conteúdal, de uma forma mais actual, e tendo em vista a sua apropriação didáctica. Ou seja, este modelo de professor, mais reflexivo e estruturado do ponto de vista científico, terá, porventura, mais facilidade na apropriação didáctica do conhecimento das várias áreas disciplinares.

Para a prossecução desta intenção, definimos objectivos de orientação do trabalho com o segundo grupo de reflexão, a saber:

- destacar a interdependência entre as vertentes científica, didáctica e educativa, por via do aprofundamento científico;
- evidenciar conceitos implícitos no *curriculum* em vigor, disciplinares e transdisciplinares - possíveis elementos organizadores de estratégias de ensino/aprendizagem construtivistas -, incentivando a cultura de investigação didáctica;
- evidenciar que parte das dificuldades detectadas no decurso da investigação empírica (observação das aulas) são de natureza curricular, incentivando a cultura de investigação científica;
- promover o modelo de professor investigador, no âmbito de uma formação contínua “Universidade→Estágio Pedagógico→Vida Activa”, fomentadora de metodologias de ensino/aprendizagem mais estruturadas, científica e didacticamente .

Por sua vez, e subordinando o trabalho de grupo aos objectivos acima enunciados, pretendeu-se o levantamento de pistas para a resolução prática do problema “qual a abordagem, científica e didáctica, do tema *Sismologia/Estrutura Interna da Terra* para que os alunos o aprendam significativamente?”.

Na organização e desenvolvimento dos trabalhos tivemos, ainda, em consideração, os seguintes pressupostos que, paralelamente, condicionam a actividade do professor:

- as exigências didácticas, hoje, colocam questões de aprendizagem que uma pedagogia transmissiva não colocava; defende-se, actualmente, que deve ser o aluno a construir o seu próprio conhecimento, num processo activo/investigativo de ensino/aprendizagem, o que implica que os saberes dos professores têm de ser mais aprofundados, dado o maior grau de exigência destas metodologias investigativas;

- na temática em análise, a utilização destas metodologias aumenta o grau de abstracção do processo de ensino/aprendizagem, dado a maior complexidade dos modelos implícitos, o que dificulta ao aluno a construção do seu conhecimento;
- os professores, enquanto profissionais da educação, enquadram-se, genericamente, em modelos mais transmissivos do que investigativos.

Integraram este segundo grupo de reflexão, os professores estagiários dos Núcleos de Estágio de Almeida Garrett – Vila Nova de Gaia, Penafiel 1 e Penafiel 2 e, ainda, dois dos seus Professores Orientadores, num total de doze elementos.

As suas formações académicas variam entre a Geologia - Ramo Educacional (um elemento), Biologia - Ramo Educacional (dois elementos) e Biologia - Geologia (nove elementos).

Leccionaram o tema curricular em análise, os Núcleos de Penafiel 1 e 2. O Núcleo de Almeida Garrett abordou-o no âmbito de 7º ano de escolaridade; considerámos, contudo, relevante a sua participação neste grupo, dado acreditarmos que só uma preparação científica sólida nesta área permite a execução e implementação de planificações simples, adequadas didacticamente, a níveis de escolaridade mais baixos.

A reflexão formativa formação decorreu na Faculdade de Ciências - Universidade do Porto, nos dias 25 e 26 de Junho de 2001, num total aproximado de doze horas.

Genericamente, a reflexão comportou seis fases, de acordo com a seguinte planificação:

GRUPO DE REFLEXÃO PARA A FORMAÇÃO		
<i>Dialéctica entre a formação científica, a formação didáctica e o processo de ensino/aprendizagem</i>		
1. A PRÁTICA DOS PROFESSORES		
Planificação		Resultados da discussão
“Leitura” do currículo, tendo em vista a articulação entre os conceitos e os objectivos curriculares.	Acetato 1 ⁴⁴	Os professores do grupo não contemplaram, pelo menos de forma intencional, esta “fase inicial” na preparação do processo ensino/aprendizagem.
Discutir as suas planificações do tema (Anexo IV), nomeadamente ao nível dos conceitos leccionados e das opções metodológicas (expositivas/transmissivas <i>versus</i> investigativas/participadas).	Acetato 2	O Núcleo de Estágio de Penafiel 1 planificou o tema globalmente, tendo privilegiado a sua contextualização; não planificou o tema aula a aula. O Núcleo de Estágio de Penafiel 2 elaborou uma planificação anual do programa de 10º ano; não planificou o tema aula a aula. Os conteúdos foram leccionados <i>per se</i>, de modo basicamente descritivo, com recurso à resolução de alguns exercícios (determinação do epicentro, cálculo da magnitude de sismos,...), não sendo explícita a sua correlação com o objectivo geral do tema. No caso do núcleo de Almeida Garrett (que não leccionou 10º, mas 7º ano de escolaridade), a planificação foi concertada com os restantes professores do 11º B, mas numa perspectiva unidisciplinar.
Registar, em síntese, os contributos da sismologia para o conhecimento do interior da Terra e para a definição de modelos teóricos da sua estrutura, enumerados pelo grupo.		Os professores não enunciaram de forma clara, organizada e sistemática, contributos da sismologia para o conhecimento da estrutura interna da Terra.
Reflectir, de modo crítico, o processo de ensino/aprendizagem desenvolvido com		A organização do processo de ensino/aprendizagem não se subordinou ao objectivo geral do tema – a

⁴⁴ As matrizes dos acetatos de apoio a esta planificação encontram-se no anexo VI.

as planificações apresentadas, tendo por referência o modo de implementação proposto pelo Ministério da Educação.		sismologia como instrumento de estudo da estrutura interna da Terra.
---	--	--

2. AS DIFICULDADES DOS PROFESSORES		
Planificação		Resultados da discussão
Sistematizar as (eventuais) dificuldades, científicas e didácticas, manifestadas e referidas pelo grupo.	Acetato 3	As dificuldades conceptuais não se manifestaram porquanto as dúvidas não se colocaram.
Comparar as suas dificuldades científicas com as identificadas no primeiro grupo.		Contudo, quando questionados sobre os pontos críticos da formação científica identificados no primeiro grupo, verificou-se uma incidência nas mesmas dificuldades, nomeadamente dificuldade em: - compreender modelos da Terra como modelos físico-matemáticos (o grupo descreveu o modelo base de Terra aceite, mas não o fundamentou); - classificar as ondas sísmicas (elementos compararam a sua propagação à propagação das ondas luminosas); - atribuir às ondas sísmicas a característica da tridimensionalidade (chegaram mesmo a referir o raio sísmico como sinónimo de onda sísmica); - explicar em que medida as características das ondas sísmicas permitem o conhecimento e a definição de modelos da estrutura interna da Terra (perante dois esquemas, um em camadas concêntricas e outro em camadas sobrepostas, o grupo identificou qual o que representa a estrutura interna da Terra, mas não refutou, com base em dados científicos da sismologia/ondas sísmicas, o modelo de sobreposição; refutou-o apenas com base em conhecimentos empíricos); - definir onda sísmica directa; - definir zona de sombra (alguns elementos

		definiram-na como zona onde não se registam quaisquer ondas sísmicas); - explicar a diversidade de limites da zona de sombra, nas diferentes fontes bibliográficas (elementos referiram que talvez se devesse a gralhas); - fundamentar a propagação, ou não, de ondas S no núcleo interno; - demonstrar como se calcula a velocidade de propagação das ondas sísmicas no interior da Terra (o grupo desconhecia a lei de Snell); - demonstrar como se calcula a profundidade das discontinuidades; - explicar a formação das ondas sísmicas superficiais. O contexto de formação científico-didáctico deste grupo é análogo ao do primeiro, apesar de o segundo grupo contar com a experiência profissional decorrente da concretização do estágio (o trabalho realizado com o primeiro grupo efectuou-se no início do seu estágio.
--	--	--

3. A FORMAÇÃO CIENTÍFICA - QUADRO DE REFERÊNCIA GERAL		
Planificação		Resultados da discussão
Apresentar modelos teóricos da estrutura interna da Terra (PREM e ak135).	Ac. 4 a 8	O grupo desconhecia a denominação dos modelos da estrutura interna da Terra apresentados.
Enunciar os parâmetros de construção destes modelos (da análise de sismogramas ao cálculo da velocidade das fases sísmicas no interior da Terra e da espessura das camadas).		De igual modo, o grupo desconhecia os passos fundamentais da construção destes modelos.

Sintetizar os contributos da sismologia para o conhecimento do interior da Terra e para a definição de modelos teóricos da sua estrutura, com base na sismologia “natural” (grandes sismos e oscilações livres) e na sismologia experimental (métodos da reflexão e da refacção sísmica, tomografia sísmica), nomeadamente ao nível: - da identificação diferentes níveis estruturais no interior da Terra; - do cálculo da espessura dos diferentes níveis estruturais; - do cálculo da velocidade de propagação das ondas sísmicas internas, nos diferentes níveis estruturais; - da especificação da estrutura dos diferentes níveis.	Ac. 9 a 12	Neste espaço, as tentativas de envolvimento do grupo na discussão foi frustrada. Os professores estavam mais interessados num módulo compacto de formação e na transcrição, se possível na íntegra, dos acetatos que iam sendo introduzidos.
--	------------	---

4. A FORMAÇÃO CIENTÍFICA - INTERPRETAÇÃO DO CURRÍCULO		
Planificação		Resultados da discussão
Levantamento das concepções a trabalhar, no âmbito da formação científica de professores, disciplinar e interdisciplinar, em articulação com o currículo (“o que têm os professores de saber”).	Acetato 13	A reflexão efectuada até este ponto, permitiu ao grupo colaborar, de modo mais estruturado, na definição das implicações conceptuais, disciplinares e interdisciplinares, do tema curricular.
Discutir conceitos-chave, disciplinares e interdisciplinares, articulando a sua	Ac. 14 a 16 CD ⁴⁵	A discussão em torno de conceitos relevantes para a compreensão da sismologia enquanto instrumento de

⁴⁵ Animação, tridimensional, do modo de propagação das ondas sísmicas P, S, L e R (anexo VII.1).

exploração com a compreensão dos contributos da Sismologia para o conhecimento da Estrutura Interna da Terra. Analisar as representações conceptuais dos elementos do grupo, relativas a estes conceitos-chave.	Ac. 17 e 18 CD ⁴⁶ Ac. 19 a 26 CD ⁴⁷ Ac. 27 a 36	estudo da estrutura da Terra, foi, consensualmente, considerada uma mais valia para as planificações futuras deste tema curricular, a realizar por estes professores.
--	---	---

5. A FORMAÇÃO DIDÁCTICA		
Planificação		Resultados da discussão
Elaborar, em grupo, propostas de exploração do tema “Os contributos da Sismologia para o conhecimento da estrutura interna da Terra”, para preparação do professor.		Verifica-se, mesmo após a reflexão produzida em torno dos contributos da Sismologia para o conhecimento da estrutura interna da Terra, que, as propostas de exploração do tema são marcadamente disciplinares e simplistas (anexo V). De salientar que o tempo de reflexão não foi suficiente, naturalmente, para uma interiorização significativa das dificuldades conceptuais associadas ao estudo dos contributos da sismologia para o conhecimento da estrutura interna da Terra.
Os objectivos curriculares <i>versus</i> as metodologias e estratégias.		As planificações (anexo IV) são omissas, ou pouco especificadas, relativamente às metodologias e estratégias utilizadas. Tal como no primeiro grupo: – o tema é planificado conceito a conceito; – o discurso é cognitivista, construtivista e significativo mas a descrição da prática parece apontar para opções empíricas/behavioristas, isto

⁴⁶ Ilustração, bidimensional, da formação de ondas sísmicas directas, reflectidas e transmitidas (anexo VII.2) e da refacção crítica (anexo VII.3).

⁴⁷ Animação realista da propagação de ondas S, no manto, a diferentes profundidades, com registo simultâneo de sismogramas, a diferentes distâncias do foco (anexo VII.4).

		é, o ensino centra-se nos conteúdos, as discussões geram-se em torno do professor e a observação e resolução de exercícios têm especial destaque.
--	--	--

6. AVALIAÇÃO		
Planificação		Resultados da discussão
Síntese e avaliação do trabalho de grupo.		Na opinião dos professores recém formados e dos próprios orientadores de estágio, a reflexão efectuada foi importante e condicionará posteriores abordagens ao tema curricular, nomeadamente ao nível da formação científica necessária à sua preparação. As questões levantadas, quer de índole científica, quer de índole didáctica, não se lhes tinham ainda colocado, pelo menos de forma tão estruturada, por falta de tempos e espaços para reflexões conjuntas sobre dificuldades do processo de ensino/aprendizagem, por via do modelo de professor (ainda) marcadamente transmissivo, e de uma estrutura escolar (ainda) de cariz fortemente administrativo-burocrático. O modelo de professor mais adequado às exigências que actualmente se impõem ao Ensino/Educação, que actua segundo um <i>método didáctico</i>, contempla, pelo menos: - a leitura do currículo, ao nível dos conteúdos/conceitos, dos objectivos e de estratégias/metodologias de E/A; - a definição da formação científica necessária ao professor, para a planificação do processo de ensino/aprendizagem, e, finalmente - a planificação curricular.

Como acima referimos, as propostas de exploração do tema, apresentadas pelos elementos deste grupo (anexo V), ainda não evidenciam as relações interdisciplinares implícitas no tema e as relações disciplinares apontadas não reflectem a discussão fomentada, ou que se pretendeu fomentar, sendo, mesmo, pouco estruturadas, do ponto de vista científico-didáctico.

Neste contexto, a (auto)formação contínua dos professores deverá ser um processo de empenho pessoal, progressivo e reflexivo, e que não se pode resumir a acções circunscritas no tempo, periodicamente.

Assim, e como síntese da investigação educativa realizada, apresentamos, no final deste capítulo, uma proposta de carta de exploração curricular do tema, disciplinar e interdisciplinar, destinada a professores, no âmbito da sua preparação científica.

A construção desta carta teve por referência o levantamento efectuado, ao longo deste trabalho, dos conceitos explícitos e implícitos no *curriculum* (quadro 4.VI).

Quadro 4.VI. Conceitos a trabalhar pelos professores, no âmbito da sua formação científica.

“Estrutura da Terra – contributos para o seu conhecimento / a Sismologia”	
Conceitos do <i>curriculum</i>	Conceitos e competências conceptuais implícitos no <i>curriculum</i>
Ondas longitudinais Ondas transversais Ondas superficiais	Energia sísmica. Propagação de energia sísmica. Formação de ondas sísmicas. Classificação das ondas sísmicas. Interferência construtiva.
Raio sísmico	Frente de onda. Grafismo das ondas sísmicas (tridimensional → bidimensional).
Zona de sombra	Reflexão e refacção das ondas P e S – lei de Snell. Onda sísmica directa, reflectida e refractada. Difracção das ondas P e S. Fases sísmicas.
Sismo	Acumulação de energia (elástica, química, gravitacional) no interior da Terra.
Sismograma	Curva tempo-distância (t-x). Identificação, na curva t-x, das ondas directas, reflectidas e

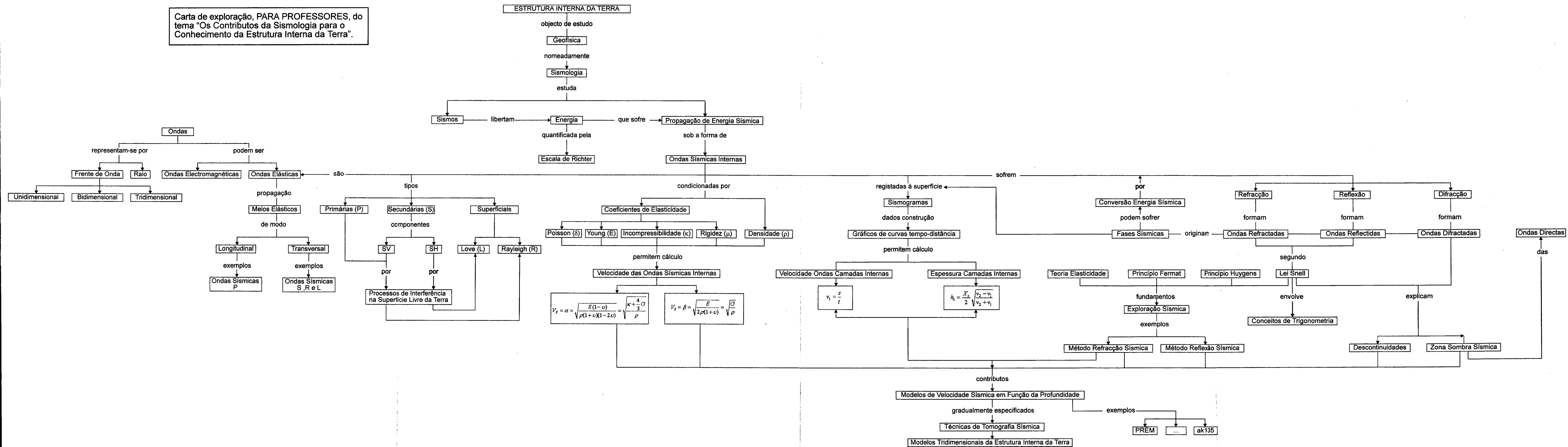
<i>Escala de Richter</i> <i>Terramoto, Marmoto, Raz de maré,</i> <i>Fenómenos pré-monitórios</i> <i>Descontinuidade de Gutenberg</i> <i>Descontinuidade de Moho</i> <i>Crosta</i> <i>Manto</i> <i>Núcleo externo</i> <i>Núcleo interno</i>	refractadas. Determinação da quantidade de energia libertada no foco. Cálculo da velocidade de propagação sísmica nas camadas internas da Terra. Cálculo da espessura das camadas internas da Terra. Conceitos interdisciplinares – <u>Física</u> Propagação de energia Onda Classificação das ondas Interferência de ondas Reflexão, refração e difracção Onda directa, reflectida, refractada e difractada Lei de Snell Incidência crítica / refração crítica Princípios de Fermat e de Huygens Conceitos interdisciplinares – <u>Matemática</u> Trigonometria do triângulo rectângulo Razões trigonométricas de ângulos agudos (seno, co-seno e tangente) Relações entre as razões trigonométricas $\text{sen}^2\alpha + \text{cos}^2\alpha = 1$ $\text{tg}\alpha = \text{sen}\alpha / \text{cos}\alpha$
--	---

Com esta carta de exploração não se pretendeu o estabelecimento exaustivo de todas as inter-relações conceptuais; aliás, aí reside parte importante do seu potencial didáctico - o aprofundamento dos conceitos indicados, mormente a sua aprendizagem, permitirá o desenvolvimento de outras conexões lógicas, ampliando a capacidade explicativa do quadro de referência teórica em (re)construção.

A reflexão produzida com estes professores, no âmbito deste trabalho e em torno de dificuldades de natureza científico/didáctica, poderá induzir (dado o empenho e colaboração que os professores envolvidos neste trabalho manifestaram) novas reflexões sobre o papel do professor, o seu método de trabalho e a sua capacidade de intervenção na

construção do conhecimento do aluno, assumindo como compromisso que as premissas “inovar para formar” e “formar para inovar” se encontram dialecticamente ligadas pela investigação (Cachapuz, 1993 *in* Praia, 1999:12)

Carta de exploração, PARA PROFESSORES, do tema "Os Contributos da Sismologia para o Conhecimento da Estrutura Interna da Terra".



5. Conclusões / Implicações Educacionais / Estudos Futuros

A investigação educacional desenvolvida no âmbito deste trabalho, sendo de natureza qualitativa, não tem, obviamente, como objectivo final a generalização estatística. Pretende, sim, delimitar elementos relevantes, ao nível das análises efectuadas e das reflexões produzidas, susceptíveis de se constituírem como elementos de referência e/ou de fundamentação em contextos educacionais semelhantes.

Assim, a reflexão produzida permitiu-nos configurar práticas de formação (excessivamente individualizada) e de acção de professores estagiários (marcadamente transmissivas), as quais remetem para a necessidade de as adequar às orientações metodológicas das actuais filosofias educativas e perspectivas de ensino/aprendizagem, defendidas nos diplomas oficiais do Ministério da Educação em vigor e a implementar em 2002/2003, no âmbito da nova Reforma Curricular.

A Escola transmissiva era coerente com a ambiência em que se inseria – social cultural, tecnológica,...; hoje, pelos mesmos motivos, revela-se insuficiente!

Na nova era da comunicação universal, as informações mais rigorosas e actualizadas são colocadas ao dispor da humanidade, muitas vezes, em tempo real. A livre circulação de imagens e de informação, ao abolir as distâncias, molda a sociedade da globalização, que não corresponderá a nenhum modelo do passado.

Assim, e na Escola actual, o ensino/aprendizagem não pode, didacticamente, ser pensado na óptica de modelos disciplinarmente transmissivos. Deverá, antes, ser perspectivado segundo modelos investigativos, de natureza construtivista, em que o professor não é um mero transmissor/reprodutor do conhecimento científico, mas sim um investigador da produção científica, nas suas implicações disciplinares e interdisciplinares, tecnicamente (melhor) preparado e motivado para envolver os alunos nos desafios colocados por um mundo em rápida transformação.

Contudo, e função das análises que efectuámos, parece haver um desfasamento entre estas orientações e as práticas ao nível da sala de aula.

Os modelos investigativos, ao nível da sua implementação e construção, são mais exigentes do ponto de vista científico, o que nos remete para a importância da preparação do professor neste domínio.

Os casos analisados e submetidos a reflexão, individual e conjunta, fornecem elementos para um modelo de (re)estruturação do trabalho do professor, numa fase inicial, ainda anterior à planificação do processo de ensino/aprendizagem.

Os contextos educativos observados (1º grupo de reflexão) e descritos (2º grupo de reflexão) remetem-nos para quadros simplificados de implementação do currículo que, em nosso entender, ao nível do trabalho do professor, se reduzem às fases terminais de uma possível perspectiva metodológica que propomos, mais abrangente, envolvendo as seguintes fases:

- 1ª fase - formação ao nível da componente científica;
- 2ª fase - apropriação didáctica do conhecimento científico;
- 3ª fase - planificação curricular articulada, disciplinar e interdisciplinarmente, com o objectivo geral do programa;
- 4ª fase - construção de materiais didácticos, em consonância com a(s) metodologia(s) adoptada(s);
- 5ª fase - implementação, na sala de aula do processo de ensino/aprendizagem;
- 6ª fase - avaliação do processo de ensino/aprendizagem.

No âmbito desta pesquisa educacional, centrámos-nos apenas na primeira fase, que consideramos determinante no processo educativo, porquanto alicerça, cientificamente, as estratégias de ensino do professor e a sua capacidade de inovação educacional. Na sala de aula, este potencial científico poderá, ainda, constituir-se como uma mais-valia na orientação do ensino/aprendizagem.

Neste sentido, a formação científica dos professores assume-se como um factor condicionante, positivo, das suas práticas didáctico-pedagógicas, dado interferir:

- na dimensão do *saber*, na medida em que a apropriação de conhecimento é um instrumento capaz de ajudar os professores a penetrarem na lógica interna do pensamento científico, clarificando a compreensão de conceitos;
- na dimensão do *saber fazer*, isto é, no desenvolvimento de atitudes não dogmáticas face ao conhecimento científico e ao seu modo de construção, em resultado de um desenvolvimento pessoal do professor;

- na dimensão do *saber ser*, na medida em que aumenta as aptidões do professor na organização do processo de ensino/aprendizagem e, conseqüentemente, na ajuda ao desenvolvimento dos outros.

Sabendo e sabendo ser, o professor estará mais habilitado no *saber fazer*, estabelecendo a ponte entre as dicotomias “professor instrutor – professor educador” e “aluno objecto de aprendizagem – aluno pessoa”.

Assim, e como resultados, apresentamos pistas/linhas de orientação metodológica do trabalho do professor, naquela que consideramos ser a 1ª fase a desenvolver (formação ao nível da componente científica), nomeadamente:

- leitura interpretativa do currículo, ao nível dos conceitos e das metodologias e estratégias de ensino/aprendizagem propostos;
- levantamento, articulado, dos conceitos disciplinares e interdisciplinares explícitos e implícitos no currículo;
- elaboração de uma carta de exploração do tema, visando a formação/preparação do professor;
- formação científica disciplinar e interdisciplinar, permanente, num perfil de professor-investigador;
- cruzamento das implicações conceptuais do currículo com os conhecimentos dos alunos (aferir os pré-requisitos necessários à compreensão da temática);
- reorganização/apuramento da carta de exploração do tema, em concordância com o objectivo geral do tema curricular.

A orientação metodológica do trabalho do professor, em detrimento de uma orientação intuitiva, permitir-lhe-á desenvolver a sua própria investigação em educação.

Por outro lado, uma formação sólida no âmbito da produção do conhecimento científico, desenvolve, no professor, sentido analítico e crítico, o que lhe permite organizar e orientar, de forma mais estruturada, o ensino/aprendizagem, bem como problematizar saberes dos alunos.

Permite-lhe, ainda, no âmbito de abordagens qualitativas de situações-problema, segundo metodologias investigativas, estabelecer critérios de selecção e hierarquização das fontes de informação utilizadas pelos alunos, nomeadamente das disponíveis na *Internet*.

A interdisciplinaridade do tema curricular analisado remete para a necessidade do trabalho do professor, pelo mesmos nesta primeira fase, se desenvolver, preferencialmente, em equipas pluridisciplinares.

O domínio articulado dos conceitos científicos, disciplinares e interdisciplinares, facilitará ao professor, já na 2ª fase (apropriação didáctica do conhecimento científico), a importação do conhecimento científico para o contexto educacional. Esta apropriação didáctica, deve assentar num compromisso entre o núcleo conceitos definidos como estruturantes do tema curricular e os conteúdos programáticos, sob pena de reduzir o processo de ensino/aprendizagem à transmissão do conhecimento acumulado pelo professor que, pela sua complexidade ou especificidade, não é compreendido pelo aluno.

Depois de delimitados e planificados os conceitos a trabalhar com os alunos, impõe-se a construção de materiais didácticos, construídos por forma a promoverem a construções significativas. Por exemplo, a simulação das representações subjacentes aos conceitos-chave e modelos desta unidade curricular (por meios informáticos) ao permitir o acesso a um mundo intermédio entre o mundo *abstracto* das representações e o mundo *concreto* da realidade - o mundo *abscreto* -, possibilitaria uma melhor visualização das várias representações dessa mesma realidade (Hebenstreit *in* Neto e Valente, 1991:66).

Neste sentido, urge a investigação didáctica nesta área, uma vez que, nos casos analisados e descritos, os materiais didácticos utilizados incidiam, em regra, na resolução de exercícios, de forma mais ou menos orientada, e/ou na análise e tentativa de compreensão dos passos de investigação dos cientistas (anexos II e IV).

Sendo a actividade do aluno, na sala de aula, diferente da actividade científica (Gagliardi, 1988:293), a construção destes materiais, enquanto verdadeiros instrumentos de aprendizagem, devem ter em conta, pelo menos, que (Pérez, 1993):

- quem aprende constrói significados;
- a compreensão pressupõe o estabelecimento de relações;
- toda a aprendizagem depende de conhecimentos prévios.

Assim, as propostas de actividades devem estruturar-se, científica e didacticamente, por forma a combater a sua construção espontânea, em que os fragmentos informativos introduzidos, porque isolados, são rapidamente esquecidos, tornando-se inacessíveis à memória.

E, finalmente, impõe-se a necessidade de avaliar o processo de ensino/aprendizagem, ao nível do trabalho do professor - dificuldades sentidas, identificação das suas causas, ... -, à semelhança do trabalho realizado com o primeiro grupo de reflexão, aquando do visionamento das gravações vídeo das aulas. Esta avaliação, de carácter sistemático, deve ter como principal objectivo regular as práticas metodológico-pedagógicas e orientar as actividades de todos os intervenientes no processo educativo, contrariando a tendência corrente de apenas avaliar o aluno, de forma geralmente performativa, mediante a realização periódica de provas.

A viabilidade desta perspectiva metodológica do trabalho do professor tem implicações, pelos menos, ao nível da organização escolar e dos recursos humanos.

A primeira passa pela reorganização e rentabilização - prática e não apenas teórica -, dos espaços de trabalho de professores, nomeadamente, do grupo disciplinar, do departamento curricular e do conselho de turma, visando a articulação curricular e conteúdal, por um lado, e a formação disciplinar e interdisciplinar, por outro. Neste sentido, a “autonomia” *versus* “trabalho isolado do professor” seria substituído por “participação colectiva” *versus* “trabalho integrado dos professores”. A morosidade, e a eventual complexidade dos conceitos, da formação reflexiva nas diversas áreas curriculares não pode ser nunca, acreditamos, um processo individual, no dia-a-dia do professor, sob pena de ser abandonado. Deverá ser criada e disponibilizada formação, em que cada professor se possa constituir como pólo dinamizador de formação no seu grupo/departamento disciplinar, e na Escola.

Ao nível dos recursos humanos, impõe-se a implementação do modelo do professor investigador, enquanto professor capaz de promover uma formação contínua que valoriza as actividades de auto-formação participada e de formação mútua, alicerçada na “reflexão na prática” e “sobre a prática”, através de dinâmicas de investigação-acção e de investigação-formação (Nóvoa, 1992 *in* Praia, 1999). Decorre, desta implicação, a

necessidade de repensar modelos de formação inicial (estágio pedagógico integrado) que introduzam dinâmicas inovadoras do ponto de vista organizativo, curricular e conceptual.

Este trabalho contemplou apenas a primeira fase do possível *método* de trabalho de professor que apresentámos. Constitui, por isso, uma fase precoce de um projecto de acção e de *trans-formação*, usando a terminologia de Nóvoa (1992) que poderá vir a desenvolver as restantes fases, nomeadamente:

- a definição dos termos da apropriação didáctica do conhecimento científico, visando a sua adequação ao conhecimento escolar;
- o esboço de estratégias de abordagem, significativa e construtiva, do currículo;
- a construção de materiais didácticos.

A aplicação destes elementos, no contexto de sala de aula e no âmbito de *praxis* reflexivas, contribui para o desenvolvimento profissional dos professores de geociências e da dimensão investigativa do processo de ensino/aprendizagem; por outras palavras, contribui para a Educação Científica.

Bibliografia

- ALONSO e FINN (1972), *FÍSICA, Um Curso Universitário – Campos e Ondas*, Vol. II, Editora Edgard Blücher LTDA, São Paulo, Brasil.
- ALVARÉZ SUÁREZ, R. M. (1996), “As contorversias científicas, sus implicaciones y su utilidad mediante un ejemplo: la controversia sobre la edad de la Tierra”, in *ALAMBIQUE Didáctica de las Ciencias Experimentales*, (8), 63-69.
- ÁNGEL, J. B. (1996), *La Investigación-Acción: Un Reto para el Profesorado*, Guia Práctica para Grupos de Trabajo, Seminarios y Equipos de Investigación, Publicaciones INDE, Barcelona.
- ANTUNES, M. T. (1991), *Ensino da Geologia: perspectivas científicas*, Universidade Aberta, Lisboa.
- AUSUBEL, NOVAK e HANESIAN (1980), *Psicologia Educacional*, 2ª edição, Interamericana, Rio de Janeiro.
- BELL, J. (1997), *Como Realizar um Projecto de Investigação*, Gradiva, Lisboa.
- BERNARDO, L. M. (1995), *Introdução à Óptica Moderna*, Departamento de Física, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto.
- BERNARDO, L. M. (1995), *Um Olhar sobre a Luz*, Departamento de Física, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto.
- BOGDAN, R. e BIKLEN, S. (1994), *Investigação Qualitativa em Educação - Uma Introdução à Teoria e aos Métodos*, Porto Editora, Porto.
- BOLT, B. A. (1982), *Inside the Earth*, W.H. Freeman and Company, Califórnia.
- BOLT, B. A. (1999), *Earthquakes*, 4ª edição W.H. Freeman and Company, Califórnia.
- BORGES, F. S. (1982), *Elementos de cristalografia*, Calouste Gulbenkian, Coimbra.
- BORGES, F. S. (1996), *Geologia Estrutural*, Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto.
- BORGES, F. S. (2000), “Manto Terrestre: Mineralogia e Reologia”, Palestra apresentada no Encontro Nacional dos Estudantes de Geologia, Porto.
- CACHAPUZ, A., PRAIA, J. e JORGE, M. (2000), “Perspectivas de Ensino das Ciências” in *Formação de Professores – Ciências*, Textos de Apoio n.º 1, Centro de Estudos de Educação em Ciência, Porto.

- CHERNICOFF, S. e FOX, H. (1997), *Essentials of Geology*, Worth Publishers, EUA.
- CHI, M. e outros (1994), "From things to processes: a theory of a conceptual change for learning Science Concepts", in *Learning and Instruction*, 4, 27-43.
- CONTE, THOMPSON e MOSES (1997), *EARTH SCIENCE – An Integrated Perspective*, 2ª edition, WCB Publishers, EUA.
- COSTA, N. e PRAIA, J. (1998), "Processos e Estratégias de Inovação" in *A Evolução do Sistema Educativo e o Prodep - Estudos Temáticos*, Vol. III, Departamento de Avaliação Prospectiva e Planeamento do Ministério da Educação, Lisboa.
- DAVIES, G. F. (1999), *Dynamic Earth – Plates, Plumes and Mantle Convection*, Cambridge University Press, United Kingdom.
- DELORS, J. et al (1996), *Educação, Um Tesouro a Descobrir*, Edições Asa, Porto.
- DERCOURT e PAQUET (1986), *Geologia – Objectos e Métodos*, Livraria Almedina, Coimbra.
- DUSCHL, R. (1997), *Renovar la Enseñanza de las Ciencias – Importancia de las Teorias y su Desarrollo*, Narcea Ediciones, Madrid.
- FRODEMAN, R. (1995), "Geological reasoning: Geology as an interpretative and historical science", in *A Bulletin*, 107(8), 960-968.
- GAGLIARDI, R. (1986), "Los Conceptos Estructurales en el Aprendizaje por Investigacion" in *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), 30-35.
- GAGLIARDI, R. (1988), "Como Utilizar História de las Ciencias en la Enseñanza de las Ciencias" in *Enseñanza de Las Ciencias*, 6(3), 291-296.
- GARCÍA CRUZ, C. M. (1998), "De los obstáculos epistemológicos aos conceitos estruturantes: una aproximación a la enseñanza-aprendizaje de la Geología", in *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), 323-330.
- GIL PÉREZ, D. (1991), "¿Qué Hemos de Saber y Saber Hacer Los Profesores de Ciências? (Intento de síntesis de las aportaciones de la investigación didáctica)", in *Enseñanza de las Ciencia*, 9(1), 69-77.
- GIL PÉREZ, D. (1993), "Contribución de la História y de la Filosofía das Ciências al Desarrollo de un Modelo de Enseñanza/Aprendizaje como Investigacion", in *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 197-212.
- GRANDA VERA, A. (1988), "Esquemas Conceptuais Prévios dos Alunos em Geologia", in *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 239-243.

- KENNETT, B. L. N. e VAN DER HILST, R.D. (2000), "Seismic Structure of the mantle: From Subduction Zone to Craton", in JACKSON, I. (ed.), *The Earth's Mantle – Composition, Structure and Evolution*, Cambridge – University Press, Cambridge.
- LESSARD-HÉBERT, M., GOYETTE, G. e BOUTIN, G. (1990), *Investigação Qualitativa-Fundamentos e Práticas*, Instituto Piaget, Lisboa.
- LIMA, F.V.Q.C.R. (1998), *Introdução à Sismologia*, Universidade de Aveiro, Aveiro.
- LOMBARDI, O. I. (1997), "La Pertinencia de la Historia en la Enseñanza de Ciencias: Argumentos y Contraargumentos", in *Enseñanza de Las Ciencias*, 15(3), 343-349.
- LÜDKE, M. e ANDRÉ, M. (1988), *Pesquisa em Educação: Abordagens Qualitativas*, Temas Básicos de Educação e Ensino, Editora Pedagógica e Universitária, S. Paulo.
- MACHADO, F. (1970), *Curso de Sismologia*, Junta de Investigação do Ultramar, Lisboa.
- MARQUES, L. e PRAIA, J. (1997), "O trabalho de laboratório e o ensino da geologia: reflexão crítica e fundamentos epistemológico-didáticos", in *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, (5.2), 95-106.
- MARQUES, L. e PRAIA, J. (1997), "Para uma metodologia do trabalho de campo: contributos da Didáctica da Geologia", in *GEólogos*, 1, 27-33.
- MELLADO JIMÉNEZ, V. e CARRACEDO GALLARDO, D. (1992), "Aproximación a la Didáctica de las Ciencias desde la Filosofía de la Ciencia", in *Comunicación ? Específicas en la formación del profesorado*, Santiago de Compostela.
- MINEIRO, A. J. C. (s/d), Revisão Crítica de Conceitos Básicos em Engenharia Sísmica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO/DEPARTAMENTO DO ENSINO BÁSICO (2000), *Programa de Matemática – Plano de Organização do Ensino-Aprendizagem – 3º Ciclo do Ensino Básico*, Vol. II, 5.ª edição, Editorial do Ministério da Educação, Lisboa.
- MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO/DEPARTAMENTO DO ENSINO BÁSICO, 2000, *Programa de Ciências Físico-Químicas – Programa e Organização Curricular – 3º Ciclo do Ensino Básico*, 4.ª edição, Editorial do Ministério da Educação, Lisboa.

- MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO/DEPARTAMENTO DO ENSINO SECUNDÁRIO, 1996, *Ciências da Terra e da Vida, 10º-11º anos, Orientações de Gestão de Programas*, Editorial do Ministério da Educação, Lisboa.
- MURCK, B. e SKINNER, B. (1999), *Geology Today*, John Wiley & Sons, New York.
- NETO, A. J. e VALENTE, M. (1991), "A História da Ciência no Ensino da Física: Breves Reflexões Sobre a Situação Portuguesa" in *Revista Portuguesa de Educação*, 4(2), 59-67.
- NOVAK, J. (2000), *Aprender, criar e utilizar o conhecimento – Mapas ConceptuaisTM como Ferramentas de Facilitação nas Escolas e Empresas*, Coleção Plátano Universitária, Lisboa.
- NÓVOA, A. (Coord.) (1992), *Os Professores e a sua Formação*, Publicações D. Quixote, Lisboa.
- OKAL, E. e CANSI, Y., 1998, "Detection of PKJKP at Intermediate Periods by Progressive Multi-Channel Correlation", in *Earth and Planetary Science Letters*, 164 (1-2), 23-30.
- OLROYD, D. (1996), *Thinking about the Earth: A History of Ideas in Geology*, Athlone, London.
- PERRENOUD, P. (1993), *Práticas Pedagógicas, Profissão Docente e Formação. Perspectivas Sociológicas*, Publicações D. Quixote, Lisboa.
- PLUMMER, C. C. e McGEARY, D. (1996), *Physical Geology*, WCB Publishers, EUA.
- PRAIA, J. (1999), Relatório da Disciplina de Didáctica da Geologia, Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto.
- PRAIA, J. e SANTOS, E. (1992), "Percurso de Mudança na Didáctica das Ciências. Sua Fundamentação Epistemológica", in CACHAPUZ, F. (Coord.), *Ensino das Ciências e Formação de Professores*, Projecto Mutare - Universidade de Aveiro (1), 7-34.
- PRESS, F. e SIEVER, R. (1988), *Understanding Earth*, 2ª ed. W.H. Freeman and Company, Califórnia.
- QUIVY, R. e Van CAMPENHOUDT, L. (1992), *Manual de Investigação em Ciências Sociais-Trajectos*, Gradiva, Lisboa.
- ROBINSON, E. (1982), *Basic Physical Geology*, John Wiley & Sons, New York.

- ROBINSON, E. e ÇORUH, C. (1988), *Basic Exploration Geophysics*, John Wiley & Sons, New York.
- ROSS, K. e SHUELL, T. (1993), "Children's Beliefs about Earthquakes", in *Science Education*, 77(2), 191-205.
- SANTOS, E. (1992), "As Concepções Alternativas dos Alunos À Luz da Epistemologia Bachelardiana", in CACHAPUZ, F. (Coord.), *Ensino das Ciências e Formação de Professores*, Projecto Mutare - Universidade de Aveiro (1), 35-51.
- SAXBY, G. (1994), *Practical Holography*, Second Edition, Prentice Hall, United Kingdom.
- SEQUEIRA, M. e LEITE, L. (1988), "A História da Ciência no Ensino-Aprendizagem das Ciências" in *Revista Portuguesa de Educação*, 1(2), 29-40.
- SHEARER, P. M. (1999), *Introduction to Seismology*, Cambridge University Press, United Kingdom.
- SILVA, T.M.N. (1990), *A Construção do Currículo na Sala de Aula: O Professor como Pesquisador*, Editora Pedagógica Universitária, São Paulo.
- TAYLOR, M. e SINGH, S. (2000), "Is the Inner Core of Earth Partially Molten?", in *Lithos Science Report*, 2, 143-150.
- UDÍAS, A. (1999), *Principles of Seismology*, Cambridge University Press, United Kingdom.
- WILLIE, P. J. (1976), *A Terra, Nova Geologia Global*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.

Internet:

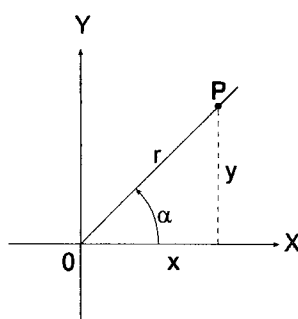
- AMMON, C.J. (2001), Notes/waves_and_interior.html [web page];
<http://www.eas.slu.edu/People/CJAmmon/HTML/Classes/IntroQuakes/>
[acedido em 23/Jan/2001].
- Enciclopédia Britânica [web page]; <http://www.britannica.com> [acedido em 30/Jan/2001]
- Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) / Global Seismograph Network (GSN) [web page]; <http://iris.washington.edu> [acedido em 13/Mar/2001].

- LOUIE, J. (1996), What is Richter Magnitude? [web page]; <http://www.seismo.unr.edu./ftp/pub/louie/class/100/magnitude.html> [acedido em 23/Jan/2001].
- SOURIAU, A. (2001), Seismology of the Earth's inner core, [web page]; http://www.gfz-potsdam.de/pb2/dgg/mitteilungen/mitteilungen1_2001/inner-core-seism [acedido em 19/Jun/2001].
- U.S. Geological Survey [web page]; <http://erp-web.er.usgs.gov> [acedido em 23/Mar/2001].
- Universidade de Harvard, EUA [web page]; <http://www.seismology.harvard.edu> [acedido em 19/Jun/2001].
- Universidade de Melbourne [web page]; <http://www.earthsci.unimelb.edu.au> [acedido em 19/Jun/2001].
- Universidade de Northwestern, EUA [web page]; <http://www.earth.nwu./edu> [acedido em 19/Jun/2001].
- Universidade de Utrecht, Holanda [web page]; <http://www.geo.uu.nl> [acedido em 19/Jun/2001].
- Universidade de Washington, St. Louis [web page]; <http://epsc.wustl.edu> [acedido em 19/Jun/2001].
- WYSESSION, M. (1995), The Inner Workings of the Earth in American Scientist, 83, 134-147 [web page]; <http://www.amsci.org/amsci/articles/95articles/Wysession-full.html> [acedido em 19/Jun/2001].

Anexos

I. Razões trigonométricas

I.1. Razões Trigonômétricas de Ângulos Agudos



$$\operatorname{sen} \alpha = \frac{y}{r} = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{hipotenusa}}$$

$$\cos \alpha = \frac{x}{r} = \frac{\text{cateto adjacente}}{\text{hipotenusa}}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y}{x} = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}}$$

I.2. Relações entre as Razões Trigonômétricas

$$\operatorname{sen}^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{sen} \alpha}{\cos \alpha}$$

I.3. Funções Trigonométricas Naturais

graus	radianos	seno	coseno	tangente
0	0,000	0,000	1,000	0,000
1	0,017	0,017	1,000	0,017
2	0,035	0,035	0,999	0,035
3	0,052	0,052	0,999	0,052
4	0,070	0,070	0,998	0,070
5	0,087	0,087	0,996	0,087
6	0,105	0,105	0,995	0,105
7	0,122	0,122	0,993	0,123
8	0,140	0,139	0,990	0,141
9	0,157	0,156	0,988	0,158
10	0,175	0,174	0,985	0,176
11	0,192	0,191	0,982	0,194
12	0,209	0,208	0,978	0,213
13	0,227	0,225	0,974	0,231
14	0,244	0,242	0,970	0,249
15	0,262	0,259	0,966	0,268
16	0,279	0,276	0,961	0,287
17	0,297	0,292	0,956	0,306
18	0,314	0,309	0,951	0,325
19	0,332	0,326	0,946	0,344
20	0,349	0,342	0,940	0,364
21	0,367	0,358	0,934	0,384
22	0,384	0,375	0,927	0,404
23	0,401	0,391	0,921	0,424
24	0,419	0,407	0,914	0,445
25	0,436	0,423	0,906	0,466
26	0,454	0,438	0,899	0,488
27	0,471	0,454	0,891	0,510
28	0,489	0,469	0,883	0,532
29	0,506	0,485	0,875	0,554
30	0,524	0,500	0,866	0,577
31	0,541	0,515	0,857	0,601
32	0,559	0,530	0,848	0,625
33	0,576	0,545	0,839	0,649
34	0,593	0,559	0,829	0,675
35	0,611	0,574	0,819	0,700
36	0,628	0,588	0,809	0,727
37	0,646	0,602	0,799	0,754
38	0,663	0,616	0,788	0,781
39	0,681	0,629	0,777	0,810
40	0,698	0,643	0,766	0,839
41	0,716	0,656	0,755	0,869
42	0,733	0,669	0,743	0,900
43	0,750	0,682	0,731	0,933
44	0,768	0,695	0,719	0,966
45	0,785	0,707	0,707	1,000

graus	radianos	seno	coseno	tangente
46	0,803	0,719	0,695	1,036
47	0,820	0,731	0,682	1,072
48	0,838	0,743	0,669	1,111
49	0,855	0,755	0,656	1,150
50	0,873	0,766	0,643	1,192
51	0,890	0,777	0,629	1,235
52	0,908	0,788	0,616	1,280
53	0,925	0,799	0,602	1,327
54	0,942	0,809	0,588	1,376
55	0,960	0,819	0,574	1,428
56	0,977	0,829	0,559	1,483
57	0,995	0,839	0,545	1,540
58	1,012	0,848	0,530	1,600
59	1,030	0,857	0,515	1,664
60	1,047	0,866	0,500	1,732
61	1,065	0,875	0,485	1,804
62	1,082	0,883	0,469	1,881
63	1,100	0,891	0,454	1,963
64	1,117	0,899	0,438	2,050
65	1,134	0,906	0,423	2,145
66	1,152	0,914	0,407	2,246
67	1,169	0,921	0,391	2,356
68	1,187	0,927	0,375	2,475
69	1,204	0,934	0,358	2,605
70	1,222	0,940	0,342	2,747
71	1,239	0,946	0,326	2,904
72	1,257	0,951	0,309	3,078
73	1,274	0,956	0,292	3,271
74	1,292	0,961	0,276	3,487
75	1,309	0,966	0,259	3,732
76	1,326	0,970	0,242	4,011
77	1,344	0,974	0,225	4,331
78	1,361	0,978	0,208	4,705
79	1,379	0,982	0,191	5,145
80	1,396	0,985	0,174	5,671
81	1,414	0,988	0,156	6,314
82	1,431	0,990	0,139	7,115
83	1,449	0,993	0,122	8,144
84	1,466	0,995	0,105	9,514
85	1,484	0,996	0,087	11,430
86	1,501	0,998	0,070	14,301
87	1,518	0,999	0,052	19,081
88	1,536	0,999	0,035	28,636
89	1,553	1,000	0,017	57,290
90	1,571	1,000	0,000	∞

II. Planificação do Núcleo de Estágio do 11º Grupo B, do ano lectivo 1999/2000, da Escola Secundária José Régio/Vila do Conde, do tema curricular “A Estrutura Interna da Terra – contributos da Sismologia para o seu conhecimento”, do 10º ano de escolaridade

Mapa de Planificação – Aula nº ____ / 1ª de Sismologia

Núcleo de Estágio 11º grupo B – 1999/2000

Escola Secundária de Vila do Conde “José Régio” Turmas: B1, C1, D1, F1 Unidade: Estrutura da Terra. Contributos para o seu conhecimento Sub-unidade: Dados Geofísicos / Sismologia Professores: Diâmanado Carvalho; Goreti Castro; Luís Pedro Céu; Patrícia Nunes	Sumário: Resolução de actividades de diagnóstico. Levantamento das ideias prévias dos alunos relativamente à Sismologia.	Planificação fundamentada numa perspectiva construtivista.
--	--	--

Intenções (professor)	Competências (objectivos)	Conteúdos/Saberes			Estratégia
		Conhecimentos prévios	Apresentação/Desenvolvimento	Termos /Conceitos	
* Estimular o desenvolvimento do espírito de pesquisa * Estimular o desenvolvimento do espírito crítico * Promover nos alunos espírito de abertura e capacidade de pensar com autonomia * Promover atitudes de responsabilidade cívica e de auto-disciplina * Fomentar atitudes de solidariedade e cooperação * Apoiar as iniciativas dos alunos na construção do seu próprio conhecimento * Orientar os alunos na selecção e gestão de informação	<i>Área socio-afectiva</i> • Manifestar curiosidade e vontade de aprender, empenhando-se no aprofundar dos seus conhecimentos • Demonstrar civismo <i>Área cognitiva</i> • Revelar espírito de abertura e capacidade de pensar com autonomia • Seleccionar e consultar documentos de natureza diversa • Compreender a importância das novas tecnologias na evolução do conhecimento científico • Reconhecer as implicações dos avanços científicos e tecnológicos na melhoria da qualidade de vida	• Sismologia • Sismos • Causas dos sismos • Consequências dos sismos • Falha • Sismógrafo • Sismograma • Placas tectónicas • Tectónica de Placas	Planeta terra. Contributos para o seu conhecimento 1. Dados Geofísicos 1.1 Sismologia • Causas dos sismos • Distribuição geográfica dos sismos • As ondas sísmicas na exploração da Terra inacessível		Após o registo do sumário, com o intuito de introduzir o estudo da Sismologia como contributo para o conhecimento da estrutura interna da Terra, o professor apresenta, em acetato, diferentes imagens, sem legenda, alusivas a fenómenos sísmicos. Após a observação e interpretação individual (mental) das imagens, o docente questiona os alunos da turma sobre qual o fenómeno geológico a que as imagens se referem. O professor regista no quadro a(s) resposta(s) dos alunos. Posteriormente, o professor distribui pela turma um questionário que visa o diagnóstico das ideias prévias dos alunos, relativamente à temática em estudo (Actividade de diagnóstico). Os alunos respondem, às questões, por escrito num tempo de 20 a 25 minutos.

* Intenções a perseguir ao longo do ano lectivo.

Materiais/Recursos didácticos: quadro negro; Actividade de diagnóstico; acetatos; retroprojector.

Intenções (professor)	Competências (objectivos)	Conteúdos/Saberes			Estratégia
		Conhecimentos prévios	Apresentação/Desenvolvimento	Termos /Conceitos	
Diagnosticar as ideias prévias dos alunos relativamente à sismologia	<i>Área psico-motora</i> - Manusear correctamente o material escolar / didáctico <i>Área de comunicação e expressão</i> - Utilizar a expressão oral, escrita e/ou gráfica de forma correcta e rigorosa - Utilizar correctamente a linguagem científica				Este procedimento tem por objectivo uma posterior análise e reflexão destas, pelos diferentes professores em conjunto, de modo a diagnosticarem, com maior rigor, as “verdadeiras” ideias dos alunos, e planearem as aulas futuras de modo a “trabalhar” essas ideias, orientando-os para as metas pretendidas. Após a resolução da actividade de diagnóstico, e como complemento, apresentam-se as imagens observadas no início da aula. O professor dá a liberdade aos alunos para falarem, ordenadamente, sobre as imagens, pedindo que justifiquem as respostas à pergunta colocada, aquando a observação, pela primeira vez, das imagens. Neste sentido, pretende-se confirmar as “verdadeiras” ideias dos alunos e excluir as manifestações que não correspondam a ideias prévias. Este procedimento revela-se importante atendendo ao facto de a aula estar a ser gravada, ao facto de determinados alunos poderem sentir dificuldades em termos de expressão escrita e destes se situarem numa faixa etária propícia ao exibicionismo.

Mapa de Planificação – Aula nº ____ / 2ª de Sismologia

Escola Secundária de Vila do Conde “José Régio” Turmas: B1, C1, D1, F1 10º Ano CTV Unidade: Estrutura da Terra. Contributos para o seu conhecimento Sub-unidade: Dados Geofísicos / Sismologia Professores: Dilermando Carvalho; Goreti Castro; Luís Pedro Céu; Patrícia Nunes	Sumário: Resolução de uma ficha (in)formativa referente ao sismo de Lisboa ocorrido em 1755.	Planificação fundamentada numa perspectiva construtivista.
---	---	---

Intenções (professor)	Competências (objectivos)	Conteúdos/Saberes			Estratégia
		Conhecimentos prévios	Apresentação/Desenvolvimento	Termos /Conceitos	
* Estimular o desenvolvimento do espírito de pesquisa * Estimular o desenvolvimento do espírito crítico * Promover nos alunos espírito de abertura e capacidade de pensar com autonomia * Promover atitudes de responsabilidade cívica e de auto-disciplina * Fomentar atitudes de solidariedade e cooperação * Apoiar as iniciativas dos alunos na construção do seu próprio conhecimento * Orientar os alunos na selecção e gestão de informação	<i>Área socio-afectiva</i> - Manifestar curiosidade e vontade de aprender, empenhando-se no aprofundar dos seus conhecimentos - Demonstrar civismo <i>Área cognitiva</i> - Revelar espírito de abertura e capacidade de pensar com autonomia - Seleccionar e consultar documentos de natureza diversa - Interpretar dois textos - Aplicar conhecimentos prévios - Compreender conceitos/termos - Tomar conhecimento de uma catástrofe natural, ocorrida em Portugal e de grande impacto social	- Sismologia - Sismos - Causas dos sismos - Consequências dos sismos - Falha - Sismógrafo - Sismograma - Placas tectónicas - Tectónica de Placas	Planeta terra. Contributos para o seu conhecimento 1. Dados Geofísicos 1.1 Sismologia Causas dos sismos	- Sismologia - Sismos - Abalos premonitórios - Réplicas - Tsunami - Falha - Ponto triplo - Placas tectónicas - Tectónica de Placas - Sismos tectónicos	Após o registo do sumário, o professor distribui pela turma uma ficha (in)formativa na qual consta dois textos (A e B) relativos ao sismo, que ocorreu a 1 de Novembro de 1755, em Lisboa. Esta ficha possui vários objectivos. Para além de dar a conhecer uma catástrofe natural ocorrida em Portugal, de grande impacto social, pretende também desenvolver a capacidade de interpretação de texto, assim como a capacidade de decodificar as informações científicas presentes. A tonada de consciência, por parte do aluno, de que um sismo não é um fenómeno isolado, é também um objectivo a perseguir, assim como os sensibilizar para a importância do papel desempenhado pela Protecção Civil.

* Intenções a perseguir ao longo do ano lectivo.

Materiais/Recursos didácticos: quadro negro; Ficha (in)formativa n.º 3; acetato; retroprojector.

Intenções (professor)	Competências (objectivos)	Conteúdos/Saberes			Estratégia
		Conhecimentos Prévios	Apresentação/Desenvolvimento	Termos /Conceitos	
- Conduzir os alunos à compreensão das principais causas dos movimentos sísmicos - Promover nos alunos a capacidade de relacionar os efeitos de um sismo com a energia libertada e as condições geológicas da região	- Compreender os comportamentos mecânicos dos materiais: elástico, plástico e frágil - Compreender como actuam as diferentes forças sobre as rochas: compressivas, distensivas e de cisalhamento <i>Área psico-motora</i> - Manusear correctamente o material escolar / didáctico <i>Área de comunicação e expressão</i> - Utilizar a expressão oral, escrita e/ou gráfica de forma correcta e rigorosa - Utilizar correctamente a linguagem científica				distensivas, introduz-se também as forças de cisalhamento, apresentadas no esquema mas que não são questionadas. Posteriormente, questiona-se os alunos de como se designa a estrutura geológica originada pela actuação das forças estudadas. Pretende-se com esta questão que os alunos introduzam o termo "falha". A partir de então, o docente desafia-os a definirem o conceito de falha, orientando-os para o conceito cientificamente correcto. Após a resolução da última questão, o professor com o objectivo de complementar a explicação dada pelos alunos, na resolução desta, fornece informação relativamente ao comportamento mecânico das rochas (plástico, elástico e frágil) e ao limite de resistência, explicando os respectivos conceitos. Esta explicação é acompanhada pela apresentação e contacto dos alunos por determinados materiais que exemplificam os comportamentos referidos. Serão utilizados uma esponja e um elástico para demonstrar o comportamento elástico, plastilina para exemplificar o comportamento plástico e um lápis de pau para demonstrar o comportamento frágil. Esta estratégia tem por finalidade a compreensão, por parte dos alunos, de como os materiais se fracturam, provocando sismos.

Mapa de Planificação – Aula nº ____ / 4ª de Sismologia

Escola Secundária de Vila do Conde "Jóse Régio" Turmas: B1, C1, D1, F1 10º Ano CTV Unidade: Estrutura da Terra. Contributos para o seu conhecimento Sub-unidade: Dados Geofísicos / Sismologia Professores: Dilermando Carvalho; Goreti Castro; Luís Pedro Céu; Patrícia Nunes	Sumário: <i>Estudo das causas dos sismos (continuação).</i> <i>Sismos tectónicos.</i>	Planificação fundamentada numa perspectiva construtivista.
---	---	---

Intenções (professor)	Competências (objectivos)	Conteúdos/Saberes			Estratégia
		Conhecimentos prévios	Apresentação/Desenvolvimento	Termos /Conceitos	
* Estimular o desenvolvimento do espírito de pesquisa * Estimular o desenvolvimento do espírito crítico * Promover nos alunos espírito de abertura e capacidade de pensar com autonomia * Promover atitudes de responsabilidade cívica e de auto-disciplina * Fomentar atitudes de solidariedade e cooperação * Apoiar as iniciativas dos alunos na construção do seu próprio conhecimento * Orientar os alunos na selecção e gestão de informação	<i>Área socio-afectiva</i> - Manifestar curiosidade e vontade de aprender, empenhando-se no aprofundar dos seus conhecimentos - Demonstrar civismo <i>Área cognitiva</i> - Revelar espírito de abertura e capacidade de pensar com autonomia - Seleccionar e consultar documentos de natureza diversa - Aplicar conhecimentos prévios - Compreender conceitos/termos - Compreender as principais causas dos fenómenos sísmicos - Compreender os comportamentos mecânicos dos materiais: elástico, plástico e frágil	- Sismos - Causas dos sismos - Falha - Sismos tectónicos - Forças compressivas - Forças distensivas - Forças de cisalhamento - Comportamento plástico - Comportamento elástico - Comportamento frágil - Limite de resistência	Planeta terra. Contributos para o seu conhecimento 1. Dados Geofísicos 1.1 Sismologia Causas dos sismos	- Placas tectónicas - Teoria da Tectónica de Placas - Placa continental - Placa oceânica	Após o registo do sumário, o professor apresenta, em acetato, uma figura representativa das diferentes placas tectónicas e respectiva direcção do movimento. A apresentação deste imagem tem por finalidade a visualização da localização das placas e a identificação do tipo de forças que actuam nos limites destas, por parte dos alunos, atendendo aos conhecimentos adquiridos na aula anterior. Neste sentido, o professor questiona os alunos sobre o que ilustra a imagem. Após a análise desta, e discussão da informação aí presente, o docente desafia os alunos a definirem placa tectónica, orientando-os para o conceito científico. Posteriormente, o professor distingue placa continental de placa oceânica, pedindo aos alunos que indiquem na figura um exemplo de cada, alertando-os para o facto das placas continentais não corresponderem somente aos continentes. Seguidamente o professor apresenta em acetato figuras que ilustram os tipos de limites entre placas tectónicas,

* Intenções a perseguir ao longo do ano lectivo.

Materiais/Recursos didácticos: quadro negro; acetatos e retroprojector.

Núcleo de Estágio 11º grupo B – 1999/2000

Intenções (professor)	Competências (objectivos)	Conteúdos/Saberes			Estratégia
		Conhecimentos Prévios	Apresentação/Desenvolvimento	Termos /Conceitos	
- Conduzir os alunos à compreensão das principais causas dos movimentos sísmicos - Promover nos alunos a capacidade de relacionar os efeitos de um sismo com a energia libertada e as condições geológicas da região	- Compreender como actuam as diferentes forças sobre as rochas: compressivas, distensivas e de cisalhamento - Reconhecer que a superfície da Terra está coberta por uma série de placas rígidas e rochosas (placas tectónicas) que deslizam sobre a astenosfera – Teoria da Tectónica de Placas - Reconhecer que os limites das placas tectónicas são locais de actividade geológica e tectónica, e que ao longo deles se concentram sismos, vulcões e algumas zonas de formação de montanhas <i>Área psico-motora</i> - Manusear correctamente o material escolar / didáctico <i>Área de comunicação e expressão</i> - Utilizar a expressão oral, escrita e/ou gráfica de forma correcta e rigorosa - Utilizar correctamente a linguagem científica				geradoras de actividade sísmica, explicando cada um deles: - colisão entre uma placa oceânica e uma placa continental; - colisão entre placas continentais - colisão entre placas oceânicas - afastamento de placas oceânicas - afastamento de placas continentais - contacto com deslizamento entre uma placa oceânica e uma continental Após a análise das figuras, o professor explica que devido à actuação das forças compressivas, distensivas e de cisalhamento, as rochas são deformadas, comprimidas, acumulando tensões ao longo de anos, séculos ou milénios. Neste sentido, e com o objectivo dos alunos relacionarem os conhecimentos adquiridos na aula anterior, o docente promovendo a troca de ideias, pergunta aos alunos em que momento ocorre o sismo. Durante este debate o professor orienta os alunos no sentido destes compreenderem que um sismo ocorre quando as rochas atingem o seu limite de resistência, fracturando repentinamente, provocando deslocamentos em falhas já existentes e/ou originando complexos sistemas de novas falhas, quando a ruptura destas é acompanhada de deslocamentos dos blocos, permitindo a libertação da energia acumulada. Por último, o professor indica para TPC a seguinte questão: “Como se designa o local onde ocorre a libertação da energia sísmica?”

Mapa de Planificação – Aula nº ____ / 5ª de Sismologia

Núcleo de Estágio 11º grupo B – 1999/2000

Escola Secundária de Vila do Conde “Jóse Régio” Turmas: B1, C1, D1, F1 Unidade: Estrutura da Terra. Contributos para o seu conhecimento Sub-unidade: Dados Geofísicos / Sismologia Professores: Diáfermo Carvalho; Goreti Castro; Luís Pedro Céu; Patrícia Nunes	Sumário: <i>Estudo das causas dos sismos tectónicos.</i> <i>Introdução ao estudo das ondas sísmicas.</i>	Planificação fundamentada numa perspectiva construtivista.
---	---	---

Intenções (professor)	Competências (objectivos)	Conteúdos/Saberes			Estratégia
		Conhecimentos prévios	Apresentação/Desenvolvimento	Termos /Conceitos	
* Estimular o desenvolvimento do espírito de pesquisa * Estimular o desenvolvimento do espírito crítico * Promover nos alunos espírito de abertura e capacidade de pensar com autonomia * Promover atitudes de responsabilidade cívica e de auto-disciplina * Fomentar atitudes de solidariedade e cooperação * Apoiar as iniciativas dos alunos na construção do seu próprio conhecimento * Orientar os alunos na selecção e gestão de informação	<i>Área socio-afectiva</i> - Manifestar curiosidade e vontade de aprender, empenhando-se no aprofundar dos seus conhecimentos - Demonstrar civismo <i>Área cognitiva</i> - Revelar espírito de abertura e capacidade de pensar com autonomia - Seleccionar e consultar documentos de natureza diversa - Aplicar conhecimentos prévios - Compreender conceitos/termos - Compreender as principais causas dos fenómenos sísmicos	- Sismos tectónicos - Teoria da Tectónica de Placas - Placas tectónicas - Falha	Planeta Terra. Contributos para o seu conhecimento 1. Dados Geofísicos 1.1 Sismologia Causas dos sismos	- Hipocentro - Epicentro - Sismo superficial - Sismo intermédio - Sismo profundo	Após o registo do sumário, o professor questiona os alunos relativamente ao TPC, confrontando as diferentes respostas. A discussão do conceito de hipocentro tem por finalidade a compreensão, por parte dos alunos, de que um sismo tectónico não está sempre associado à ruptura das rochas. Este pode estar relacionado com o movimento dos blocos da falha. Após a definição de hipocentro (trabalhada pelos alunos durante a resolução do TPC), o professor questiona-os sobre o conceito de epicentro, orientando-os para a definição correcta. Posteriormente, e uma vez que uma grande parte dos alunos, nas respostas à actividade de diagnóstico, referiu como causa dos sismos o movimento das placas tectónicas, o docente coloca a seguinte questão: “Os sismos tectónicos estão sempre relacionados com os limites das placas tectónicas?”. Ao colocar esta pergunta, o professor tem como intenção provocar, nos alunos, um conflito cognitivo. Neste sentido, e após um momento de reflexão, apresenta-se um acetato que ilustra uma carta semanal de sismos em Portugal e região adjacente. Na carta estão representados os epicentros dos sismos

* Intenções a perseguir ao longo do ano lectivo.

Materiais/Recursos didácticos: quadro negro; manual escolar; acetatos e retroprojector.

Núcleo de Estágio 11º grupo B – 1999/2000

Intenções (professor)	Competências (objectivos)	Conteúdos/Saberes			Estratégia
		Conhecimentos Prévios	Apresentação/ Desenvolvimento	Termos /Conceitos	
- Conduzir os alunos à compreensão das principais causas dos movimentos sísmicos - Promover nos alunos a capacidade de relacionar os efeitos de um sismo com a energia libertada e as condições geológicas da região - Promover nos alunos a capacidade de relacionarem determinados fenómenos geológicos com a frequência e magnitude dos sismos	- Reconhecer que a superfície da Terra está coberta por uma série de placas rígidas e rochosas (placas tectónicas) que deslizam sobre a astenosfera – Teoria da Tectónica de Placas - Reconhecer que os limites das placas tectónicas são locais de actividade geológica e tectónica, e que ao longo destes se concentram sismos, vulcões e algumas zonas de formação de montanhas - Reconhecer a existência de falhas intra-placa - Reconhecer que os sismos tectónicos podem estar relacionados com falhas intra placa <i>Área psico-motora</i> - Manusear correctamente o material escolar / didáctico <i>Área de comunicação e expressão</i> - Utilizar a expressão oral, escrita e/ou gráfica de forma correcta e rigorosa - Utilizar correctamente a linguagem científica				ocorridos, em Portugal e região adjacente, durante uma determinada semana. A maioria dos epicentros está localizada na zona de contacto entre a placa Africana e Euroasiática. Um dos epicentros representado localiza-se no nordeste português, ou seja, numa região afastada do limite entre as referidas placas. Atendendo à observação destes dados, o professor questiona a turma de como justifica a ocorrência de um sismo originado numa zona afastada do contacto entre as placas. Após o confronto das ideias dos alunos, o docente apresenta um acetato no qual consta um mapa de Portugal continental onde estão representadas as principais falhas do país e posição dos epicentros dos sismos históricos. A apresentação deste acetato permitirá aos alunos compreenderem que também existem falhas intra-placa responsáveis por sismos. Deste modo, os alunos possuem informação que lhes permite relacionar as diferentes causas dos sismos tectónicos: ruptura das rochas e/ou formação de falhas, e movimentos de blocos em falhas pré-existent, localizadas nos limites de placas ou intra-placa. De seguida, o professor explica que atendendo à localização em profundidade do hipocentro (de qualquer tipo de sismo estudado) os sismos são classificados em: superficiais; intermédios; profundos. Posteriormente, inicia-se o estudo da propagação das ondas sísmicas, discutindo-se com os alunos o modo como se propaga a energia sísmica, sendo estes questionados nesse sentido. Com o objectivo de clarificar o movimento de propagação da energia, o professor apresenta o exemplo da formação de ondas na água quando se atira uma pedra para um lago, alertando-os de que o movimento observado à superfície é o mesmo que se forma em profundidade. Após a apresentação deste exemplo, e como complemento, observa-se a figura 53 da página 57 do manual escolar. Desta forma, os alunos são conduzidos a concluir que a energia libertada no hipocentro propaga-se em todas as direcções, originando ondas sísmicas

Mapa de Planificação – Aula nº ____ / 6ª de Sismologia

Núcleo de Estágio 11º grupo B – 1999/2000

Escola Secundária de Vila do Conde “José Régio” Turmas: B1, C1, D1, E1 Unidade: Estrutura da Terra. Contributos para o seu conhecimento Sub-unidade: Dados Geofísicos / Sismologia Professores: Dilermando Carvalho; Goreti Castro; Luís Pedro Céu; Patrícia Nunes	Sumário: <i>Estudo das ondas sísmicas: propagação e tipos.</i>	Planificação fundamentada numa perspectiva construtivista.
---	--	---

Intenções (professor)	Competências (objectivos)	Conteúdos/Saberes			Estratégia
		Conhecimentos prévios	Apresentação/Desenvolvimento	Termos /Conceitos	
* Estimular o desenvolvimento do espírito de pesquisa * Estimular o desenvolvimento do espírito crítico * Promover nos alunos espírito de abertura e capacidade de pensar com autonomia * Promover atitudes de responsabilidade cívica e de auto-disciplina * Fomentar atitudes de solidariedade e cooperação * Apoiar as iniciativas dos alunos na construção do seu próprio conhecimento * Orientar os alunos na selecção e gestão de informação	<i>Área socio-afectiva</i> - Manifestar curiosidade e vontade de aprender, empenhando-se no aprofundar dos seus conhecimentos - Demonstrar civismo <i>Área cognitiva</i> - Revelar espírito de abertura e capacidade de pensar com autonomia - Seleccionar e consultar documentos de natureza diversa - Aplicar conhecimentos prévios - Compreender conceitos/termos - Compreender o modo de propagação das ondas sísmicas - Conhecer as características das ondas sísmicas: P, S, L e R	- Ondas sísmicas - Ondas P - Ondas S	Planeta Terra. Contributos para o seu conhecimento 1. Dados Geofísicos 1.1 Sismologia Ondas sísmicas e detecção dos sismos	- Onda sísmica - Frente de onda - Raio sísmico - Ondas profundas - Ondas superficiais - Ondas P - Ondas S - Ondas de Love - Ondas de Rayleigh	Após o registo do sumário, e na continuação do estudo das ondas sísmicas, analisa-se a figura 51 da página 55 do manual, no sentido de os alunos explorarem os conceitos aí presentes (já conhecidos), e compreenderem os conceitos “frente de onda” e “raio sísmico”. De seguida, e atendendo às respostas dadas na resolução da actividade diagnóstico, em que uma grande parte dos alunos referiu as ondas sísmicas, nomeadamente as P e S, o docente pede aos alunos que se recordem do tipo de ondas sísmicas que estudaram no 7º ano de escolaridade. Posteriormente, os alunos são confrontados com a seguinte questão: “Onde ocorre a propagação das ondas sísmicas P e S?”. Esta questão constitui um apelo à memória, pretendendo que os alunos relembrem que as ondas P e S se propagam no interior da Terra. Seguidamente, o professor pergunta aos alunos se além das ondas P e S conhecem outro tipo de ondas sísmicas. Neste sentido, os alunos são orientados para ondas superficiais – L e R. Assim sendo, classificam-se as ondas sísmicas em dois grupos: ondas profundas (P e S) e ondas superficiais (L e R).

* Intenções a perseguir ao longo do ano lectivo.

Materiais/Recursos didácticos: quadro negro; manual escolar; acetatos e retroprojector.

Núcleo de Estágio 11º grupo B – 1999/2000

Intenções (professor)	Competências (objectivos)	Conteúdos/Saberes			Estratégia
		Conhecimentos Prévios	Apresentação / Desenvolvimento	Termos/ Conceitos	
- Conduzir os alunos a compreenderem o modo de propagação das ondas sísmicas - Conduzir os alunos a compreenderem as características do globo terrestre a partir do comportamento das ondas sísmicas que o atravessam - Conduzir os alunos ao reconhecimento dos diferentes tipos de sismógrafos	- Compreender a velocidade de propagação das ondas sísmicas profundas - Relacionar o modo de propagação das ondas sísmicas com as diferentes características do interior da Terra - Reconhecer a existência de sismógrafos horizontais e verticais que permitem registar os movimentos do solo, através dos sismogramas <i>Área psico-motora</i> - Manusear correctamente o material escolar / didáctico <i>Área de comunicação e expressão</i> - Utilizar a expressão oral, escrita e/ou gráfica de forma correcta e rigorosa - Utilizar correctamente a linguagem científica				gasosos, enquanto que as ondas S só se propagam em meios sólidos. Compreenderão também a razão pela qual a velocidade de propagação das ondas P diminui quando passam de um meio sólido para um líquido e de um líquido para gasoso, respectivamente. Posteriormente, resolve-se um exercício que visa a aplicação dos conhecimentos adquiridos até ao momento sobre as ondas P e S. A resolução do referido exercício, tem por finalidade, a consolidação dos conhecimentos adquiridos até então, sobre as ondas sísmicas profundas, assim como, a compreensão do contributo do estudo das ondas sísmicas para o conhecimento do interior da Terra. Este é resolvido em grupos de dois alunos. Após a resolução do exercício, este é corrigido promovendo, o professor, um debate em torno das respostas. O docente orienta a discussão no sentido de se construir a resposta mais correcta. Por último, o professor questiona os alunos sobre quais os aparelhos que registam as ondas sísmicas e como é que estas são registadas. Neste sentido, é analisada a fig. 58 da pág. 57 do manual escolar. Assim, o docente explica que numa estação sismográfica existem três sismógrafos, de forma a registar todos os movimentos do solo: um regista os movimentos verticais e dois registam os movimentos horizontais (um orientado na direcção N-S e outro na direcção E-W) denominando-se respectivamente sismógrafos verticais e sismógrafos horizontais. Seguidamente, faz referência aos sismógrafos actuais, os sismómetros. Estes possuem um sistema de registo electrónico, ultrasensível às vibrações, e um outro de amplificação dos movimentos do solo. Os dados obtidos por estes aparelhos de alta precisão são transmitidos por sismogramas. O princípio de funcionamento dos sismómetros é o mesmo dos seus antecessores. Refere ainda que um sismograma é na ausência de quaisquer vibrações constituído por rectas paralelas. Contudo, quase nunca são obtidas estas linhas rectas, pelo facto de a Terra ser permanentemente atravessada por micro-sismos, isto é por vibrações de pequena amplitude que podem ser consequência, por exemplo, da actividade humana (circulação de veículos, exploração mineira...) ou de fenómenos naturais (temporais oceânicos, pequenas derrocadas...). Para TPC indica-se a resolução da actividade 8 e 9 das páginas 63 e 64, respectivamente, do manual escolar, atendendo a que os alunos já possuem conhecimentos que lhes permite a resolução das actividades indicadas.

Mapa de Planificação – Aula nº ____ / 8ª de Sismologia

Núcleo de Estágio 11º grupo B – 1999/2000

Escola Secundária de Vila do Conde “José Régio” Turmas: B1, C1, D1, F1 Unidade: Estrutura da Terra. Contributos para o seu conhecimento Sub-unidade: Dados Geofísicos / Sismologia Professores: Dilermando Carvalho; Goreti Castro; Luís Pedro Céu; Patrícia Nunes	Sumário: <i>Estudo da Intensidade sísmica e magnitude.</i> <i>Resolução de exercícios de aplicação.</i>	Planificação fundamentada numa perspectiva construtivista.
---	---	---

Intenções (professor)	Competências (objectivos)	Conteúdos/Saberes			Estratégia
		Conhecimentos prévios	Apresentação/Desenvolvimento	Termos/Conceitos	
* Estimular o desenvolvimento do espírito de pesquisa * Estimular o desenvolvimento do espírito crítico * Promover nos alunos espírito de abertura e capacidade de pensar com autonomia * Promover atitudes de responsabilidade cívica e de auto-disciplina * Fomentar atitudes de solidariedade e cooperação * Apoiar as iniciativas dos alunos na construção do seu próprio conhecimento * Orientar os alunos na selecção e gestão de informação	<i>Área socio-afectiva</i> - Manifestar curiosidade e vontade de aprender, empenhando-se no aprofundar dos seus conhecimentos - Demonstrar civismo <i>Área cognitiva</i> - Revelar espírito de abertura e capacidade de pensar com autonomia - Seleccionar e consultar documentos de natureza diversa - Aplicar conhecimentos prévios - Compreender conceitos/termos - Reconhecer a escala de intensidades (Escala de Mercalli) como uma escala qualitativa na caracterização dos sismos	- Ondas sísmicas - Ondas profundas - Ondas P - Ondas S - Sismógrafo - Sismograma - Amplitude - Intensidade - Magnitude	Planeta Terra. Contributos para o seu conhecimento 1. Dados Geofísicos 1.1 Sismologia Intensidade sísmica e magnitude	- Isossista - Carta de isossistas - Escala de Mercalli modificada - Escala de Richter - Distância epicentral	Após o registo do sumário, corrige-se em grupo turma o TPC, confrontando as diferentes respostas. Através da correcção do TPC é discutido o conceito de intensidade e os factores de que esta depende. O valor qualitativo da escala de intensidades (Escala de Mercalli modificada), a representação esquemática das diferentes intensidades de um sismo (carta de isossistas) e o conceito de isossista, são também abordados e discutidos. De seguida, resolve-se a Actividade Experimental n.º 2 do manual escolar (pág.66): Determinação da magnitude de um sismo. A resolução desta actividade tem por objectivos a aplicação de conhecimentos adquiridos, no decorrer das aulas, relativamente à propagação das ondas sísmicas profundas, assim como, a compreensão “parcial” do contributo do estudo das ondas sísmicas para o conhecimento do interior da Terra. Neste sentido, analisam-se o sismograma apresentado e o quadro que permite relacionar a distância epicentral com a magnitude do sismo e a amplitude das ondas sísmicas. No referido quadro está

* Intenções a perseguir ao longo do ano lectivo.

Materiais/Recursos didácticos: quadro negro; manual escolar.

Núcleo de Estágio 11º grupo B – 1999/2000

Intenções (professor)	Competências (objectivos)	Conteúdos/Saberes			Estratégia
		Conhecimentos Prévios	Apresentação / Desenvolvimento	Termos / Conceitos	
• Estimular uma visão humana da ciência fundamentando a compreensão da relação entre Ciência, Tecnologia e Sociedade • Sensibilizar os alunos para as implicações do conhecimento e avanços tecnológicos na melhoria da qualidade de vida • Conduzir os alunos a reconhecerem a existência de escalas caracterizam qualitativamente ou quantitativamente os sismos	• Reconhecer a escala de Richter) como uma escala quantitativa na caracterização dos sismos • Determinar a magnitude de um sismo <i>Área psico-motora</i> • Manusear correctamente o material escolar / didáctico <i>Área de comunicação e expressão</i> • Utilizar a expressão oral, escrita e/ou gráfica de forma correcta e rigorosa • Utilizar correctamente a linguagem científica				determinada a magnitude do sismo registado no sismograma apresentado. Posteriormente, calcula-se a magnitude de um sismo, a partir do sismograma representado na figura 62 da página 65 do manual escolar. Por último, o professor questiona os alunos relativamente à designação atribuída à escala de magnitudes – Escala de Richter. Explicando, depois, que esta varia entre os graus 1 a 9, e que a subida de uma unidade na escala representa um aumento de energia libertada cerca de 30 vezes superior.

Mapa de Planificação – Aula nº ____ / 9ª de Sismologia

Núcleo de Estágio 11º grupo B – 1999/2000

Escola Secundária de Vila do Conde “José Régio” Turmas: B1, C1, D1, F1 10º Ano CTV Unidade: Estrutura da Terra. Contributos para o seu conhecimento Sub-unidade: Dados Geofísicos / Sismologia Professores: Dilermando Carvalho; Goreti Castro; Luís Pedro Cêu; Patrícia Nunes	Sumário: Determinação do epicentro de um sismo.	Planificação fundamentada numa perspectiva construtivista.
---	--	---

Intenções (professor)	Competências (objectivos)	Conteúdos/Saberes			Estratégia
		Conhecimentos prévios	Apresentação/Desenvolvimento	Termos /Conceitos	
• * Estimular o desenvolvimento do espírito de pesquisa • * Estimular o desenvolvimento do espírito crítico • * Promover nos alunos espírito de abertura e capacidade de pensar com autonomia • * Promover atitudes de responsabilidade cívica e de auto-disciplina • * Fomentar atitudes de solidariedade e cooperação • * Apoiar as iniciativas dos alunos na construção do seu próprio conhecimento • * Orientar os alunos na selecção e gestão de informação	<i>Área socio-afectiva</i> • Manifestar curiosidade e vontade de aprender, empenhando-se no aprofundar dos seus conhecimentos • Demonstrar civismo <i>Área cognitiva</i> • Revelar espírito de abertura e capacidade de pensar com autonomia • Seleccionar e consultar documentos de natureza diversa • Aplicar conhecimentos prévios • Compreender conceitos/termos • Determinar o epicentro de um sismo • Compreender a relação entre o tempo de chegada das ondas sísmicas e a distância epicentral	• Ondas sísmicas • Ondas profundas • Ondas P • Ondas S • Sismograma	Planeta Terra. Contributos para o seu conhecimento 1. Dados Geofísicos 1.1 Sismologia • Determinação do epicentro	• Distância epicentral	Após o registo do sumário, o professor inicia aula solicitando aos alunos que relembrem as características das diferentes ondas sísmicas. De seguida, analisa-se o gráfico da página 69 do manual escolar, com a finalidade de se resolver, posteriormente problemas que envolvam a determinação: • Distância epicentral a partir de dados de sismogramas; • Da hora a que ocorreu o sismo, conhecendo a hora da chegada das ondas sísmicas e a distância epicentral; • Do tempo que as ondas sísmicas levam a chegar a estações situadas a diferentes distâncias epicentrais. Neste sentido, resolve-se oralmente, em grupo-turma, a actividade 9 da pág. 69 do manual escolar. Após a resolução da referida actividade, o professor questiona os alunos sobre o significado de distância epicentral, confrontando as diferentes respostas e orientando-os para o significado correcto. Posteriormente, explica que a distância epicentral pode ser expressa em quilómetros ou em função do ângulo epicentral, correspondendo este ao ângulo

* Intenções a perseguir ao longo do ano lectivo.

Materiais/Recursos didácticos: quadro negro; manual escolar.

Intenções (professor)	Competências (objectivos)	Conteúdos/Saberes			Estratégia
		Conhecimentos Prévios	Apresentação / Desenvolvimento	Termos / Conceitos	
Conduzir os alunos à compreensão da relação existente entre o tempo de chegada das ondas sísmicas e a distância epicentral	<i>Área psico-motora</i> - Manusear correctamente o material escolar / didáctico <i>Área de comunicação e expressão</i> - Utilizar a expressão oral, escrita e/ou gráfica de forma correcta e rigorosa - Utilizar correctamente a linguagem científica				definido por um raio terrestre que passe pelo epicentro e por um raio que passe no local considerado. Seguidamente, analisa-se a figura 66 da página 70 do manual escolar, no sentido dos alunos compreenderem os procedimentos a seguir para se determinar o epicentro de um sismo. O professor apresenta, de seguida, a classificação utilizada na caracterização dos sismos, relativamente à distância epicentral: locais (menor que 150 Km), próximos (menor que 1000 Km) e distantes (maior que 1000 Km). Por último, o docente explica que existe uma regra empírica, válida apenas para distâncias epicentrais superiores a 100 Km, que pode ser utilizada para determinar a distância epicentral de um modo aproximado. Neste sentido apresenta a fórmula matemática: $D.E. = [t(S) - t(P)] \times 1000$. Para TPC, o professor indica a resolução da actividade experimental n.º 3 da pág. 72 do manual escolar.

Mapa de Planificação – Aula nº ____ / 10ª de Sismologia

Escola Secundária de Vila do Conde “Jóse Régio” Turmas: B1, C1, D1, F1 10º Ano CTV Unidade: Estrutura da Terra. Contributos para o seu conhecimento Sub-unidade: Dados Geofísicos / Sismologia Professores: Dilermando Carvalho; Goreti Castro; Luís Pedro Céu; Patrícia Nunes	Sumário: Resolução de uma actividade de aplicação: Determinação do epicentro de um sismo.	Planificação fundamentada numa perspectiva construtivista.
--	---	--

Intenções (professor)	Competências (objectivos)	Conteúdos/Saberes			Estratégia
		Conhecimentos prévios	Apresentação/Desenvolvimento	Termos /Conceitos	
* Estimular o desenvolvimento do espírito de pesquisa * Estimular o desenvolvimento do espírito crítico * Promover nos alunos espírito de abertura e capacidade de pensar com autonomia * Promover atitudes de responsabilidade cívica e de auto-disciplina * Fomentar atitudes de solidariedade e cooperação * Apoiar as iniciativas dos alunos na construção do seu próprio conhecimento * Orientar os alunos na selecção e gestão de informação	<i>Área socio-afectiva</i> - Manifestar curiosidade e vontade de aprender, empenhando-se no aprofundar dos seus conhecimentos - Demonstrar civismo <i>Área cognitiva</i> - Revelar espírito de abertura e capacidade de pensar com autonomia - Seleccionar e consultar documentos de natureza diversa - Aplicar conhecimentos prévios - Compreender conceitos/termos - Determinar o epicentro de um sismo - Compreender a relação entre o tempo de chegada das ondas sísmicas e a distância epicentral	- Ondas sísmicas - Ondas profundas - Ondas P - Ondas S - Sismograma - Distância epicentral	Planeta Terra. Contributos para o seu conhecimento 1. Dados Geofísicos 1.1 Sismologia Determinação do epicentro		Após o registo do sumário, corrige-se o TPC: Determinação do epicentro de um sismo. O professor selecciona diferentes alunos, no decorrer da resolução do exercício indicado para TPC, para resolverem no quadro negro as questões presentes na actividade. A realização deste exercício permite consolidar a compreensão da técnica a utilizar na determinação do epicentro de um sismo. Posteriormente, o docente apresenta, aos alunos, uma proposta de trabalho de grupo relacionada com a prevenção sísmica. O referido trabalho visa o reconhecimento, por parte dos alunos, da importância da prevenção sísmica, assim como, o conhecimento das normas gerais de actuação em caso de sismo. A tomada de consciência do papel a desempenhar por cada um na prevenção dos riscos colectivos, constitui também um objectivo do trabalho de grupo. A realização deste irá contribuir para o desenvolvimento do espírito crítico dos alunos. Neste sentido, e de modo a que os alunos se orientem na pesquisa e na recolha/selecção de dados, o professor

* Intenções a perseguir ao longo do ano lectivo.

Materiais/Recursos didácticos: quadro negro, manual escolar e Proposta de Trabalho.

Intenções (professor)	Competências (objectivos)	Conteúdos/Saberes			Estratégia
		Conhecimentos Prévios	Apresentação / Desenvolvimento	Termos / Conceitos	
- Sensibilizar os alunos para a importância das novas tecnologias na evolução do conhecimento científico *¹ Proporcionar a compreensão de que o estudo da estrutura interna da Terra, é baseado ou inferido a partir de dados científicos provenientes de várias ciências - Proporcionar a compreensão de que o estudo do comportamento das ondas sísmicas se apoia na aplicação de dados de outras ciências - Conduzir os alunos a compreender as características do globo terrestre a partir do comportamento das ondas sísmicas que o atravessam ^{*1} Intenções a perseguir ao longo da unidade de ensino: Estrutura da Terra. Contributos para o seu conhecimento.	- Compreender que os modelos da estrutura da Terra são baseados ou inferidos a partir de uma ampla variedade de dados científicos - Compreender que o estudo do comportamento das ondas sísmicas se apoia na aplicação de dados de outras ciências <i>Área psico-motora</i> - Manusear correctamente o material escolar / didáctico <i>Área de comunicação e expressão</i> - Utilizar a expressão oral, escrita e/ou gráfica de forma correcta e rigorosa - Utilizar correctamente a linguagem científica				Assim sendo, o professor questiona os alunos sobre quais os factores estudados que interferem com a velocidade de propagação da onda sísmica. Neste sentido, pretende-se que estes relembrem os factores através das fórmulas matemáticas que exprimem a velocidade de propagação das ondas profundas. A partir da análise destas, os alunos, orientados pelo professor irão relacionar o aumento da velocidade de propagação com o aumento da rigidez dos materiais. Posteriormente, analisa-se o gráfico da fig. 75pág. 79 do manual escolar, que representa a variação da densidade dos materiais com a profundidade. Com base nos elementos atrás referidos e com a variação da densidade com a profundidade, os alunos são conduzidos a concluir que apesar de a densidade aumentar com a profundidade, o aumento da rigidez dos materiais tem que ser superior para que se verifique o aumento da velocidade de propagação das ondas sísmicas com a profundidade. (Esta conclusão tem como base de estudo as fórmulas matemáticas que exprimem a velocidade de propagação das ondas sísmicas profundas). Até ao momento a estratégia tem como finalidade a compreensão, por parte dos alunos, do porque do aumento da velocidade de propagação das ondas sísmicas com a profundidade. A partir de então, o professor tem por objectivo explicar aos alunos porque razão o raio sísmico é curvilíneo. Neste sentido, o docente apoiando-se num acetato que representa os fenómenos de refração e reflexão das ondas, explica que devido às diferentes características físico-químicas dos materiais no interior da Terra, as ondas sofrem refrações e reflexões. De modo a os alunos visualizarem estes fenómenos físicos, o professor apresenta dois exemplos: uma palhinha de refresco mergulhada na água que explica a refração; um raio solar ao ser reflectido num espelho que exemplifica a reflexão. Posteriormente, o professor explica o conceito de superfície de descontinuidade. Concluindo, o docente explica que devido a refrações sucessivas a trajectória do raio sísmico é curvilínea. Neste sentido, e para apoiar esta explicação, o professor desenha no quadro negro a propagação de uma onda sísmica sucessivamente refractada ao atravessar meios em que a velocidade de propagação da onda sísmica aumenta sucessivamente (apoiando-se na análise da figura 77 da página 81). Por último, e com vista a consolidar a compreensão das diferentes trajectórias dos raios sísmicos através da Terra analisa-se novamente o esquema C da figura 74. A partir desta análise os alunos identificarão as ondas refractadas e as reflectidas. Neste momento, o professor introduz os conceitos de onda sísmica directa e indirecta, definindo-os respectivamente.

Mapa de Planificação – Aula n.º ____ / 12ª de Sismologia

Escola Secundária de Vila do Conde “José Régio” Turmas: B1, C1, D1, F1 10º Ano CTV Unidade: Estrutura da Terra. Contributos para o seu conhecimento Sub-unidade: Dados Geofísicos / Sismologia Professores: Dilermando Carvalho; Goreti Castro; Luís Pedro Céu; Patrícia Nunes	Sumário: <i>Superfícies de descontinuidade no Globo Terrestre: descontinuidade de Mohorovicic.</i>	Planificação fundamentada numa perspectiva construtivista.
---	--	---

Intenções (professor)	Competências (objectivos)	Conteúdos/Saberes			Estratégia
		Conhecimentos prévios	Apresentação/Desenvolvimento	Termos /Conceitos	
* Estimular o desenvolvimento do espírito de pesquisa * Estimular o desenvolvimento do espírito crítico * Promover nos alunos espírito de abertura e capacidade de pensar com autonomia * Promover atitudes de responsabilidade cívica e de autodisciplina * Fomentar atitudes de solidariedade e cooperação * Apoiar as iniciativas dos alunos na construção do seu próprio conhecimento * Orientar os alunos na selecção e gestão de informação	<i>Área socio-afectiva</i> - Manifestar curiosidade e vontade de aprender, empenhando-se no aprofundar dos seus conhecimentos - Demonstrar civismo <i>Área cognitiva</i> - Revelar espírito de abertura e capacidade de pensar com autonomia - Seleccionar e consultar documentos de natureza diversa - Aplicar conhecimentos prévios - Compreender conceitos/termos - Relacionar o modo de propagação das ondas sísmicas com as diferentes características do interior da Terra	- Ondas sísmicas - Ondas profundas - Ondas P - Ondas S - Densidade - Rigidez - Superfície de descontinuidade	Planeta Terra. Contributos para o seu conhecimento - Dados Geofísicos - Sismologia - As ondas sísmicas na exploração da Terra inacessível	- Descontinuidade de Mohorovicic - Crusta - Manto	Após o registo do sumário, o professor solicita aos alunos que relembrem (observem) o gráfico do Exercício de Aplicação resolvido numa das aulas anteriores. Após a reanálise desse gráfico, o docente volta a colocar uma das questões do referido exercício: “Sugira uma divisão do interior terrestre com base nos dados”. Esta questão tem como finalidade que os alunos, orientados pelo professor, relacionem as divisões do interior do globo com superfícies de descontinuidade, isto é, que relacionem as quebras da velocidade de propagação das ondas sísmicas com a passagem de um meio para outro de características diferentes. Assim, o docente questiona os alunos acerca de qual a profundidade, em média, a que se situa a primeira superfície de descontinuidade (descontinuidade de Mohorovicic) e de como se terá chegado a esta conclusão. Neste sentido, é projectado um acetato, onde se encontram descritas observações efectuadas, aquando de um sismo ocorrido na Jugoslávia em 1909, por Mohorovicic. Os dados aí presentes permitem aos alunos a resolução, em grupo turma, da actividade número 12 da página 82 do manual escolar. Posteriormente, atendendo que os alunos possuem conhecimentos, de anos anteriores relativos a esta temática,

^{*1} Intenções a perseguir ao longo do ano lectivo.

Materiais/Recursos didácticos: quadro negro; manual escolar; acetato; retroprojector.

Núcleo de Estágio 11º grupo B – 1999/2000

Intenções (professor)	Competências (objectivos)	Conteúdos/Saberes			Estratégia
		Conhecimentos Prévios	Apresentação / Desenvolvimento	Termos / Conceitos	
*¹ Proporcionar a compreensão de que o estudo da estrutura interna da Terra, é baseado ou inferido a partir de dados científicos provenientes de várias ciências - Proporcionar a compreensão de que o estudo do comportamento das ondas sísmicas se apoia na aplicação de dados de outras ciências - Conduzir os alunos a compreender as características do globo terrestre a partir do comportamento das ondas sísmicas que o atravessam *¹ Intenções a perseguir ao longo da unidade de ensino: Estrutura da Terra. Contributos para o seu conhecimento.	- Compreender que os modelos da estrutura da Terra são baseados ou inferidos a partir de uma ampla variedade de dados científicos - Compreender que o estudo do comportamento das ondas sísmicas se apoia na aplicação de dados de outras ciências - Reconhecer a existência de superfícies de descontinuidade no interior do globo terrestre <i>Área psico-motora</i> - Manusear correctamente o material escolar / didáctico <i>Área de comunicação e expressão</i> - Utilizar a expressão oral, escrita e/ou gráfica de forma correcta e rigorosa - Utilizar correctamente a linguagem científica				o professor interroga-os acerca de quais as camadas que a superfície de descontinuidade de Mohorovicic separa. Com esta questão pretende-se que os alunos identifiquem essas camadas: crosta e manto (da periferia para o centro do globo). O professor refere ainda que, com base no estudo da velocidade de propagação das ondas sísmicas no interior do globo, foi possível determinar diferenças entre a crosta continental e a crosta oceânica. Na crosta continental a velocidade de propagação das ondas P é de 6 Km/s, enquanto que na crosta oceânica é de 7 Km/s. Após esta referência, o docente questiona os alunos de quais os factores que contribuem para as diferenças de velocidade de propagação das ondas sísmicas. Com esta questão pretende-se que os alunos relacionem as diferenças de composição com a variação da velocidade de propagação das ondas sísmicas. Esta variação da velocidade de propagação das ondas P, ao longo da crosta, deve-se à sua composição, pois, sendo a crosta continental constituída essencialmente por rochas graníticas ($d=2,7$), enquanto que a oceânica é constituída, principalmente, por rochas basálticas mais densas ($d=2,9$). Este aumento de velocidade, também está relacionado com o aumento de rigidez dos materiais. É de salientar, tendo por base os dados fornecidos pelos sismogramas, que a profundidade da crosta não é constante, variando entre os 5 e os 10 Km de espessura sob os oceanos, e entre os 20 e os 70 Km sob os continentes, sendo os valores mais elevados atingidos nas grandes cadeias montanhosas continentais. Neste momento, apela-se aos alunos que relembrem os métodos que contribuem para o conhecimento do interior da Terra, leccionados no início do ano lectivo. Após estes recordarem, mentalmente, o professor questiona-os, no sentido de estes identificarem quais os métodos que permitiram recolher informação directa sobre a composição da crosta. - a observação de rochas da superfície terrestre; - estudos realizados em explorações mineiras; - as sondagens com recolha de amostras de rochas de zonas mais profundas da crosta.

Núcleo de Estágio 11º grupo B – 1999/2000

Mapa de Planificação – Aula n.º ____ / 13ª de Sismologia

Escola Secundária de Vila do Conde “José Régio” Turmas: B1, C1, D1, F1 10º Ano CTV Unidade: Estrutura da Terra. Contributos para o seu conhecimento Sub-unidade: Dados Geofísicos / Sismologia Professores: Dilermando Carvalho; Goreti Castro; Luís Pedro Céu; Patrícia Nunes	Sumário: <i>Superfícies de descontinuidade no Globo Terrestre: descontinuidade de Gutenberg, Zona de sombra sísmica.</i>	Planificação fundamentada numa perspectiva construtivista.
---	---	---

Intenções (professor)	Competências (objectivos)	Conteúdos/Saberes			Estratégia
		Conhecimentos prévios	Apresentação/Desenvolvimento	Termos /Conceitos	
* Estimular o desenvolvimento do espírito de pesquisa * Estimular o desenvolvimento do espírito crítico * Promover nos alunos espírito de abertura e capacidade de pensar com autonomia * Promover atitudes de responsabilidade cívica e de autodisciplina * Fomentar atitudes de solidariedade e cooperação * Apoiar as iniciativas dos alunos na construção do seu próprio conhecimento * Orientar os alunos na selecção e gestão de informação	<i>Área socio-afectiva</i> - Manifestar curiosidade e vontade de aprender, empenhando-se no aprofundar dos seus conhecimentos - Demonstrar civismo <i>Área cognitiva</i> - Revelar espírito de abertura e capacidade de pensar com autonomia - Seleccionar e consultar documentos de natureza diversa - Aplicar conhecimentos prévios - Compreender conceitos/termos - Relacionar o modo de propagação das ondas sísmicas com as diferentes características do interior da Terra	- Ondas sísmicas - Ondas profundas - Ondas P - Ondas S - Densidade - Rigidez - Superfície de descontinuidade - Descontinuidade de Mohorovicic - Crosta - Manto	Planeta Terra. Contributos para o seu conhecimento 1. Dados Geofísicos 1.1 Sismologia As ondas sísmicas na exploração da Terra inacessível	- Descontinuidade de Conrad - Crosta continental superior - Crosta continental inferior - Descontinuidade de Gutenberg - Núcleo externo - Zona de sombra sísmica	Após o registo do sumário, o professor inicia a aula apelando aos alunos que relembrem a matéria leccionada na aula anterior permitindo aos alunos que façam a auto-correcção do TPC (descontinuidade de Mohorovicic), uma vez que na aula anterior não foi possível concluir a estratégia proposta. De seguida, e na continuação do estudo dos contributos da Sismologia para o conhecimento do interior da Terra, refere que a crosta continental está dividida por uma possível descontinuidade, descontinuidade de Conrad, dando a explicação de como esta foi determinada. As ondas sísmicas sofrem um aumento da sua velocidade de propagação, isto devido a uma composição diferente ou a um aumento da densidade dos materiais devido à influência das altas pressões. Assim sendo, a descontinuidade de Conrad divide a crosta continental em superior e inferior (aproximadamente aos 17 Km de profundidade). Posteriormente, o professor solicita aos alunos que relacionem os dados do gráfico da página 69 com a figura 82 B da página 85 do manual escolar, com a finalidade de verificarem que existe uma zona do globo onde não são registadas ondas P e S directas, a uma determinada distância epicentral – Zona de Sombra Sísmica.

* Intenções a perseguir ao longo do ano lectivo.

Materiais/Recursos didácticos: quadro negro; manual

Intenções (professor)	Competências (objectivos)	Conteúdos/Saberes			Estratégia
		Conhecimentos Prévios	Apresentação / Desenvolvimento	Termos / Conceitos	
* Proporcionar a compreensão de que o estudo da estrutura interna da Terra, é baseado ou inferido a partir de dados científicos provenientes de várias ciências - Proporcionar a compreensão de que o estudo do comportamento das ondas sísmicas se apoia na aplicação s de dados de outras ciências - Conduzir os alunos a compreender as características do globo terrestre a partir do comportamento das ondas sísmicas que o atravessam * Intenções a perseguir ao longo da unidade de ensino: Estrutura da Terra. Contributos para o seu conhecimento.	- Compreender que os modelos da estrutura da Terra são baseados ou inferidos a partir de uma ampla variedade de dados científicos - Compreender que o estudo do comportamento das ondas sísmicas se apoia na aplicação s de dados de outras ciências - Reconhecer a existência de superfícies de descontinuidade no interior do globo terrestre <i>Área psico-motora</i> - Manusear correctamente o material escolar / didáctico <i>Área de comunicação e expressão</i> - Utilizar a expressão oral, escrita e/ou gráfica de forma correcta e rigorosa - Utilizar correctamente a linguagem científica				Neste sentido, resolve-se em grupo turma e com a orientação do professor, a actividade n.º 13 da página 85 do manual escolar. A resolução desta actividade permite aos alunos aplicarem conhecimentos, adquiridos até então. Após a resolução desta actividade, o professor solicita aos alunos que definam zona de sombra sísmica e sua localização relativamente ao epicentro de um sismo. De seguida, o professor apela aos alunos que relembrem os conhecimentos adquiridos até então, acerca da propagação das ondas sísmicas no interior da Terra, para elaborarem uma explicação, a partir dos dados da figura 82, para a existência da zona de sombra sísmica. Com esta estratégia, pretende-se que os alunos relacionem a direcção de propagação das ondas com as diferenças de composição do interior da Terra, isto é, a existência de descontinuidades que provocam essas variações na direcção e velocidade de propagação das ondas. Por último, o docente informa os alunos que esta descontinuidade se designa por descontinuidade de Gutenberg, que separa o manto do núcleo externo aos 2900 Km de profundidade, e que foi a partir destes estudos que se determinou qual a dimensão do núcleo. O professor chama a atenção dos alunos para as questões que haviam sido levantadas por estes, a quando da resolução da actividade n.º 10 da página 69, e a que não haviam sido dado resposta e que neste momento já possuem conhecimentos que lhes permite responder.

III. Reflexão, individual e conjunta, sobre as aulas leccionadas por dois professores do Núcleo de Estágio 1999/2000, da Escola Secundária José Régio – Vila do Conde

Aula 1

Resolução de actividades de diagnóstico.
Levantamento das ideias prévias dos alunos relativamente à Sismologia.

Reflexão individual	Reflexão conjunta
	99/11/22 Através da observação de imagens alusivas a sismos, nomeadamente à sua componente destruidora, foram levantadas questões sobre as causas de sismos. Esta situação poderia ter sido mais explorada numa vertente CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade), transmitindo aos alunos uma perspectiva mais humanizada da construção de ciência. Contudo, houve uma dificuldade generalizada em propor modelos de possíveis actividades CTS, por ausência de referências didácticas de aplicação prática dos modelos defendidos teoricamente.

Aula 2

Resolução de uma ficha (in)formativa referente ao sismo de Lisboa ocorrido em 1755.

Reflexão individual	Reflexão conjunta
	00/01/21 Durante a resolução da ficha de trabalho, o estagiário(a) apelou, na generalidade sem êxito, ao conhecimento de conceitos abordados no 7º ano de escolaridade, o que poderia ter sido ultrapassado por uma revisão/actividade de pesquisa, em casa/biblioteca da Escola, para recordar conceitos abordados em anos anteriores. Nesta perspectiva, a resolução da ficha na sala de aula poderia ter sido mais proveitosa, na medida em que permitiria ao professor avaliar o grau de compreensão e de inter-relacionamento de conceitos já trabalhados em currículos anteriores. Os alunos revelaram dificuldade na compreensão e distinção dos conceitos de intensidade e de magnitude. Aliás, verificou-se que esta dificuldade se manteve ao longo da unidade, sempre que estes conceitos eram abordados. Foram abordados demasiados conceitos na especialidade que, nesta fase de introdução ao estudo do tema, deveriam ter sido abordados na generalidade.

Aula 3

Estudo das causas de sismos.

Resolução de uma actividade do manual escolar, relativa às causas de sismos.

Reflexão individual	Reflexão conjunta
99/11/11 Foram discutidas situações susceptíveis de originarem/causarem sismos (como por exemplo: tectónica, situações de colapso, vulcanismo,...), mas não foi explorada a relação entre a actividade sísmica e a libertação de energia acumulada. A classificação dos materiais em plástico, frágil e elástico, função do seu comportamento quando sujeitos à actuação de forças, foi feito utilizando diferentes materiais, nomeadamente, um lápis, elástico, plasticina e uma esponja; paralelamente foi introduzido o conceito de resistência dos materiais. Contudo, não foi feita a transposição desta situação para os materiais rochosos (granitos, argilitos,...).	00/01/21 Se as causas de sismos podem ser tectónicas, talvez fosse de relembrar alguns conceitos fundamentais da Teoria da Tectónica de Placas, como por exemplo: - as placas tectónicas estão animadas de movimento, sendo o motor desse movimento a energia existente no interior da Terra; - os limites das placas tectónicas são zonas de tensão, onde existe acumulação de energia em consequência de actuação de forças compressivas, distensivas ou de cisalhamento. Sem esta contextualização, a aprendizagem significativa do conceito de sismo tectónico é dificultada, senão mesmo impossível. Foram discutidos conceitos muito abstractos, como por exemplo, os conceitos de falha e de movimento de falha. A existência de material didáctico tridimensional e animado (em CD-Rom, por exemplo), facilitaria, senão a compreensão, pelo menos a explicação dos conceitos implícitos nesta aula.

Aula 4

Estudo das causas de sismos (continuação).

Sismos tectónicos.

Reflexão individual	Reflexão conjunta
99/11/15 Foram analisados, em acetato, os diferentes tipos de limite de placas tectónicas e do tipo de forças actuates. Discutiu-se o conceito de placa tectónica e os tipos de placas. Relativamente aos tipos de placas – continentais e oceânicas – foi discutido também o seu limite, verificando-se que a maior parte dos alunos referem, no caso das placas continentais, o limite do continente como o limite da placa (concepção alternativa); esta concepção foi trabalhada, tendo uma aluna chegado a referir que as placas continentais são mistas, uma vez que também transportam parte de oceano(s). Não foi clara a relação “limite de placas/actuação de forças/acumulação de energia/zona sísmica”.	00/01/28 A abordagem do conceito de placa tectónica continental deve ter em conta que, na generalidade, os alunos apontam o limite do continente como o limite da placa. Os alunos manifestaram uma outra ideia errónea – todas as falhas são visíveis à superfície terrestre – talvez sugestionada pela utilização sistemática da imagem da Falha de Santo André. Mais uma vez, o recurso a imagens animadas teria permitido aos alunos uma melhor visualização dos diferentes contextos geotectónicos e, por conseguinte, uma melhor aproximação à realidade geológica. Apesar de algumas destas animações estarem disponíveis nos CD-Rom de alguns livros científicos, a sua visualização não é possível na sala de aula normal da maior parte das escolas, não sendo esta excepção.

Aula 5

Estudo das causas dos sismos tectónicos.
Introdução ao estudo das ondas sísmicas.

Reflexão individual	Reflexão conjunta
99/11/15	00/01/28
Os alunos foram questionados, durante bastante tempo, sobre assuntos relativamente aos quais não tinham dados para discussão. Ex: as falhas só existem nos limites das placas ou também existem no seu interior? Não se introduziu o estudo das ondas sísmicas.	Surgiu uma dúvida de natureza científica: a libertação da energia sísmica provoca a ruptura dos materiais rochosos ou é a ruptura que permite a libertação desta energia?

Aula 6

Estudo das ondas sísmicas: propagação e tipos.

Reflexão individual	Reflexão conjunta
99/11/16	00/01/28
Fizeram-se apelos à memória de conceitos não leccionados em currículos anteriores que, dada a sua especificidade, dificilmente seriam referidos pelos alunos. Ex: tipos de ondas sísmicas existentes e meios de propagação das ondas sísmicas. A exploração das fórmulas que exprimem a velocidade de propagação das ondas sísmicas P e S poderia ter sido mais trabalhada, variando os valores dos seus parâmetros (rigidez e densidade). A transposição destes valores para materiais rochosos facilitaria a compreensão posterior do estudo da variação da velocidade <i>versus</i> composição do interior da Terra, o que não foi feito.	Nesta aula foram abordados conceitos que envolvem outros saberes disciplinares, nomeadamente do campo da Física. É o caso da propagação das ondas sísmicas. Foram também abordados conceitos de grau elevado de abstracção (para este nível de escolaridade), nomeadamente, o modo de propagação da energia (sísmica) e o conceito de raio sísmico. Contudo, a compreensão destes conceitos, por parte dos alunos, é fundamental para a compreensão, por sua vez, da relação “propagação das ondas sísmicas/estrutura interna da Terra”. Relativamente ao conceito de raio sísmico, a sua compreensão é importante uma vez que o raio sísmico é um modo de representação esquemática das ondas sísmicas. E no que diz respeito a representações, verifica-se que a utilização de imagens a duas dimensões, para explicar fenómenos tridimensionais, dificulta aos alunos a compreensão dos mesmos. Assim, foi consensual a necessidade de investigar, do ponto de vista didáctico, estes dois conceitos, pois a sua não compreensão impede que se atinja o objectivo geral desta unidade curricular – compreender o contributo da sismologia para o conhecimento da estrutura interna da Terra. Surgiram também dúvidas de carácter científico: - ondas sísmicas P e S ou componente P e S da onda sísmica? como interferem, à superfície, as ondas P e S para formarem as ondas de Love e de Rayleigh?

Aula 7

Estudo da velocidade das ondas sísmicas profundas.
Resolução de um exercício de aplicação.
Detecção e registo dos sismos.

Reflexão individual	Reflexão conjunta
99/11/19	00/02/25
Os alunos tiveram dificuldade em entender por que razão	No que diz respeito à variação da velocidade das ondas S,

as ondas P se propagavam em todos os meios e as ondas S não se propagavam em meios líquidos. A explicação para estes factos, sustentada na análise das fórmulas da velocidade das ondas P e S foi também de difícil compreensão. Os alunos não dominam o significado de “variação na razão directa” e “variação na razão inversa”, daí a dificuldade também revelada em compreender o modo como varia a velocidade das ondas, através da análise das suas fórmulas. A análise do gráfico que exprime a variação da velocidade das ondas sísmicas internas, no interior da Terra, suscitou alguma discussão em torno do facto de as ondas S se voltarem a propagar no núcleo interno. Com base na análise deste gráfico, e nas variações bruscas de velocidade que ele evidência, foi solicitado aos alunos uma possível divisão do interior da Terra. Os alunos dividiram o interior da Terra em 4 camadas, contudo o professor não introduziu o conceito de crosta, manto, núcleo externo e núcleo interno. Com base na não propagação das ondas S entre os 2900 e os 5150 km de profundidade, discutiu-se ainda o estado físico dessa zona terrestre. Os alunos revelam ainda dificuldades na interpretação/leitura de gráficos.	no interior da Terra, os livros consultados divergem nos gráficos apresentados: nuns as ondas S voltam a propagar-se para além dos 5150 km de profundidade (Telles Antunes, 1991; Dercourt e Paquet, 1986); noutros, não (Chernicoff e Fox, 1997; Murck e Skinner, 1999; Wyllie, 1976). De acordo com Bolt (1999), as ondas PKJKP, são ondas que se propagam como S no núcleo interno, apesar de ainda não terem sido registadas. Por sua vez, Dercourt e Paquet referem que as ondas S' (ondas S que se propagam para além da zona de sombra sísmica) atravessam o núcleo externo sob a forma de ondas de compressão, designando-as por ondas SKS. Os autores que não referem a propagação das ondas S no núcleo interno não apresentam justificação. Relativamente ao tema abordado (estudo das ondas sísmicas) e tendo em conta a sua relevância para o conhecimento da estrutura interna da Terra, há a necessidade de esclarecer algumas dúvidas, nomeadamente: - por que razão a bibliografia não é unânime relativamente à propagação, ou não, das ondas S no núcleo interno? - as ondas SKJKS (ondas S') existem? uma onda sísmica directa é uma onda que não sofre reflexões ou refacções?
---	---

Aula 8

Estudo da intensidade sísmica e magnitude.
Resolução de exercícios de aplicação.

Reflexão individual	Reflexão conjunta
99/11/22 Exploração dos conceitos de intensidade sísmica (escala de Mercalli) e de magnitude (escala de Richter) e dos factores que os condicionam (no primeiro caso, a distância ao epicentro, a geologia local, do tipo de construção, da densidade populacional,..., e no segundo caso, a quantidade de energia libertada no foco).	00/03/03 Não foi feita uma reflexão conjunta dado esta aula ter sido prática (resolução, em grupo, de uma ficha de trabalho).

Aulas 9 e 10

Determinação do epicentro de um sismo.
Resolução de uma actividade de aplicação

Reflexão individual	Reflexão conjunta
99/11/22 e 23 Os alunos enumeram com facilidade as características das ondas sísmicas já estudadas (velocidade, modo de propagação e amplitude). No âmbito da resolução de um exercício, foi abordado o conceito de zona de sombra, apenas de forma descritiva (localização relativamente ao epicentro, ausência de propagação de ondas directas); não foram discutidas as suas implicações no conhecimento da estrutura interna da Terra. Contudo, não era objectivo deste exercício, o estudo desta zona, nem das suas implicações, mas sim a determinação do epicentro de um sismo.	00/03/03 Não foi feita uma reflexão conjunta dado esta aula ter sido prática (resolução, em grupo, de um exercício).

Aula 11

Reflexão e refração das ondas sísmicas.

Reflexão individual	Reflexão conjunta
99/11/25 Definição, mediante o recurso a imagens, dos conceitos de reflexão e de refração. Os alunos interrogaram bastante sobre a razão pela qual as ondas se reflectem e se refractam e se se podem reflectir e refractar simultaneamente. Foi introduzido o conceito de descontinuidade, que os alunos compreenderam, pelo menos aparentemente, sem dificuldades, com base na representação gráfica, dos conceitos de reflexão e de refração. Os professores estagiários referiram que o facto dos raios sísmicos serem curvilíneos se devia ao aumento da velocidade de propagação das ondas sísmicas, em função do aumento de profundidade.	00/03/17 Relativamente ao conceito de raio sísmico, os alunos são capazes de defini-lo, mas não compreendem o seu significado (quando questionados, os alunos definem raio sísmico como sendo uma trajectória perpendicular à superfície de onda, mas não sabem representá-lo no quadro). Dúvidas a esclarecer do ponto de vista teórico: - as ondas podem reflectir-se e refractar-se em simultâneo? - como se justifica que os raios sísmicos, no interior da Terra, sejam curvilíneos? (devido às refrações sucessivas, em função da não homogeneidade do interior da Terra e das variações pontuais, ao nível de uma camada estrutural da Terra e/ou devido ao aumento de velocidade em profundidade).

Aula 12

Superfícies de descontinuidade no globo terrestre: descontinuidade de Mohorovicic.

Reflexão individual	Reflexão conjunta
99/11/26 Foram analisados alguns dos factos observados por Mohorovicic, que o levaram a definir a descontinuidade crusta/manto. Os alunos tiveram muita dificuldade em interpretar esses dados e a linha de raciocínio do investigador, ou seja, não foram capazes de relacionar estas observações com as refrações e reflexões que as ondas sísmicas sofrem no interior da Terra. O professor, para tentar ultrapassar as dificuldades de interpretação/compreensão, esquematizou, sem êxito, diagramas de reflexão e refração no interior da Terra. Definiu-se onda directa como uma onda que não sofre reflexões e/ou refrações, e onda indirecta como uma onda que é reflectida e/ou refractada. Foi levantada a questão da descontinuidade de Conrad (o aumento da velocidade na crusta continental, sensivelmente a 17 km de profundidade, devido provavelmente a um aumento de rigidez a essa profundidade); outros questionaram como se sabe a profundidade das camadas se é impossível medi-las directamente; a resposta do professor foi transmissiva/descritiva (estudos científicos apontam para....indicam que....).	00/03/31 As dificuldades reveladas pelos alunos, em compreender e interpretar os factos observados por Mohorovicic, prendem-se, em nosso entender, com: - falta dos conhecimentos teóricos implícitos nas suas observações, nomeadamente, sobre as leis da reflexão e da refração; - recurso sistemático a esquemas a duas dimensões, sendo difícil aos alunos extrapolar para a realidade, a três dimensões. Os alunos entendem “visualmente” os conceitos de reflexão e de refração mas não interpretam dados baseados nestes conceitos, na medida em que desconhecem os fundamentos físicos destes fenómenos. Concorre também, para estas dificuldades reveladas pelos alunos, a utilização de esquemas planos – o aluno não transpõe para a realidade, situações analisadas e discutidas a duas dimensões. Este facto contribui, também, para a dificuldade em compreender a Terra como uma estrutura concêntrica. O modo como se calcula a profundidade das camadas será uma das áreas a aprofundar, do ponto de vista científico.

Aula 13

Superfícies de descontinuidade no globo terrestre: descontinuidade de Gutenberg.

Reflexão individual	Reflexão conjunta
99/11/30 Discutiu-se o conceito de zona de sombra, enquanto zona da superfície terrestre onde não se registam ondas sísmicas directas. Os alunos não conseguiram relacionar esta zona com as refacções e reflexões sofridas pelas ondas sísmicas. Os alunos questionaram, com frequência, por que razão a zona de sombra sísmica se situa sempre à mesma distância do epicentro. Não foi explícita a relação zona de sombra/descontinuidade de Gutenberg.	00/03/31 Dúvidas de âmbito científico que surgiram durante a discussão: - Corte Real Lima refere (pág. 41) que na zona de sombra podem ser registadas ondas PKIKP de fraca intensidade; que outras ondas podem ser registadas? registam-se ondas SKIKS? SKJKS? PKJKP? - por que razão a zona de sombra sísmica se situa sempre à mesma distância do epicentro? será devido ao desvio da trajectória, imposto pelo núcleo externo, de acordo com a Lei de Snell? A complexidade associada ao conceito de zona de sombra, dificulta a inovação ao nível das estratégias de ensino/aprendizagem.

Aula 14

Superfícies de descontinuidade no globo terrestre: descontinuidade de Wiechert/Lehmann.
Zona de baixa velocidade.

Reflexão individual	Reflexão conjunta
99/11/30 Ao alunos foram confrontados com dois mapas diferentes relativos à velocidade de propagação das ondas P e S; num, as ondas S propagam-se no núcleo interno, no outro, não. A explicação sugerida para esta diferença foi que o primeiro mapa se refere à propagação das ondas sísmicas em geral (directas e indirectas) e que o segundo apenas se refere às ondas sísmicas directas. A descontinuidade de Lehmann foi introduzida de uma forma simples, referindo apenas que se verificou um aumento da velocidade de propagação das ondas P – se o núcleo interno fosse todo líquido, a velocidade das ondas que o atravessam seria de x; contudo verificou-se ser de $x+y$.	00/03/31 Com base na fórmula matemática da velocidade das ondas P, os alunos justificaram a diferença entre a velocidade esperada e a registada, apontando como causa desta variação a rigidez (variável da equação de velocidade das ondas). A descontinuidade de Lehmann terá sido, porventura, mais facilmente compreendida do que a de Gutenberg, dado que assenta preferencialmente em raciocínio matemático, com o qual alguns alunos estão mais familiarizados, ao passo que a de Gutenberg tem, essencialmente, implícito um raciocínio físico-matemático.

Aula 15

Revisões.

IV. Planificações dos Núcleos de Estágio do 11º Grupo B-2000/2001, das Escolas Secundárias Penafiel 1 e Penafiel 2 do tema curricular “A Estrutura da Terra – contributos da Sismologia para o seu conhecimento” do 10º ano de escolaridade

**ESCOLA SECUNDÁRIA DE PENAFIEL N.º 1
PLANIFICAÇÃO A CURTO/MÉDIO PRAZO DE
CIÊNCIAS DA TERRA E DA VIDA - 10º ANO**

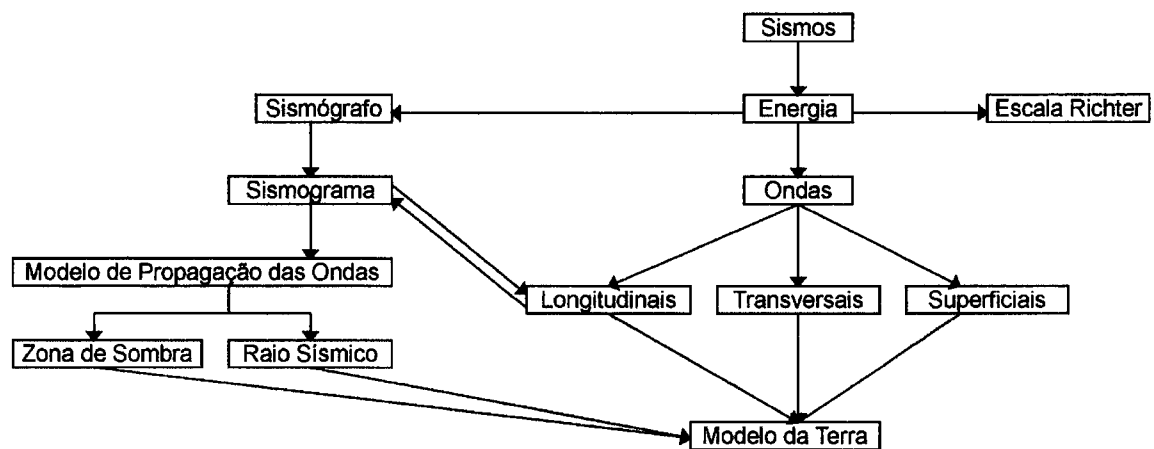
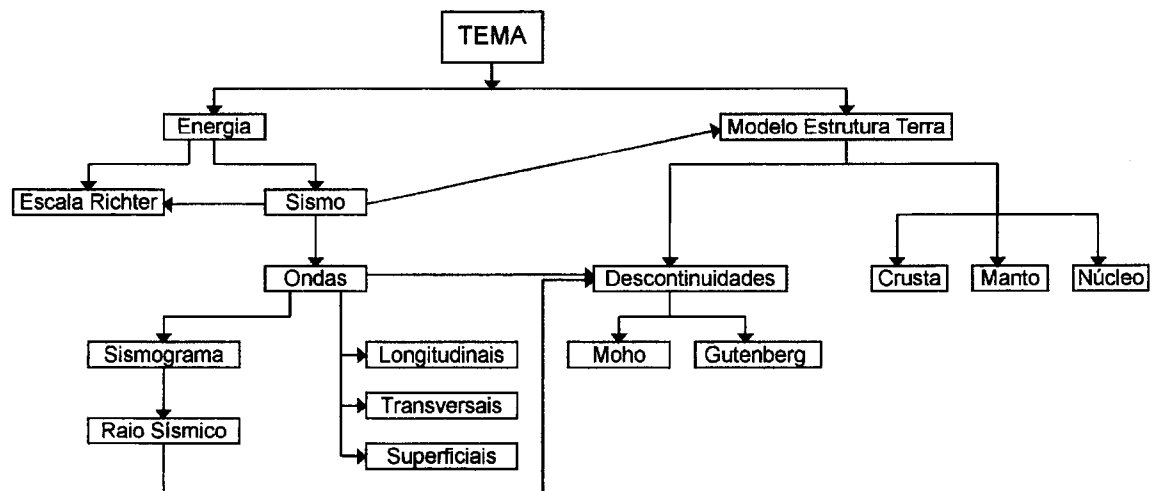
UNIDADE DE ENSINO: Estrutura da Terra - contributos para o seu conhecimento
SUB-UNIDADE DE ENSINO: Dados Geofísicos
CONTEÚDOS: Sismologia

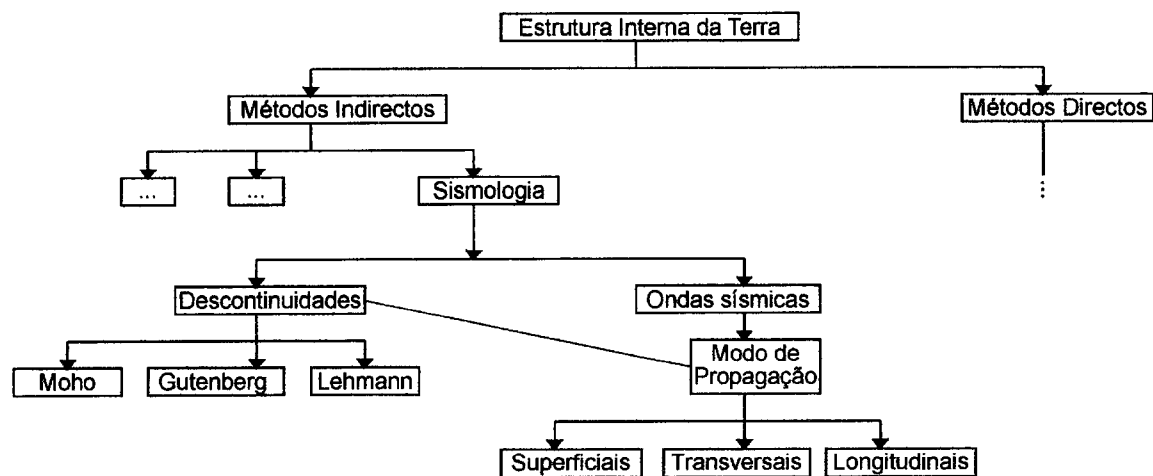
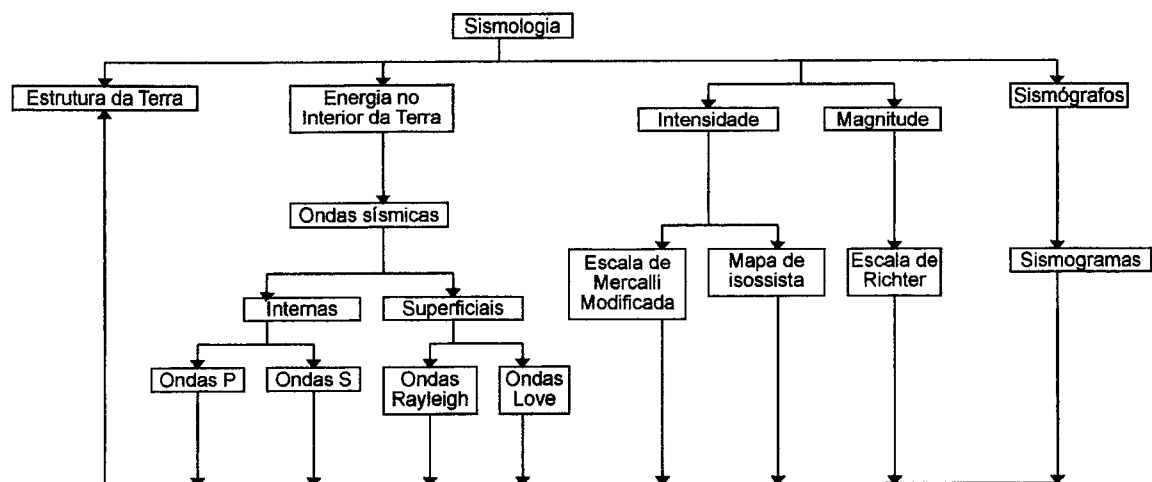
ESTRATÉGIA	ACTIVIDADES	AULAS
Detectar as concepções dos alunos acerca de sismologia. Partindo de análises quotidianas, compreender as principais causas dos movimentos sísmicos.	- Diálogo com os alunos acerca do que é um sismo, sua origem e causas. - Documento 1: “Os Açores entre três placas”.	1
Identificar os fenómenos que estão na origem dos sismos e relacionar a sua ocorrência com a acção de forças que se desenvolvem no interior do planeta.	- Exploração da Fig. 1 da página 46 do manual escolar adoptado, relativa ao mecanismo de formação de sismos em falhas. - Exploração do acetato nº1: “Açores - Instabilidade porquê?”	2
Compreender que os sismos podem ser causados por diferentes tipos de movimentos.	- Discussão em torno dos elementos presentes no quadro da página 47 do manual escolar adoptado.	3
Através de situações concretas analisar a intensidade de um sismo em diferentes pontos do globo.	- Resolução de exercícios da página 50 do manual escolar adoptado.	4
Referir que a libertação de energia durante um sismo sob a forma de ondas sísmicas.	- Exploração do acetato nº2: “Tipos de ondas sísmicas e sismogramas”. - Diálogo com os alunos.	5
Partindo de análises quotidianas, levar os alunos a conhecer e a caracterizar os diferentes tipos de ondas sísmicas.	- Realização de uma actividade relativa à actividade das ondas sísmicas - Documento 2: “Propagação de ondas sísmicas”.	
Relacionar o trajecto das ondas sísmicas com as características dos materiais.	- Exploração do acetato nº3: “Contributos de dados geofísicos para o conhecimento da estrutura da Terra”.	6
Relacionar os dados fornecidos pela sismologia com a existência de diferentes tipos de descontinuidade.	- Resolução de exercícios da página 56 do manual escolar adoptado.	
Através da análise de esquemas, identificar no globo terrestre a existência de uma zona de sombra.	- Exploração do acetato nº4: “Conhecimento da estrutura do Globo Terrestre- dados indirectos”. - Documento 3: “Trajecto de ondas sísmicas através do Globo”.	7
Síntese de conhecimentos construídos.	- Resolução de exercícios da página 75 do manual escolar adoptado.	8

ESCOLA SECUNDÁRIA DE PENAFIEL N.º 2
Ciências Naturais 7º Ano
PLANIFICAÇÃO DO 1º PERÍODO **2000/2001**

CONTEÚDOS	OBJECTIVOS	ESTRATÉGIAS	RECURSOS DIDÁCTICOS	N.º DE AULAS (previstas)	AValiação
INTRODUÇÃO: - A Terra no espaço - Um modelo da estrutura interna da Terra - Crosta, Manto, núcleo – algumas características	- Suscitar interesse para a temática: A Terra no Espaço. - Conhecer a noção de Universo ou Cosmos e principais constituintes. - Identificar a Terra como parte do Sistema Solar. - Compreender que a Terra se integra, juntamente com outros corpos celestes no Sistema Solar. - Compreender o Modelo da estrutura do globo terrestre. - Reconhecer a importância da astronomia para o conhecimento do Universo.	- Pesquisa de material bibliográfico, fotográfico, etc. relacionada com a temática, realizada pelos alunos. - Observação e reflexão sobre o material recolhido pelos alunos, orientando a discussão, com imagens representativas da história do Universo. - Observação dos constituintes do sistema solar através das imagens representativas. - Recolha de material relacionado com a investigação espacial (fotografias, textos, notícias, etc.).	Retroprojector Acetatos Livros e material recolhido pelos alunos	10	Fichas de avaliação formativas Grelhas de observação Perguntas durante as aulas
MANIFESTAÇÕES DA ACTIVIDADE GEOLÓGICA: - Agentes internos modificadores do globo terrestre: - Os Vulcões; - Os Sismos.	- Reconhecer o vulcanismo e a sismicidade como sendo manifestações da actividade da Terra. - Identificar os constituintes de um vulcão. - Relacionar os tipos de materiais emitidos pelos vulcões com as características da respectiva actividade vulcânica. - Reconhecer a importância do aproveitamento de alguns fenómenos vulcânicos em sectores de actividade humana. - Identificar manifestações da actividade geológica em diferentes regiões do globo terrestre, particularmente em Portugal. - Relacionar a ocorrência dos sismos com forças que se desenvolvem no interior do planeta. - Conhecer diferentes normas de segurança que minimizam os efeitos dos sismos.	- Sabentar a importância da importância da investigação da actividade sísmica e vulcânica na aceitação do modelo da estrutura do globo terrestre. - Observação de material didáctico revelador das manifestações de actividade terrestre (TL). - Observação de materiais de origem vulcânica relacionados com o tipo de actividade vulcânica. - Esclarecimento, com entidades da protecção civil, sobre a situação concreta do nosso país neste campo.	Vídeo Retroprojector Panfletos Amostras de material vulcânico	20	Teste de avaliação sumativa
OUTROS TESTEMUNHOS DA ACTIVIDADE DA TERRA: - Aspectos característicos de uma paisagem granítica e basáltica - Génese das rochas magmáticas - referência a rochas plutónicas e vulcânicas	- Conhecer as características das paisagens graníticas e basálticas. - Compreender as condições de formação das rochas magmáticas. - Identificar exemplos da utilização de rochas magmáticas por parte do Homem.	- Observação de imagens sobre os dois tipos de paisagem. - Comprovação no campo das diferenças de paisagem, através de uma saída de campo (TC). - Observação de diferentes amostras de rochas magmáticas e sua identificação. - Experiência elucidativa de fusão e cristalização de enxofre, da página 74 do manual adoptado.	Material para a experiência: - enxofre em pó - lamparina - pinça - cadinho - fósforos - bisturi - colher - placa de vidro - gobelé com água	15	Teste de avaliação sumativa

V. Cartas de exploração do tema curricular “A Estrutura da Terra – contributos da Sismologia para o seu conhecimento”, elaboradas pelos professores do segundo grupo de reflexão





VI. Matrizes dos acetatos

ACETATO 1

ORGANIZAÇÃO CURRICULAR DO TEMA		
"ESTRUTURA DA TERRA – CONTRIBUTOS PARA O SEU CONHECIMENTO / A SISMOLOGIA		
in Ciências da Terra e da Vida, 10º-11º anos, ORIENTAÇÕES DE GESTÃO DE PROGRAMAS, ME/DES, JULHO DE 1996		
Conceitos	Objectivos	Termos e conceitos
*** ESTRUTURA DA TERRA – contributos para o seu conhecimento [...] ** DADOS GEOFÍSICOS [...] * A SISMOLOGIA – Ondas sísmicas – modo de propagação – Detecção dos sismos – Intensidade e magnitude – Causas de sismos ** UM MODELO DE ESTRUTURA DA TERRA - Crosta, manto e núcleo	• Compreender que os modelos propostos para a estrutura da Terra são baseados ou inferidos a partir de uma ampla variedade de dados científicos. [...] • Compreender as características dos materiais terrestres a partir da exploração de registos sísmicos. • Aplicar dados de outras ciências à compreensão do comportamento das ondas sísmicas • Relacionar os sismos com a existência de correntes de convecção e de placas tectónicas. • Relacionar algumas estruturas tectónicas com a frequência e a magnitude dos sismos. • Aplicar dados da planetologia e dados geofísicos na compreensão do modelo para a estrutura da Terra	Ondas longitudinais Ondas transversais Ondas superficiais Raio sísmico Zona de sombra Sismo Sismograma Escala de Richter Terramoto Marmoto Raz de maré Fenómenos pré-monitórios Descontinuidade de Gutenberg Descontinuidade de Moho Crosta Manto Núcleo externo Núcleo interno

ACETATO 2

Desenvolvimento curricular proposto pelo documento de Orientação de Gestão de Programas (OGP's)

Princípios orientadores (ME/DES, 1996, págs. 1 e 2)

- Paradigma construtivista, por referência a um aluno activo que, participando no processo de aprendizagem, construa o seu próprio conhecimento
- Utilização de metodologias investigativas (entendida no sentido de pesquisa e não de carácter meramente demonstrativo), que envolvam a compreensão dos factos, princípios e teorias, de modo a possibilitarem a compreensão real das questões estudadas mediante aprendizagens significativas.

ACETATO 3

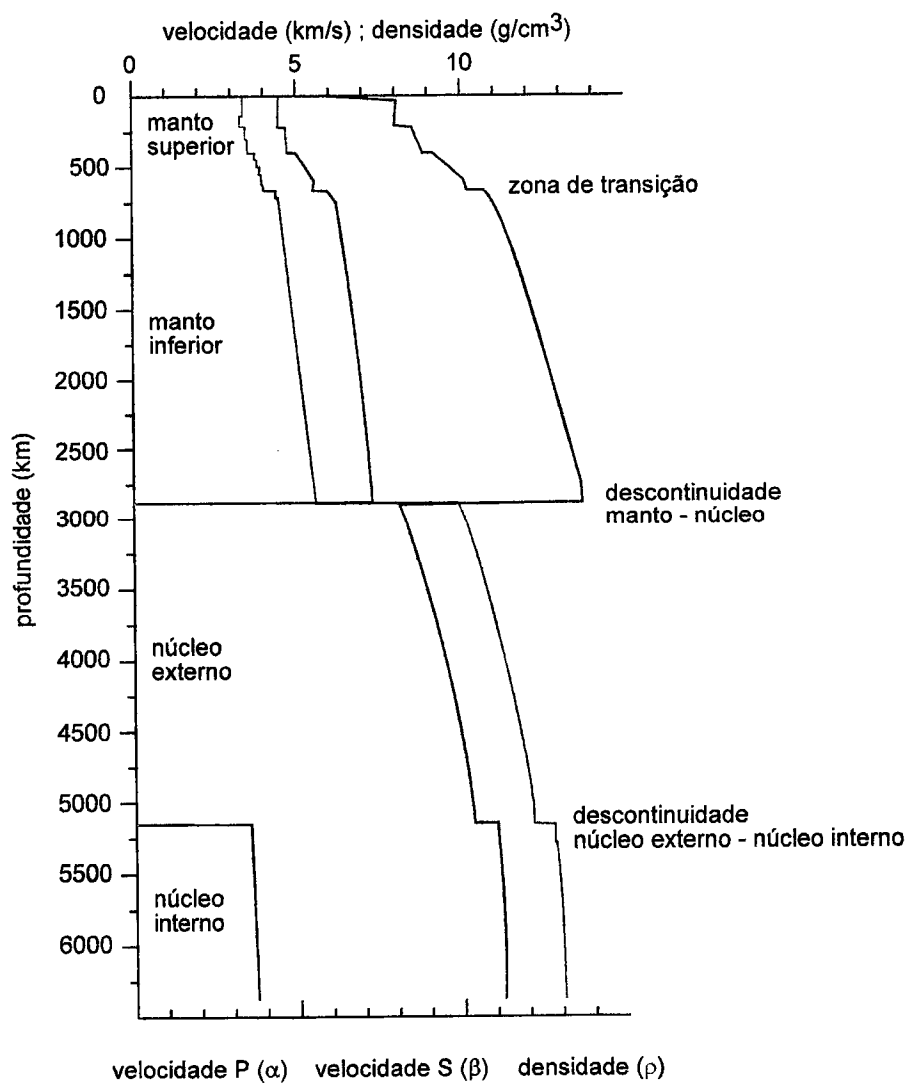
Dificuldades de natureza científica arrastam dificuldades de natureza didáctica

Conceitos de ordem superior	Conceitos de ordem inferior
▪ Propagação de energia sísmica ▪ Reflexão e refacção da energia sísmica	▪ Onda(s) sísmica(s) ▪ Onda directa ▪ Raio sísmico ▪ Zona de sombra

ACETATO 4

ESTRUTURA INTERNA DA TERRA

Modelos de velocidade

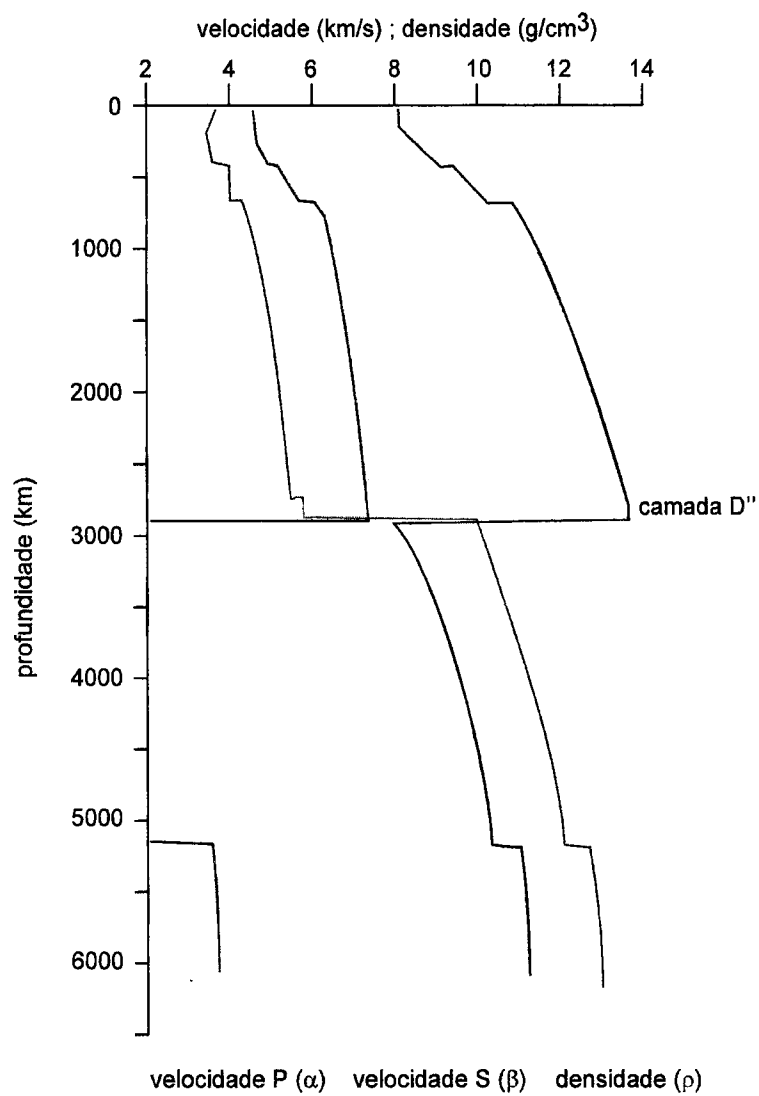


Modelo **PREM** (Dziewonski e Anderson, 1981)

ACETATO 5

ESTRUTURA INTERNA DA TERRA

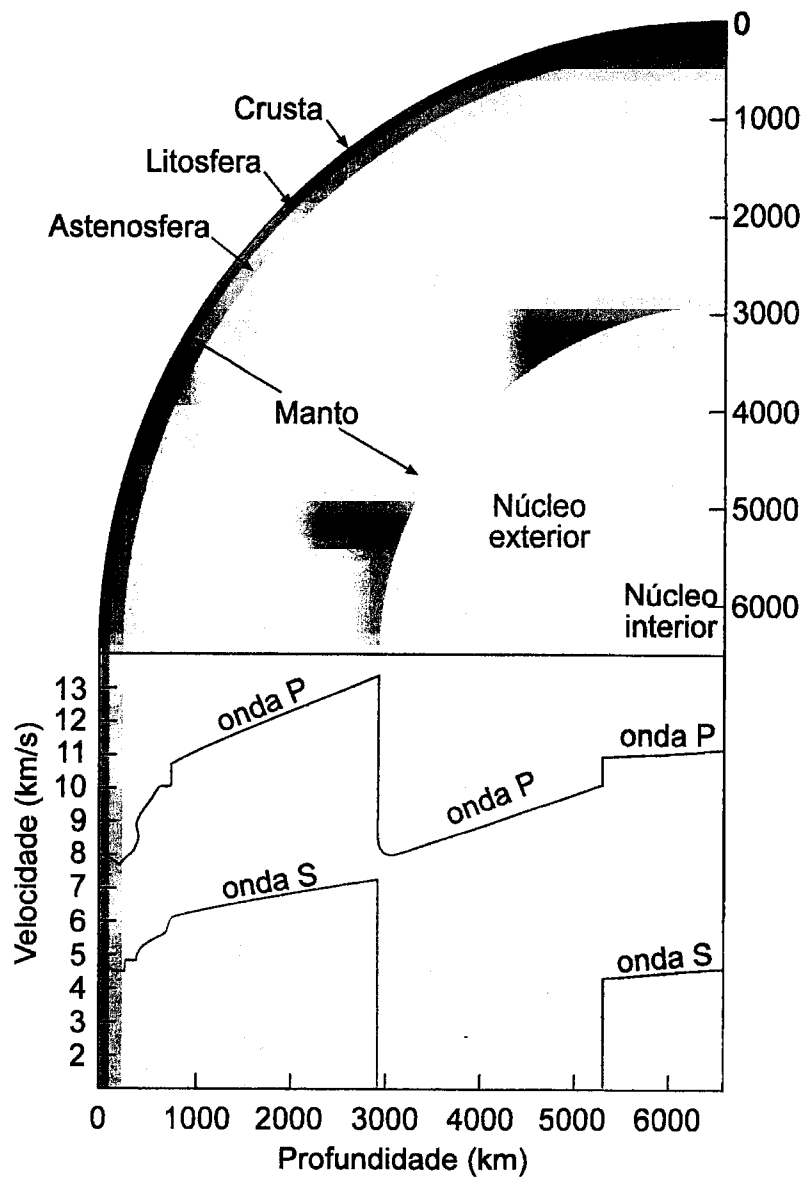
Modelos de velocidade



Modelo ak135 (Kennett, Engdahl e Buland, 1995)

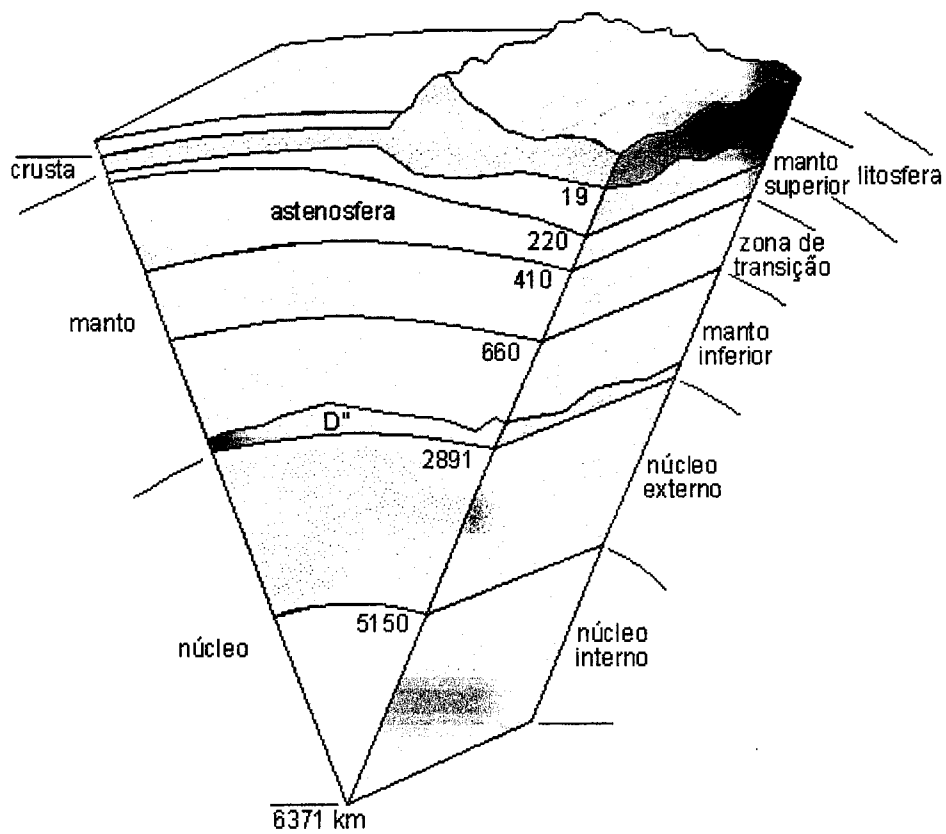
ACETATO 6

PERFIL 1-D DA ESTRUTURA INTERNA DA TERRA



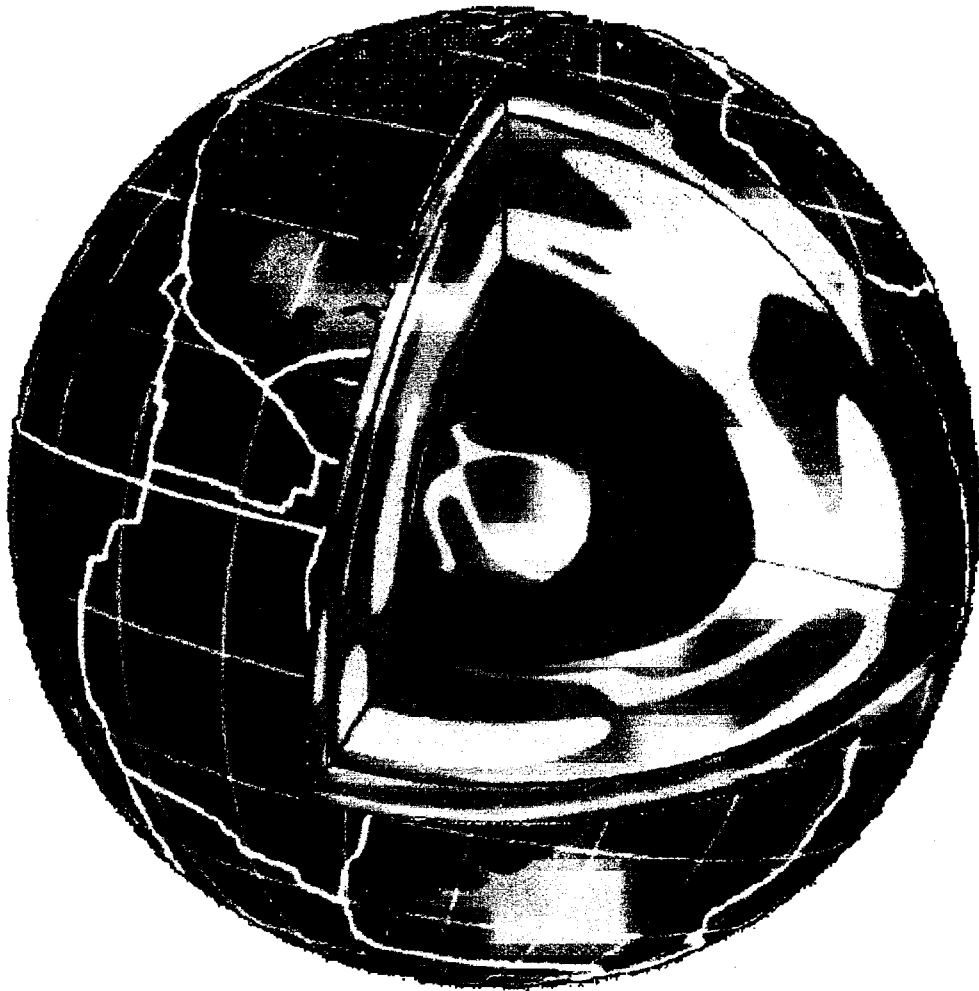
A variação, em profundidade, da velocidade de propagação das ondas P e S “revela” a sucessão de camadas que compõe o interior da Terra

ACETATO 7

MODELO 3-D DA ESTRUTURA INTERNA DA TERRA

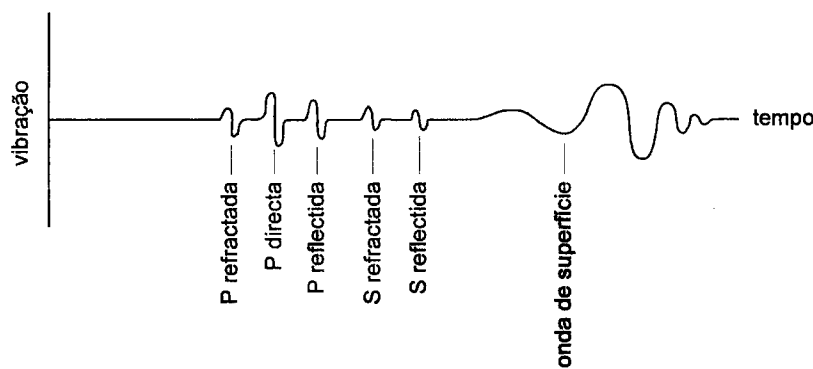
ACETATO 8

MODELO 3-D DA ESTRUTURA INTERNA DA TERRA Tomografia Sísmica

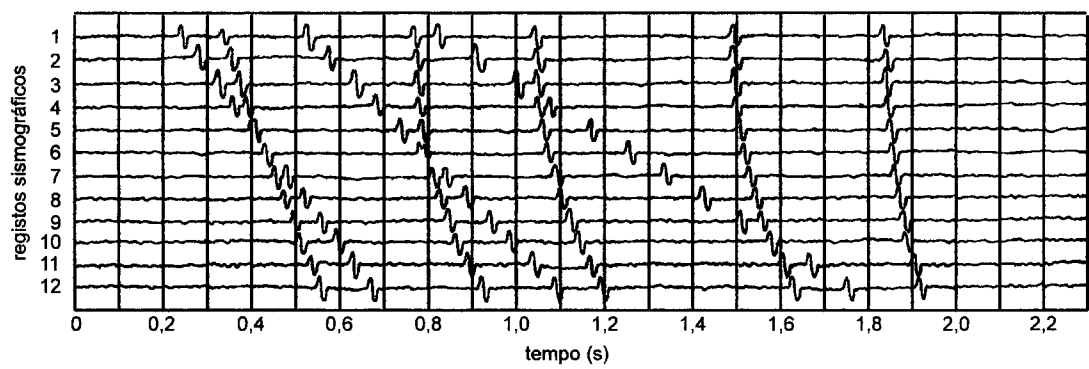


As cores quentes (amarelos, laranjas e vermelhos) representam zonas com velocidade sísmica menor, relativamente ao modelo de referência PREM; as cores frias (verdes, azuis e violetas) representam zonas de maior velocidade.

ACETATO 9

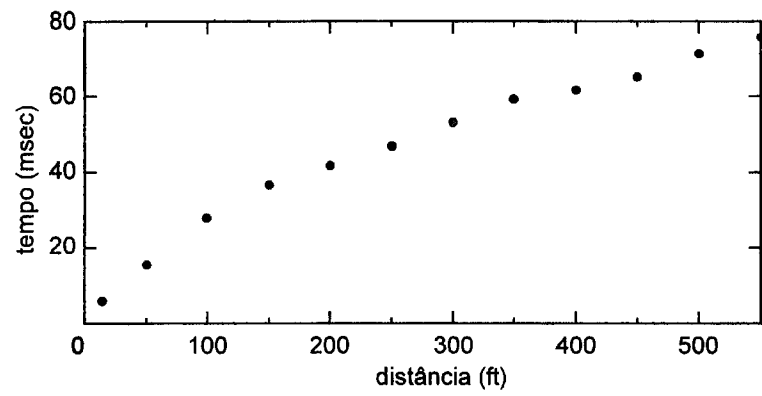


Sismograma de um sismo hipotético que apenas emitiu ondas P e ordem de registo das respectivas fases sísmicas

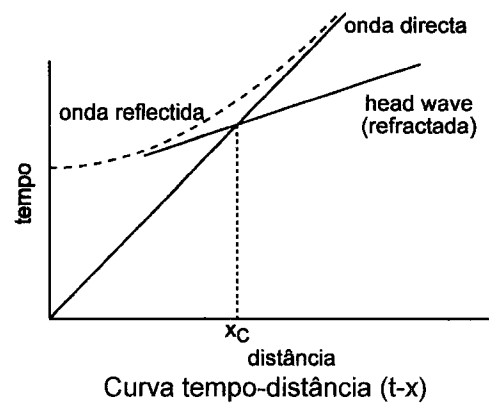


Sismogramas de exploração de um conjunto de 12 geofones.
Os pulsos das ondas refractadas dispõem-se segundo linhas rectas.
Os pulsos das ondas reflectidas dispõem-se segundo linhas curvas.

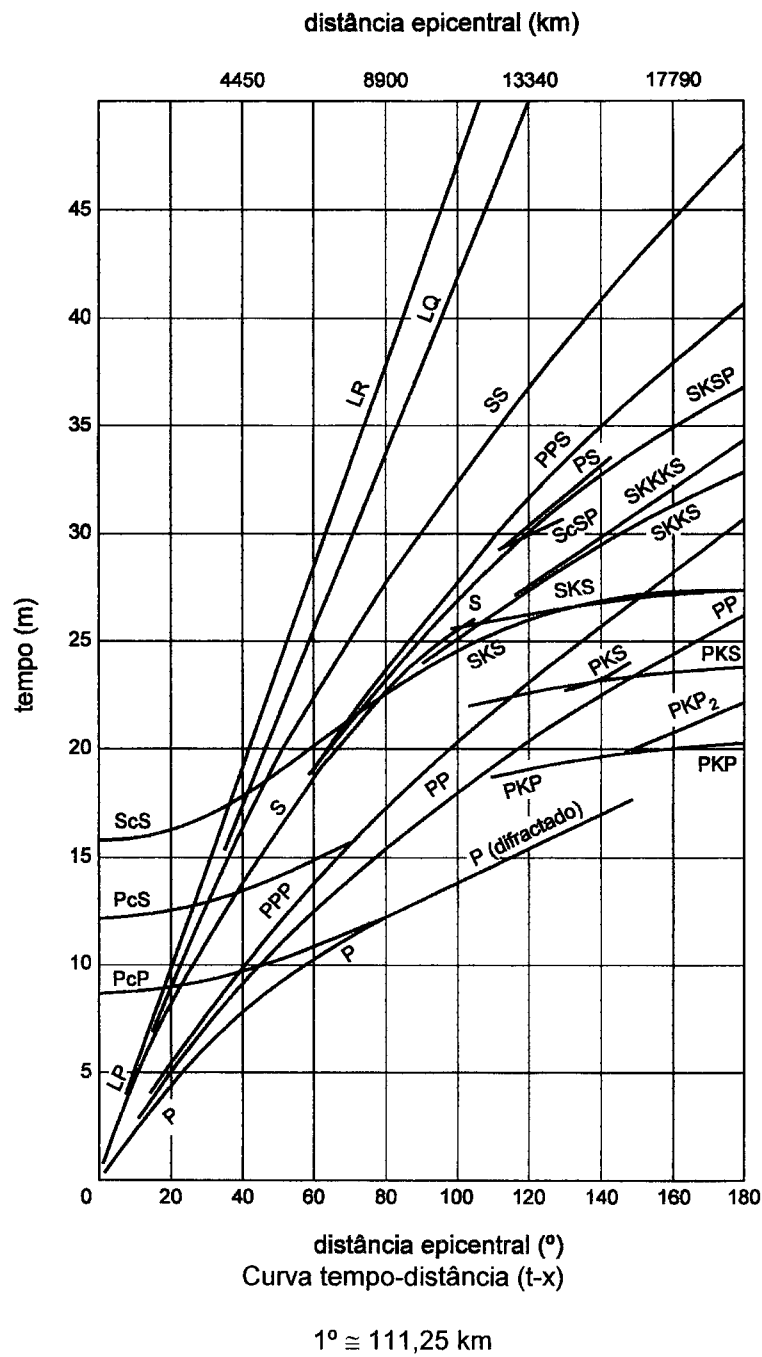
ACETATO 10



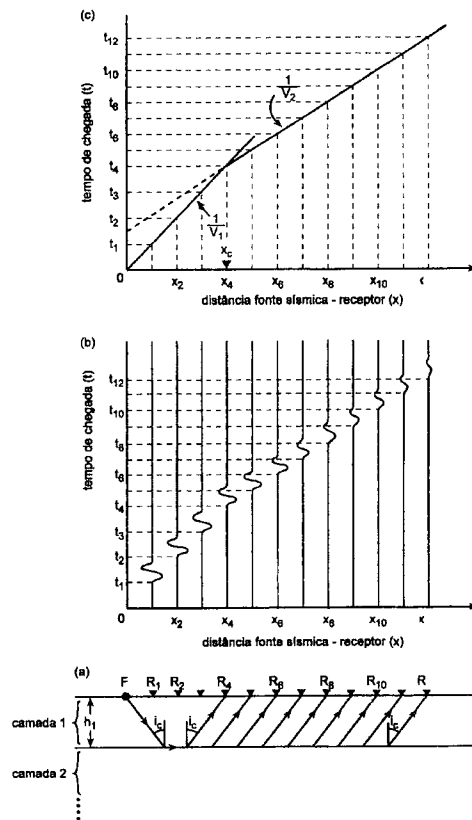
Representação gráfica (•) dos tempo de trajecto (*travel times*) dos 1ºs impulsos de cada sismograma.



ACETATO 11



ACETATO 12



Cálculo da velocidade e da espessura das camadas

A aplicação de fórmulas matemáticas às relações entre a velocidade sísmica e a distância fonte-geofone (curva t-x) permite o cálculo da velocidade de propagação das ondas nas camadas 1 e 2, bem como a sua espessura.

$$\text{declive} = \frac{t_3 - t_1}{x_3 - x_1} = \frac{\Delta t}{\Delta x} = \frac{1}{v_1}$$

$$\text{declive} = \frac{t_{12} - t_5}{x_{12} - x_5} = \frac{\Delta t}{\Delta x} = \frac{1}{v_2}$$

$$h_1 = \frac{X_c}{2} \sqrt{\frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1}}$$

ACETATO 13

FORMAÇÃO CIENTÍFICA	
Conceitos - Curriculum	Concepções a trabalhar pelo professor
<i>Ondas longitudinais</i> <i>Ondas transversais</i> <i>Ondas superficiais</i> <i>Raio sísmico</i> <i>Zona de sombra</i> <i>Sismo</i> <i>Sismograma</i> <i>Escala de Richter</i> <i>Terramoto, Marmoto, Raz de maré,</i> <i>Fenómenos pré-monitórios</i> <i>Descontinuidade de Gutenberg</i> <i>Descontinuidade de Moho</i> <i>Crosta</i> <i>Manto</i> <i>Núcleo externo e interno</i>	Propagação de energia sísmica. Classificação das ondas sísmicas. Interferência construtiva. Grafismo das ondas sísmicas. Reflexão e refacção das ondas P e S – Lei de Snell. Onda sísmica directa, reflectida e refractada. Difracção das ondas P e S. Fases sísmicas. Exploração/compreensão da vertente “fonte de energia”, tendo em vista a correlação energia-propagação-ondas. Exploração/compreensão dos dados que fornece, relevantes para o estudo da estrutura interna da Terra. Determinação da quantidade de energia libertada no foco. Registo sismográfico de grandes sismos, método da refacção e da reflexão sísmica, tomografia sísmica. Contributos da sismologia para o conhecimento da estrutura interna da Terra. Conceitos interdisciplinares – <u>Física</u> Conceito de propagação de energia Conceito de onda Classificação das ondas Interferência de ondas Reflexão, refacção e difracção Onda directa, reflectida, refractada e difractada Lei de Snell Incidência crítica / refacção crítica Princípios de Fermat e de Huygens Conceitos interdisciplinares – <u>Matemática</u> Trigonometria do triângulo rectângulo Razões trigonométricas de ângulos agudos (seno, co-seno e tangente) Relações entre as razões trigonométricas $\text{sen}^2\alpha + \text{cos}^2\alpha = 1$ $\text{tg}\alpha = \text{sen}\alpha / \text{cos}\alpha$

ACETATO 14

PROPAGAÇÃO DE ENERGIA SÍSMICA / ONDA SÍSMICA

A energia sísmica propaga-se por transferência de estados vibratórios das partículas constituintes da matéria.

A propagação de energia sísmica não envolve transporte de matéria, mas sim, transferência de condições dinâmicas da matéria, em todas as direcções.

A energia propaga-se sob a forma de ondas.

Onda é qualquer perturbação ou distúrbio que se propaga num meio físico (sólido, líquido ou gasoso) ou no vácuo.

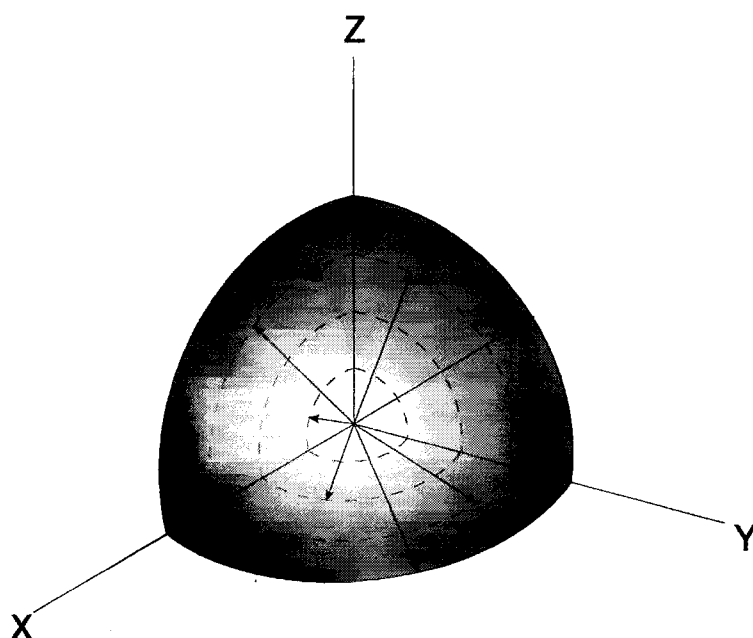
Onda sísmica é a propagação de formas de energia armazenada no interior da Terra (tensão elástica, energia química, energia gravitacional), libertadas subitamente.

ACETATO 15

PARÂMETRO	CLASSIFICAÇÃO DAS ONDAS
ORIGEM	Ondas elásticas (mecânicas) Originadas pela deformação de uma região de um meio elástico, transmitida, sucessivamente, de um ponto a outro. Apenas se propagam em meios elásticos, isto é, em qualquer meio material (sólido, líquido ou gasoso), que tende a preservar o seu comprimento, forma e volume, contra a actuação de forças externas. Exemplos: ondas da água, ondas sonoras, ondas sísmicas. Ondas electromagnéticas (não mecânicas) Originadas por variações de campos eléctricos e magnéticos. Não necessitam de um meio material para se propagarem, o que lhes permite propagarem-se no vácuo. Exemplos: ondas de rádio, microondas, luz visível, raios-X.
DIRECÇÃO DE VIBRAÇÃO	Longitudinais – direcção de vibração // à direcção de propagação. Transversais – direcção de vibração $\perp$ à direcção de propagação. Mistas – a onda tem componentes longitudinais e transversais.
DIMENSÃO	Unidimensionais – a frente de onda é um ponto. Exemplo: propagação de uma perturbação numa corda. Bidimensionais – a frente de onda é circular ou plana. Ex: ondas na superfície da água. Tridimensionais ou esféricas – a frente de onda é uma superfície esférica. Ex: Ondas sonoras, ondas sísmicas.

ACETATO 16

As ondas sísmicas são ondas esféricas, elásticas e propagam tensão elástica/energia química/energia gravitacional, libertada de forma súbita o interior da Terra.



Os raios sísmicos, perpendiculares à frente de onda, representam a propagação da onda em todas as direcções.

São representações; não possuem significado físico.

A libertação de energia num corpo elástico ilimitado produz ondas internas (P e S).

A introdução, neste corpo elástico, de uma superfície livre, produz ondas superficiais (L e R).

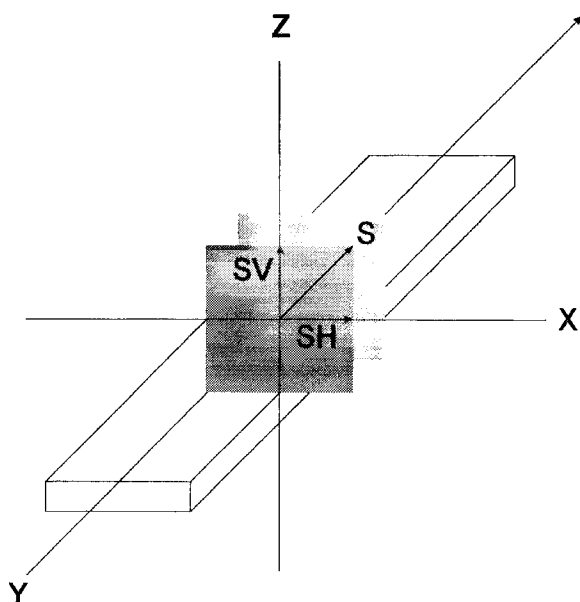
ACETATO 17

ONDAS INTERNAS (P e S)

As ondas P provocam alteração de volume e de forma dos materiais em que se propagam, alternando compressões com distensões, na direcção de propagação da onda.

As ondas S provocam deformação dos materiais que atravessam, sem alteração de volume, perpendicularmente à direcção de propagação da onda.

A vibração das partículas, à passagem das ondas S no plano $\perp$ à direcção de propagação, ocorre verticalmente (SV) e horizontalmente (SH).



ACETATO 18

Onda directa

Onda inicial, com origem no foco sísmico, que se mantém esférica até à frente de onda limite com a superfície de descontinuidade; é a parte da onda que não interagiu com a descontinuidade.

Onda reflectida

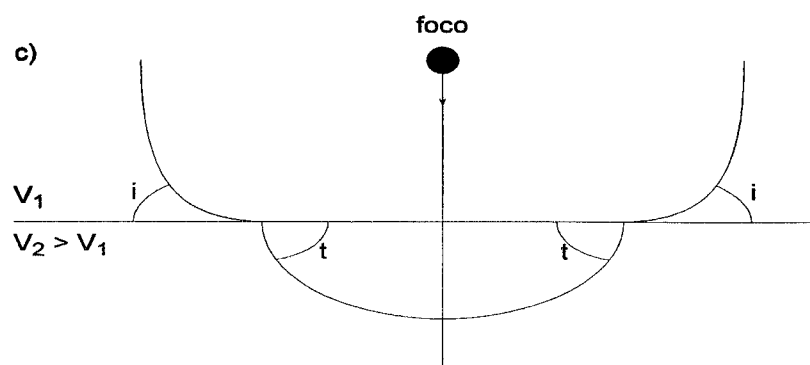
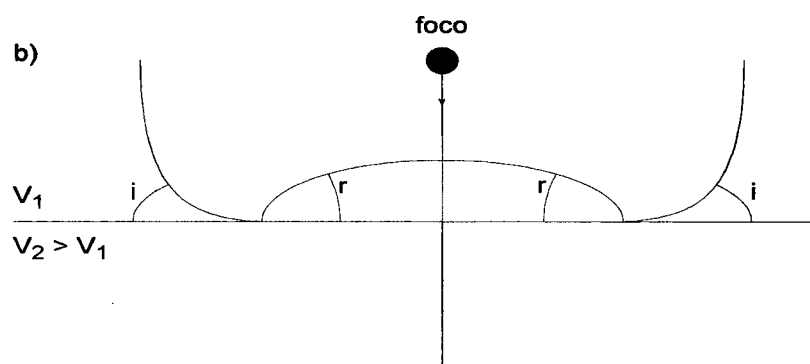
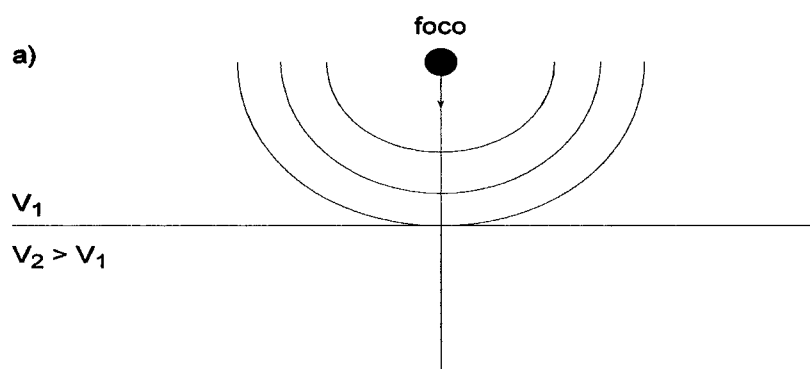
Quando numa superfície de descontinuidade se forma uma nova onda que se propaga em sentido contrário e no mesmo meio da onda inicial.

Onda refractada

Quando numa superfície de descontinuidade a onda incidente é transmitida para o segundo meio.

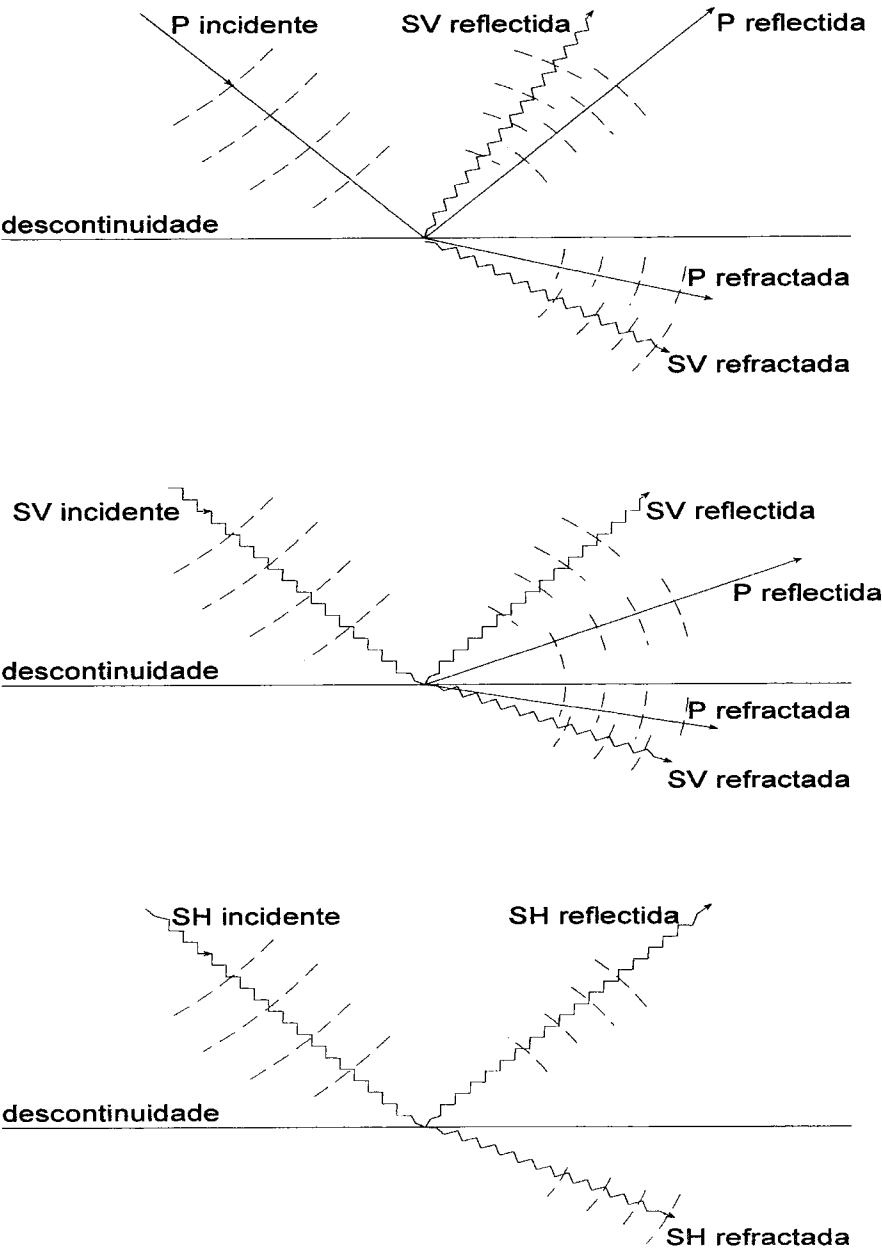
ACETATO 19

As ondas P e S podem manifestar-se como ondas directas, reflectidas e refractadas.



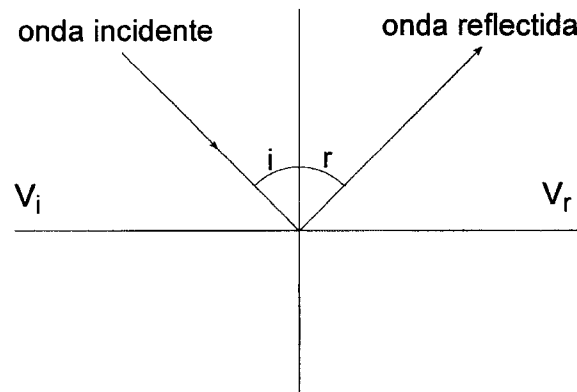
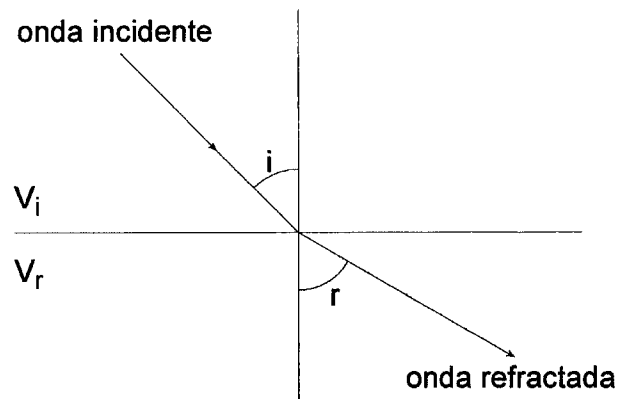
ACETATO 20

Repartição de energia sísmica numa superfície de descontinuidade



ACETATO 21

A relação entre a onda incidente e a onda reflectida e/ou refractada é traduzida pela Lei de Snell.



Lei de Snell:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_i}{v_r}$$

i = ângulo de incidência

r = ângulo de refração ou reflexão

v_i = velocidade da onda incidente

v_r = velocidade da onda reflectida ou refractada

ACETATO 22

As ondas internas também podem ser difractadas

Difracção

Deformação da frente de onda incidente, no contacto com um obstáculo ou descontinuidade, que se manifesta pelo desvio ou partição da frente de onda incidente, em diferentes direcções.

ONDAS SUPERFICIAIS (L e R)

As ondas de Love formam-se por interferência construtiva das ondas SH.

Interferência

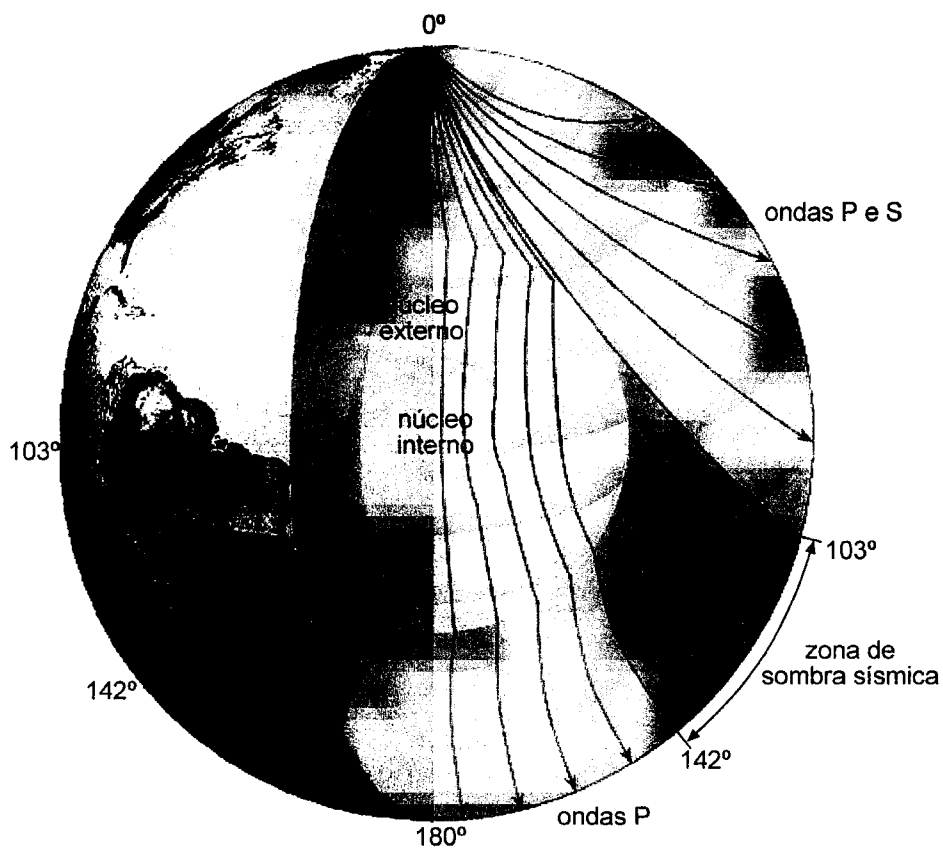
Quando duas frentes de onda coerentes, com a mesma frequência se sobrepõem, as suas amplitudes somam-se algebricamente em cada ponto; se a amplitude da onda resultante for maior do que a amplitude das ondas iniciais, a interferência diz-se construtiva; se for menor, destrutiva.

Na superfície da Terra, ondas incidentes SH apenas produzem ondas reflectidas SH.

Ondas incidentes P e SV reflectem-se em ondas P e SV, pelo que, as fases resultantes de reflexões múltiplas na superfície terrestre não interferem construtivamente para formar ondas de superfície, dado não serem coerentes entre si; da conjugação de ondas P e SV na superfície terrestre, resulta a formação das ondas de Rayleigh.

ACETATO 23

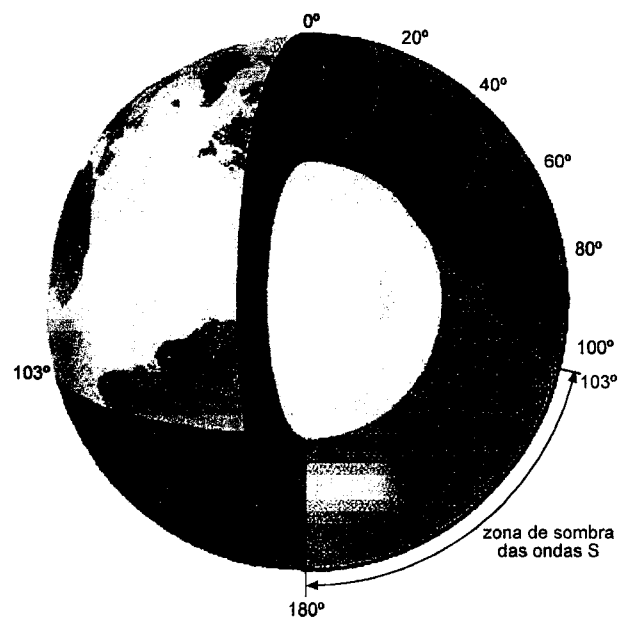
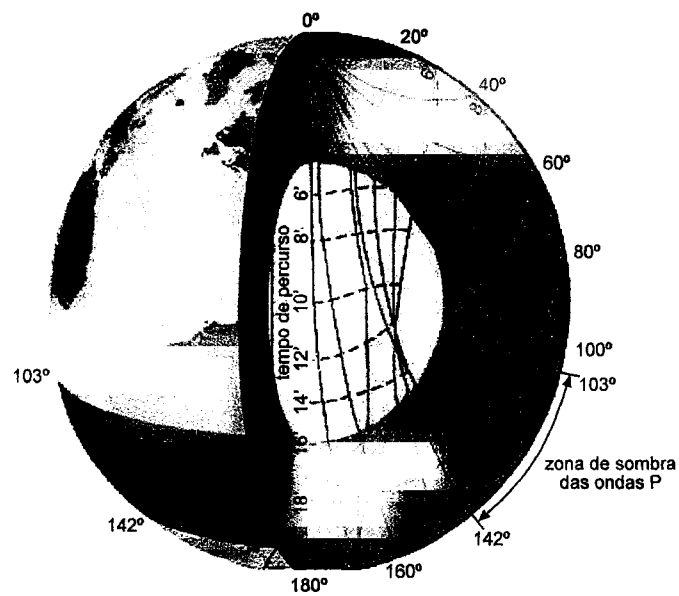
ZONA DE SOMBRA SÍSMICA



À superfície, as estações sismográficas localizadas na zona de sombra sísmica não registam qualquer onda directa P ou S

ACETATO 24

Zona de sombra sísmica das ondas P e S.



ACETATO 25

A bibliografia não é consensual relativamente aos limites da profundidade da *zona de sombra* das ondas P e S directas

Mecanismos de difracção na descontinuidade manto-núcleo

|

geram uma dispersão das ondas incidentes P e S

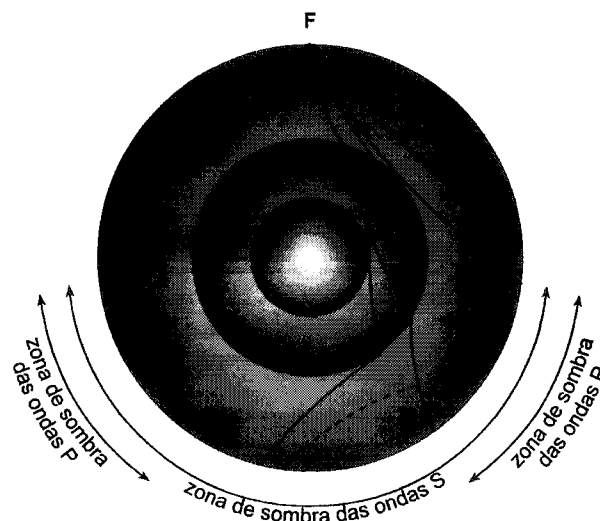
|

o que determina

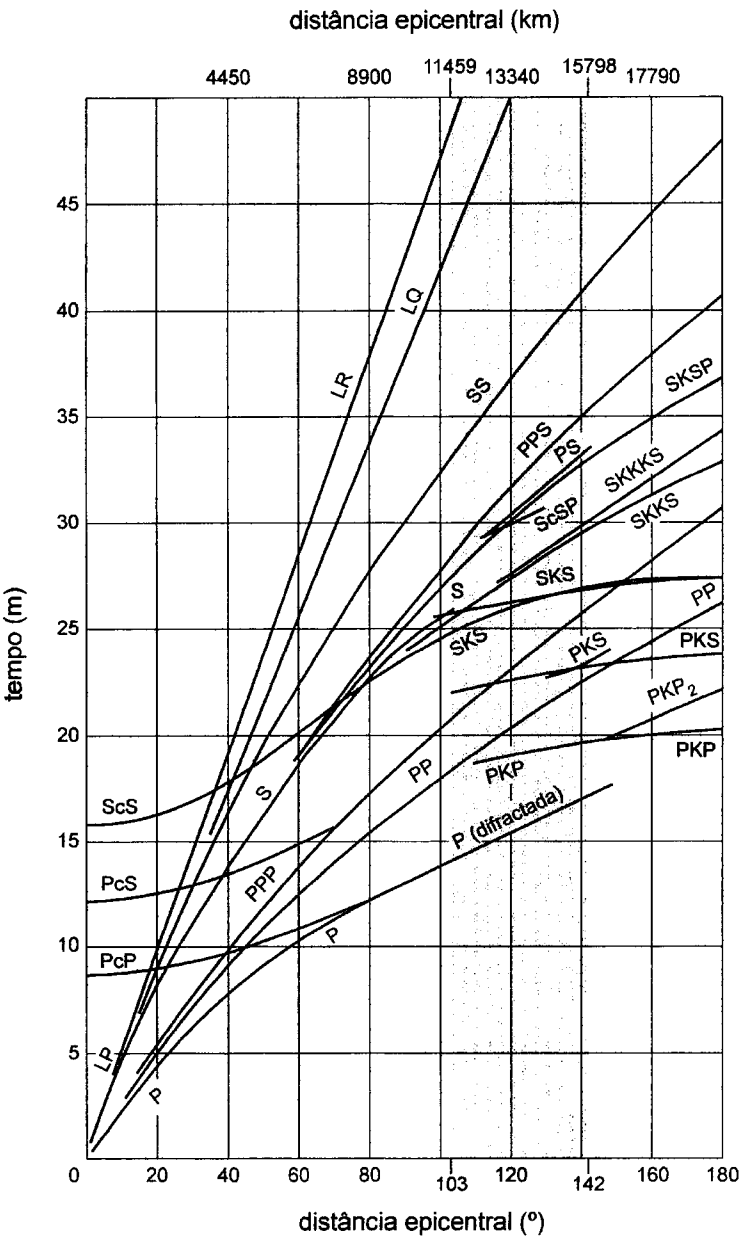
|

uma pequena variação na definição dos limites da zona de sombra.

Na zona de sombra registam-se ondas sísmicas de muito baixa energia.



ACETATO 26



Exemplos de fases sísmicas que se registam na zona de sombra.

ACETATO 27

SISMO

Um sismo é...

... um tremor, um abalo do solo, provocado por uma libertação repentina de energia acumulada nas rochas situadas abaixo da superfície terrestre (Plummer e McGeary, 1996; Chernicoff e Fox, 1997).

... abalo brutal do solo, provocado em profundidade por um movimento brusco e repentino de dois compartimentos (Dercourt e Paquet; 1986; Murck e Skinner, 1999).

... tremor de terra, devido, quase sempre, a súbita libertação de energia quando blocos se deslocam ao longo de um plano de falha, após terem estado submetidos a tensão (Telles Antunes, 1991).

... qualquer perturbação súbita do interior da Terra, que se manifesta à superfície por um abalo do solo, causado pela propagação de ondas elásticas que se formam em resposta à libertação repentina de formas de energia armazenada no interior da Terra, como por exemplo, tensão elástica, energia química ou energia gravitacional (Enciclopédia Britânica, 2001).

Apesar da diversidade de definições, parece que, subjacente a um sismo, está sempre uma libertação de formas energia acumulada no interior da Terra.

ACETATO 28

Tensão elástica - energia acumulada no interior da Terra em consequência da actuação de forças tectónicas, nomeadamente, forças de compressão, de distensão e de cisalhamento, na generalidade associadas a movimentos de placas tectónicas.

Exemplo: sismos tectónicos.

Energia gravitacional - energia acumulada no interior da Terra em consequência da força exercida pelo peso, por exemplo, das rochas e sedimentos.

Exemplo: sismos que ocorrem no interior das placas litosféricas (zonas de estabilidade tectónica).

Pensa-se, hoje, que a série de sismo que, entre 1811 e 1812, ocorreram em New Madrid - EUA, se deveu ao enorme peso exercido pelos sedimentos depositados ao longo do Mississípi; estes sismos, aos quais se atribui intensidade XII, alteraram o curso do rio Mississípi, provocaram alterações topográficas numa área de 130 000 km², abatimentos de 1 a 3 m de altura e fracturas de 30-50 km de comprimento por 6-8 km de largura.

Energia química - energia acumulada no interior da Terra em consequência reacções químicas.

Exemplo: sismos de foco profundo (situado entre os 100 e os 670 km) localizados ao longo de zonas de subducção.

Admite-se que, à medida que a placa fria mergulha, devido ao aumento da pressão e da temperatura, ocorrem transformações minerais nas rochas da placa mergulhante, nomeadamente o colapso metamórfico de minerais nas suas formas mais densas. Desconhece-se ainda se, quando este processo ocorre em grande escala, são desencadeados grandes sismos.

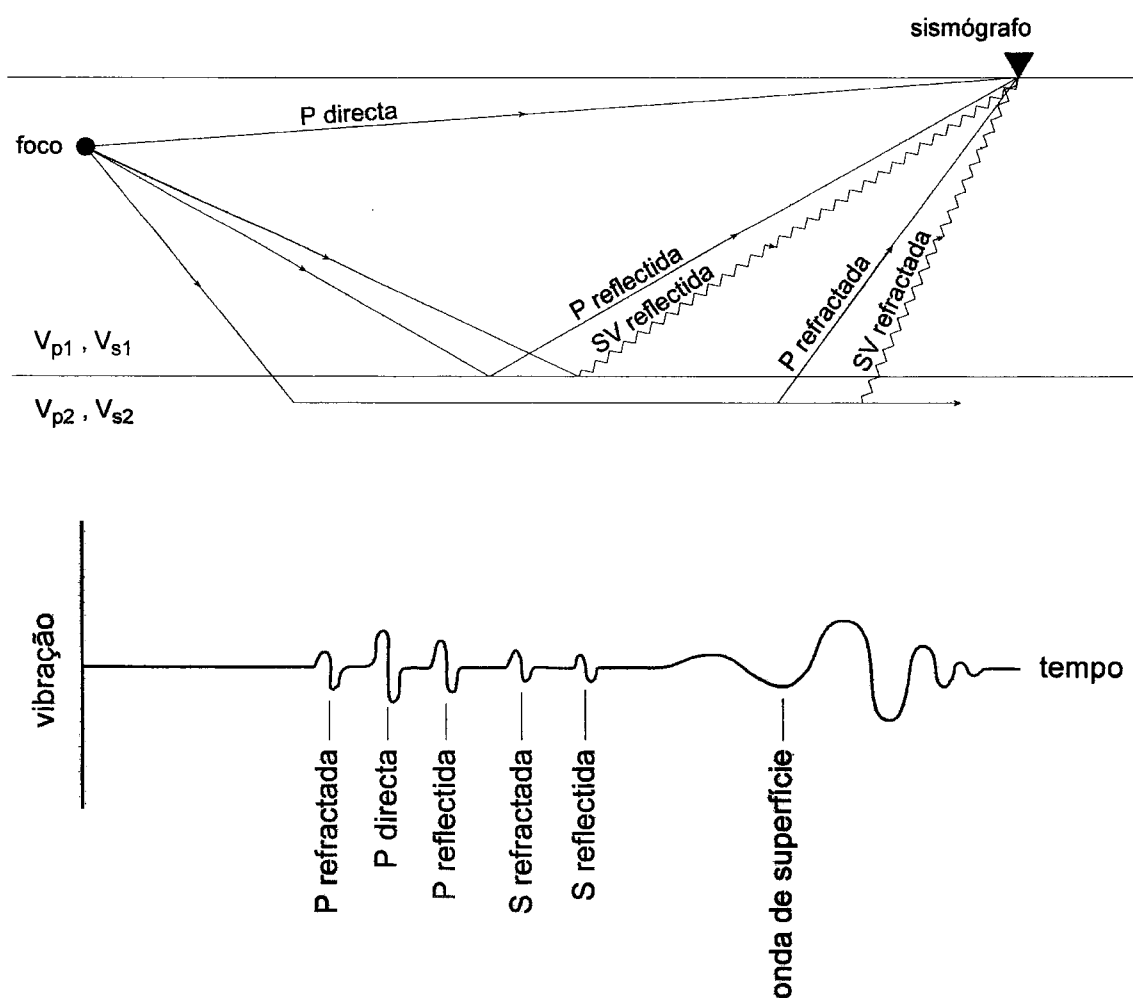
Outra causa sugerida para estes sismos profundos é a desidratação da serpentina, com formação de vidro.

Ambos os processos referidos (metamorfismo de minerais na sua forma mais densa e desidratação da serpentina) ocorrem subitamente em pequenas fracturas, no decurso de procedimentos laboratoriais.

ACETATO 29

SISMOGRAMA

Espectro somatório das frequências das vibrações – pulsos – provocadas pelo movimento das partículas à passagem das ondas sísmicas.



Sismograma de um hipotético sismo que apenas emitiu ondas P a partir do foco.

A partir dos sismogramas constroem-se as curvas tempo-distância (ACETATO11).

ACETATO 30

ESCALA DE MAGNITUDE DE RICHTER

Richter (1935) observou uma variação constante em termos da máxima amplitude registada nos sismogramas, independentemente da distância a que os respectivos sismos ocorriam da estação.

Utilizando o conceito de logaritmo (matemática) e de magnitude (astronomia), Richter desenvolveu fórmulas matemáticas visando o cálculo da energia libertada num sismo, com base em dados fornecidos pelos sismogramas.

Esta escala não tem limites mas, na prática, os maiores sismos de que se tem registo em sismograma, nunca ultrapassaram a magnitude 9.

"Esta é uma limitação da Terra, não da escala" (Richter).

A própria Terra parece impor um limite superior a esta escala já que ela própria está condicionada ao limite de resistência elástica dos materiais que a constituem.

ACETATO 31

A ESTRUTURA INTERNA DA TERRA - CONTRIBUTOS HISTÓRICOS

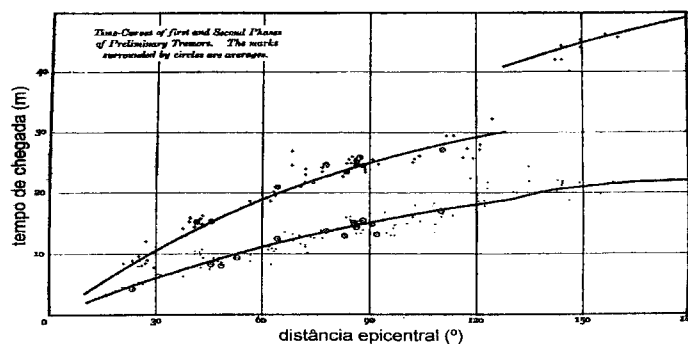
Oldham – 1899

- Apropriação dos princípios da Teoria Movimento Ondulatório, da Física.
- Sugere que seria de esperar a existência de 2 tipos de ondas, conforme Teoria das Ondas, se considerássemos a Terra um corpo elástico.

Oldham – 1906

- Utilização dos raios sísmicos para 'radiografar' o interior da Terra.
- Primeiro modelo explicativo dos tempos de propagação das ondas P e S, pressupondo a existência de um grande núcleo no seu centro.
- Verificou, mediante a análise de variados sismogramas, que a velocidade de propagação das ondas aumenta com a distância percorrida, pelo que presumiu que sua velocidade aumenta com a profundidade.
- Observou um atraso no registo das ondas S ($\cong 10'$) nos sismógrafos das estações situadas a mais de 120° da origem do sismo, atribuindo-lhes uma propagação mais lenta na parte central da Terra.

Curva t-x das ondas P e S elaborado por Oldham



ACETATO 32

- Função análises geométricas propõe, pela primeira vez, a existência de um núcleo terrestre, de natureza incerta e de raio, aproximadamente, 0.4 vezes o raio da Terra, o qual inibe a propagação das ondas S, a distâncias angulares do foco superiores a 120° .
- Define-se um modelo concêntrico bi-camada.

Mohorovicic – 1909

- Introduz a terminologia utilizada na designação das ondas sísmicas - longitudinais ou P e transversais ou S.
- Propõe a existência da descontinuidade crusta / manto.
 - Mohorovicic constatou, ao analisar os registos sismográficos do sismo de Outubro/1909-Zagreb-Croácia, que as estações sismográficas situadas a menos de oitocentos quilómetros da origem do sismo registavam a chegada de dois conjuntos de ondas P e S.
 - A hipótese de se tratarem de dois momentos sísmicos foi rejeitada dado que a diferença de tempo entre os dois conjuntos de ondas diminuía de acordo com a distância ao centro sísmico.
 - Propõe, então, a existência de uma descontinuidade, a uma profundidade da ordem dos quarenta e cinco quilómetros, separando um meio de menor velocidade de propagação (o meio superior) de um meio de maior velocidade de propagação (o meio inferior).
- Modelo da Terra: estrutura concêntrica formada por três camadas – a crusta, o manto e o núcleo.

ACETATO 33

Leybenzon – 1911

- Para este investigador, as observações de Oldham também poderiam ser explicadas se a parte central da Terra fosse líquida e, portanto, incapaz de transmitir as ondas transversais S.
- Infelizmente, por escrever em russo, o seu trabalho atraiu pouca atenção da comunidade científica, que, à época, também não aceitava a noção de um núcleo líquido.

Oldham – 1913

- Começou a defender a natureza líquida da zona central da Terra - as ondas S atrasadas poderiam corresponder a ondas sucessivamente reflectidas, que percorreram uma maior distância, e não a ondas cuja velocidade tinha sido reduzida na zona central.
- Seria esta eventual liquidez do núcleo a causadora da *sombra* das ondas S.
- Oldham, com base na análise instrumental de sismogramas, precisou, as suas primeiras observações relativas ao limite de registo das ondas S directas, o qual acontecia, sensivelmente, até aos 110° de distância angular do foco, mas nunca além desta.

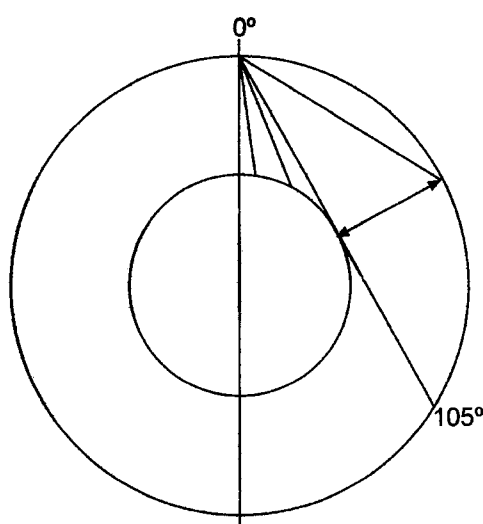
Barrel – 1914

- Propõe, na tentativa de ampliar a capacidade explicativa da Teoria da Isostasia, a existência de um nível estrutural de menor rigidez, situado abaixo da crosta, capaz de acumular tensões de magnitude limitada.
- Sugere, para esta camada, a designação de astenosfera.

ACETATO 34

Gutenberg – 1914

- Pormenorizou o modelo tri-camada da estrutura interna da Terra, localizando a 2900 km a descontinuidade manto - núcleo.
- O cálculo desta profundidade foi feito a partir da demarcação da zona de sombra.

**Gutenberg – 1925**

- Publicação de um artigo no qual, entre outros assuntos, enumerou e discutiu hipóteses de trabalho utilizadas pelos geofísicos no estudo da rigidez do interior da Terra, a saber: as marés oceânicas, os deslocamentos verticais em consequência da atracção lunar e solar, a deformação da Terra em consequência da atracção gravitacional, o período de oscilação do eixo da Terra, as ondas sísmicas e a suposta dependência da estabilidade terrestre assente num núcleo rígido (dos dados analisados, apenas os sísmicos pareciam apontar para a existência de um núcleo líquido).

ACETATO 35

- Os seus estudos sísmicos, no âmbito da sua investigação sobre a natureza cristalina ou fluida do núcleo, contribuíram para reforçar a existência da astenosfera – na porção exterior do manto, sensivelmente entre os 70 e os 100 km de profundidade, verificou uma diminuição na amplitude e na velocidade de propagação das ondas sísmicas.

Jeffreys – 1928

- Argumenta, baseado num elaborado modelo matemático, que a ideia de um núcleo líquido é aceitável, argumentos esses que a comunidade científica logo subscreve; à época, Gutenberg assume uma postura mais reservada, vindo, no entanto, a assumir mais tarde a liquidez do núcleo.

Jeffreys – 1929

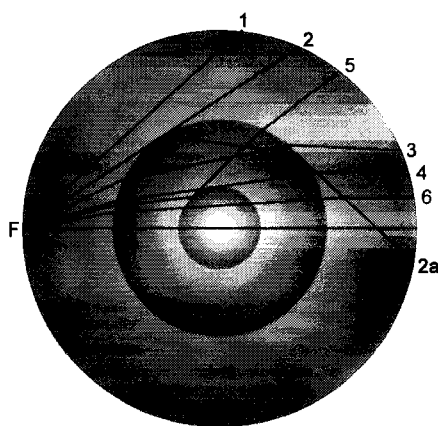
- Aceita a existência da astenosfera, o que, dada a sua reputação, contribuiu para a afirmação desta hipótese na comunidade científica. Cerca de trinta anos mais tarde, aquando da análise dos registo sismográficos de todo o mundo das explosões atómicas, torna-se praticamente irrefutável a sua existência.

Lehmann – 1929

- Identifica a descontinuidade núcleo externo - núcleo interno, sendo que a velocidade de propagação das ondas é maior no núcleo interno do que no núcleo externo.

ACETATO 36

- Os dados observados nos sismogramas de um sismo ocorrido na Nova Zelândia, não se enquadravam no modelo de Terra tri-camada.

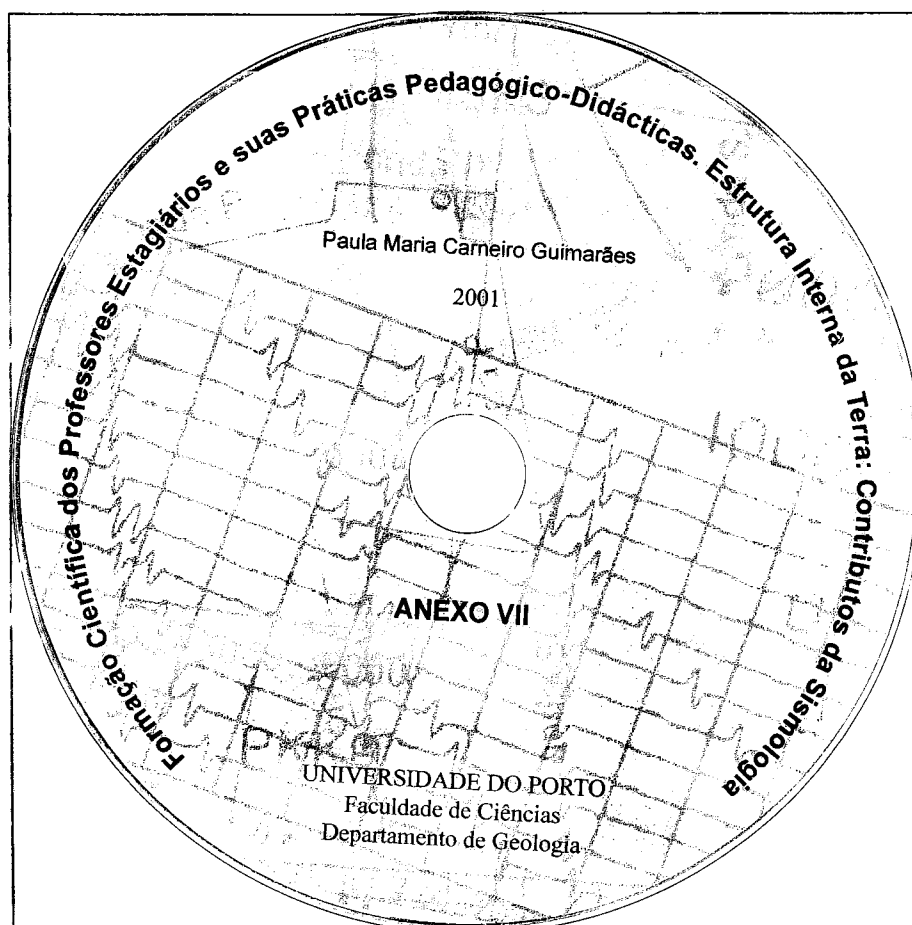


- À luz do modelo tri-camada, eram previsíveis as ondas 1, 2, 3 e 2a. Mas, para explicar as ondas 4, 5 e 6, uma outra descontinuidade teria de existir no interior da Terra, concretamente, no interior do núcleo.
- Os argumentos de Lehmann sobre a provável existência de um núcleo interno tiveram grande aceitação pelos investigadores da estrutura interna da Terra.

Jeffreys e Bullen – 1940

- Publicação de uma tabela sismológica (curva t-x) baseada na análise de inúmeros sismogramas.
- Esta tabela funciona, *grosso modo*, como uma “calculadora sísmica” que ajuda a converter as vibrações registadas nos sismogramas em fenómenos físicos (reflexão, refração,...) que, supostamente, aconteceram no interior da Terra.

VII. CD-Rom



Nota: A leitura do CD-Rom necessita dos programas Internet Explorer / Netscape, QuickTime e ShockWave.

VII.1. Animação, tridimensional, do modo de propagação das ondas sísmicas P, S, L e R.

Fonte: Enciclopédia Britannica *in* www.britannica.com

VII.2. Ilustração, bidimensional, da formação de ondas sísmicas directas, reflectidas e transmitidas.

Fonte: Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Melbourne *in* www.earthsci.unimelb.edu.au

VII.3. Ilustração, bidimensional, da formação de ondas sísmicas directas, reflectidas, transmitidas e de refacção crítica ($v_1 < v_2$).

Fonte: Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Melbourne *in* www.earthsci.unimel.edu.au

VII.4. Animação realista da propagação de ondas S, no manto, a diferentes profundidades, com registo simultâneo de sismogramas, a diferentes distâncias do foco.

Fonte: Universidade de Washington-St. Louis *in* <http://epsc.wustl.edu>