



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

FELIPE ALEXANDRE MEDEIROS SILVA

**O ENSINO DE ONDULATÓRIA A PARTIR DA TEMÁTICA TERREMOTOS:
A PROPOSTA DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA**

**CAMPINA GRANDE-PB
2018**

FELIPE ALEXANDRE MEDEIROS SILVA

**O ENSINO DE ONDULATÓRIA A PARTIR DA TEMÁTICA TERREMOTOS:
A PROPOSTA DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ensino de Física

Área de concentração: Física.

Orientador: Prof. Dr. José Jamilton Rodrigues dos Santos

**CAMPINA GRANDE
2018**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586e Silva, Felipe Alexandre Medeiros.
O ensino de ondulatória a partir da temática terremotos [manuscrito] : a proposta de uma sequência didática / Felipe Alexandre Medeiros Silva. - 2018.
119 p. : il. colorido.
Digitado.
Dissertação (Mestrado em Profissional em Ensino de Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia , 2018.
"Orientação : Prof. Dr. José Jamilton Rodrigues dos Santos , Departamento de Física - CCT."
1. Sismologia. 2. Ondas. 3. Campos Conceituais. 4. Terremotos. I. Título
21. ed. CDD 530.124

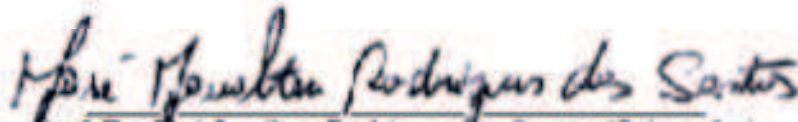
**O ENSINO DE ONDULATÓRIA A PARTIR DA TEMÁTICA TERREMOTOS:
A PROPOSTA DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ensino de Física

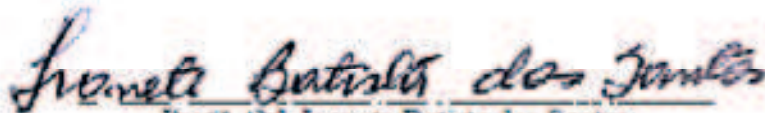
Área de concentração: Física.

Aprovada em: 18/06/2018

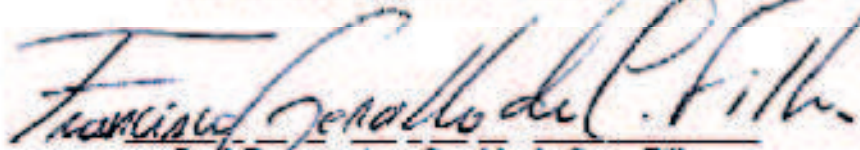
BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. José Jamilton Rodrigues dos Santos (Orientador)

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof.ª Dr.ª Ivonete Batista dos Santos

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof. Dr. Francisco Geraldo da Costa Filho

Instituto Federal da Paraíba (IFPB)

À minha esposa Alineane e minha filha Alice,
por todo amor e companheirismo, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Deus, criador e mantenedor de todas as coisas.

Ao professor e orientador deste trabalho, Jamilton, pelas importantes contribuições e leituras sugeridas ao longo dessa orientação, que expressam sua dedicação em sua função e preocupação com os processos educacionais tanto na pós-graduação, quando seus efeitos no ensino médio e sua amizade.

À minha esposa Alineane e minha filha Alice, por todo companheirismo, força e compreensão durante o período em que muitas vezes fui ausente nas minhas funções familiares.

Aos demais familiares e amigos que torceram para que eu pudesse concluir esta etapa em minha formação.

Aos professores da UEPB deste programa, em especial, Ana Paula por seu empenho à frente da coordenação deste mestrado, Ana Raquel pelas leituras e sugestões para este trabalho num primeiro momento.

Ao professor Edvaldo Alves, o Mará (in memoriam).

Aos colegas companheiros nesta jornada pelos momentos de aprendizado mútuo, amizade e apoio.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

Arthur Schopenhauer

RESUMO

As reformas educacionais no Brasil, pelo menos formalmente em documentos oficiais se iniciaram há pouco tempo, por volta de duas décadas, e pode custar pelo menos o mesmo tempo para que as transformações pretendidas sejam alcançadas em nível nacional. Os documentos governamentais convocam à prática de acordo com cada realidade educacional, haja vista que sua proposta busca o desenvolvimento crítico e criativo dos educandos, de forma que eles possam relacionar as várias áreas do saber para a promoção de uma educação de qualidade que visa não somente fins de prosseguimento na vida acadêmica, mas também na formação do indivíduo enquanto cidadão. Tais propostas funcionam conforme são colocadas em prática aliadas e adequadas a cada realidade educacional particular. Diante disto, o ensino de Física deve estar focado em competências que permitirão aos alunos perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos presentes em seu cotidiano e para isto se faz necessário o domínio de alguns conceitos científicos. Visando um melhor entendimento sobre a construção dos conceitos, utilizou-se a Teoria de Campos Conceituais, de Gérard Vergnaud. A Pedagogia de Projetos foi utilizada no sentido de articular desenvolvimento desta proposta, pois a mesma partiu de uma demanda própria dos alunos interessados em estudar sismos, que então foram relacionados com o estudo de ondulatória. A estrutura deste trabalho será em seis capítulos, onde primeiro capítulo apresenta a introdução sobre o tema e proposta, o segundo capítulo contém o referencial teórico em ensino, o terceiro capítulo contém o referencial teórico em física. A metodologia e a proposta de produto educacional estão apresentadas no quarto capítulo. No quinto capítulo estão os resultados e discussão e no sexto as considerações finais.

Palavras-Chave: Sismos. Ondas. Pedagogia de Projetos. Teoria de Campos Conceituais.

ABSTRACT

The educational reforms in Brazil, at least formally in official documents, have recently begun, around two decades, and may cost at least the same time for the desired transformations to be reached at national level. Government documents call to practice according to each educational reality, seeing that their proposal seeks the critical and creative development of the students, so that they can relate the various areas of knowledge to the promotion of a Quality education that aims not only to pursue in academic life but also in the formation of the individual as a citizen. These proposals work according as what they are put into practice, allied and adapted to each particular educational reality. In view of this, the teaching of physics must be focused on skills that will allow students to perceive and deal with the natural and technological phenomena present in their daily lives and being for this is necessary the dominance of some scientific concepts. Aiming at a better understanding of the construction of concepts, it was used the theory of conceptual fields, by Gérard Vergnaud. The pedagogy of projects was used in order to articulate the development of this proposal, because it departed from a demand of the students interested in studying earthquakes, which were then related to the study of waves. The structure of this work will be in six chapters, where the first chapter presents the introduction on the topic and proposal, the second chapter contains the theoretical reference in teaching, the third chapter contains the theoretical reference in physics. The methodology and the proposed educational product are presented in the fourth chapter. In the fifth chapter are the results and discussion and in the sixth the final considerations.

Keywords: Earthquakes. Waves. Pedagogy of Projects. Theory of Conceptual Fields.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Colapso da nebulosa por autogravidade (a) e Formação do proto-sol (b)	27
Figura 2 –	Fim do colapso e formação dos planetesimais (a) Sistema Solar atual (b)	28
Figura 3 –	Formação das Camadas da Terra.....	29
Figura 4 –	Ascensão do magma provindo do interior da Terra, formando vulcões e estruturando os continentes.....	30
Figura 5 –	Dorsal Mesoatlântica	32
Figura 6 –	Divisão das placas tectônicas	33
Figura 7 –	Cilindro deformado pela ação de uma força \vec{F}	34
Figura 8 –	Gráfico da tensão em função da deformação de um material hipotético	36
Figura 9 –	Diagramas de tensão x deformação.....	36
Figura 10 –	Início do acumulo de tensão sobre a falha.	37
Figura 11 –	A tensão sobrea a falha no limite da resistência.....	38
Figura 12 –	Falha preste a se romper	38
Figura 13 –	Localização do foco sob o epicentro	38
Figura 14 –	Movimento entre os blocos. A tensão sobre a falha cai drasticamente	39
Figura 15 –	Cerca deslocada durante o terremoto de San Francisco, em 1906.....	39
Figura 16 –	Variação da resistência da rocha com o passar do tempo.....	40
Figura 17 –	Pequenos tremores ocorrem antes do tremor principal	40
Figura 18 –	Focos os abalos secundários	41
Figura 19 –	Epicentro do terremoto principal na costa do Japão em 2011	42
Figura 20 –	Ondas de volume a partir de uma fonte pontual P num meio homogêneo.....	43
Figura 21 –	Onda longitudinal num meio	44
Figura 22 –	Onda transversal num meio.....	45
Figura 23 –	Principais ondas sísmicas superficiais.....	47
Figura 24 –	Sismógrafos analógicos.....	48
Figura 25 –	Ondas sísmicas no interior e sob a superfície terrestre.....	48
Figura 26 –	Relação entre momento sísmico, liberação de energia e número de terremoto: por ano.....	50
Figura 27 –	Pendulo Simple.....	51
Figura 28 –	Energia potencial em função da posição numa oscilação (a). Força em função da posição numa oscilação (b)	52

Figura 29 – Sistema massa-mola vertical.....	53
Figura 30 – Resolução numérica das soluções de um MHS.....	54
Figura 31 – Comportamento das partículas de um meio por onde se propagam ondas transversais (a), longitudinais (b) e ondas mistas (c)	58
Figura 32 – Onda longitudinal numa corda.....	58
Figura 33 – Onda progressiva.....	59
Figura 34 – Onda harmônica.....	60
Figura 35 – Corda na qual se propaga uma onda para a direita.....	62
Figura 36 – Potencias instantânea (P) e Intensidade (I)	63
Figura 37 – Corda tensionada.....	64
Figura 38 – Variação da direção da tensão.....	65
Figura 39 – Alunos da turma do 2º Ano do Ensino Médio Noturno Diferenciado.....	74
Figura 40 – Corda presa paralela ao quadro.....	77
Figura 41 – Mola produzida pelos alunos para o segundo experimento.....	80
Figura 42 – Explicação da proposta da elaboração do folder.....	81
Figura 43 – Limites das placas tectônicas na crosta terrestre.....	83
Figura 44 – Sismógrafo construído por um dos grupos.....	86
Figura 45 – Explicação sobre a construção do sismógrafo.....	87
Figura 46 – Encontro da formalização do conteúdo.....	88
Figura 47 – Turma durante a aula da formalização do conteúdo.....	89
Figura 48 – Segundo encontro para a formalização do conteúdo.....	93
Figura 49 – As orientações dos seminários.....	96
Figura 50 – Momento das orientações dos seminários.....	97
Figura 51 – Apresentação do primeiro grupo da noite com o tema “os sismos terrestres e seus efeitos”.....	98
Figura 52 – Apresentação do segundo grupo da noite com o tema “os sismos terrestres e seus efeitos”.....	99
Figura 53 – Modelo corpuscular de transferência de energia	114
Figura 54 – Comprimento de onda e amplitude de uma onda.....	116

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO EM EDUCAÇÃO.....	13
2.1	TEORIA DE CAMPOS CONCEITUAIS.....	14
2.1.1	Os campos conceituais.....	15
2.1.2	Conceito e categorias.....	16
2.1.3	Os esquemas.....	19
2.1.4	As situações.....	20
2.1.5	A TCC na aprendizagem e ensino.....	20
2.2	PEDAGOGIA DE PROJETOS.....	21
2.2.1	Origem histórica.....	21
2.2.2	O conceito de projeto.....	23
2.2.3	Aprendendo e ensinando com projetos.....	24
3	GEOFÍSICA, SISMOLOGIA, OSCILAÇÕES E ONDAS.....	24
3.1	ASPECTOS GERAIS DA GEOFÍSICA DO PLANETA TERRA.....	25
3.1.1	A origem do Universo e a formação da terra.....	25
3.1.2	A formação dos continentes, oceanos e atmosfera.....	29
3.1.3	A tectônica de placas.....	30
3.2	ASPECTOS TEÓRICOS DA ELASTICIDADE DOS MATERIAIS.....	32
3.2.1	Tensão, deformação e elasticidade.....	2
3.3	SISMOLOGIA.....	36
3.3.1	A teoria do rebote elástico.....	36
3.3.1.1	Abalo sísmico precursor e abalo sísmico secundário.....	39
3.3.2	Ondas Sísmicas.....	41
3.3.2.1	Ondas Sísmicas Volumicas longitudinais ou compressivas.....	42
3.3.2.2	Ondas Sísmicas de corte ou cisalhantes.....	44
3.3.2.3	Ondas superficiais.....	46
3.3.2.4	Sismógrafos.....	47
3.3.2.5	Escalas de magnitude.....	48
3.4	OSCILAÇÕES E ONDAS.....	50
3.4.1	Oscilações harmônicas.....	50
3.4.1.1	Exemplos de movimentos harmônicos.....	50
3.4.1.2	Soluções para movimento harmônico simples (MHS)	53
3.4.1.3	Energia no movimento harmônico simples (MHS).....	56
3.5	ONDAS.....	57
3.5.1	O conceito de onda e sua classificação.....	57
3.5.2	Ondas unidimensionais.....	58

3.5.2.1	Ondas progressivas.....	58
3.5.2.2	Ondas harmônicas.....	60
3.5.2.3	A equação de ondas unidimensionais.....	61
3.5.2.4	Potência e Intensidade.....	62
3.5.3	Cordas vibrantes e a equação do movimento.....	64
4	METODOLOGIA.....	66
4.1	PUBLICO, LOCAL E MOTIVAÇÃO.....	67
4.2	ELABORAÇÃO DA PROPOSTA	68
4.2.1	A definição do tema.....	68
4.2.2	Público e local.....	69
4.2.3	A temática.....	69
4.2.4	Competências em Ciências da Natureza e em Física esperadas.....	69
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	71
5.1	DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS ENCONTROS.....	71
5.1.1	Primeiro encontro.....	71
5.1.2	Segundo encontro.....	74
5.1.3	Terceiro encontro.....	81
5.1.4	Quarto encontro.....	85
5.1.5	Quinto encontro.....	88
5.1.6	Sexto encontro.....	92
5.1.7	Quinto encontro.....	96
5.1.8	Quinto encontro.....	97
5.2	ANÁLISE GERAL E APLICAÇÃO DA PROPOSTA.....	99
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	100
	REFERÊNCIAS	102
	APÊNDICE A – A SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	106

1 INTRODUÇÃO

As reformas educacionais se iniciaram há pouco tempo, por volta de duas décadas, como a criação da Lei de Diretrizes e Bases (LDB), Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) e mais recentemente a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e pode custar o mesmo tempo para que as transformações pretendidas sejam alcançadas em nível nacional. Contudo já se percebem experiências importantes em escolas brasileiras que desenvolvem novos projetos pedagógicos e novas práticas educacionais que superam ou complementam a didática tradicional (BRASIL, 2006).

As propostas dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), embasados na Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB), funcionam à medida que suas propostas são colocadas em prática, de acordo com cada realidade educacional, haja vista que sua proposta busca o desenvolvimento crítico e criativo dos educandos, de forma que eles possam relacionar as várias áreas do saber para a promoção de uma educação de qualidade que visa não somente fins de prosseguimento na vida acadêmica, mas também na formação do indivíduo enquanto cidadão. Porém o que se observa, sobre a educação pública brasileira, é um ensino onde as orientações dos documentos oficiais não atingem os alunos, o que até certo ponto inviabiliza uma educação de melhor qualidade, ainda que seja conhecido o dever da escola de ensinar, enquanto instituição.

Hoje em dia, mesmo que tenhamos na ponta da língua o discurso de tornar o ensino mais ‘atrativo’, proporcionar uma aprendizagem mais ‘significativa’ ou ainda ser um professor mais ‘inovador’, esquecemos muitas vezes de efetivamente buscar que tais discursos se tornem práticas. Como o conhecimento da Física não pode ser um fim em si mesmo, a educação escolar deve preparar para a vida, para o exercício da cidadania e que dê capacidade do educando continuar a aprender, como indicam os PCN+ (BRASIL, 2006).

Pena (2009) afirma que os elementos para o novo currículo do Ensino Médio, em consequência das exigências da vida contemporânea, devem ser referenciados no mundo vivencial dos estudantes e professores, nas informações com qualidade, nas ideias de modelos e experimentação, na História da Ciência e a construção gradual do conhecimento e na interdisciplinaridade. O ensino de Física deve ser então um conjunto de competências que permitirão aos alunos tanto perceber quanto lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos presentes, tanto em seu cotidiano mais próximo próprio, quanto no universo mais distante, através de leis e modelos construídos pela própria ciência física (BRASIL, 2016).

Para que um aluno seja capaz de perceber, ou reconhecer, e assim saber lidar com fenômenos naturais e as leis que os regem, é necessário o domínio de alguns conceitos científicos, ou seja, o que Vergnaud (2009) denomina de “campo conceitual”, que para ele constitui uma ligação de situações e conceitos, onde a significação de um conceito não tem origem em uma única situação, mas sim em várias e as várias situações que não dependem de um único conceito, mas sim por meio de vários conceitos.

Nos referenciamos então na Teoria de Campos Conceituais, de Gérard Vergnaud, entendendo a premissa do parágrafo anterior sobre a construção dos conceitos em um campo conceitual, para elaborar essa proposta, que tem por objetivo o ensino da ondulatória através do estudo dos conceitos envolvidos nos episódios sísmicos. Utilizamos também a Pedagogia de Projetos, que nos pareceu relevante para desenvolver este trabalho.

A motivação desta proposta partiu da própria realidade educacional dos alunos, pois os próprios alunos que se direcionaram para essa proposta e inicialmente demonstraram interesse no tema, durante o ano letivo de 2016, quando foi buscado nos estudantes os seus interesses educacionais que pudessem contemplar as áreas de estudos referente à série no Ensino Médio.

A dissertação foi estruturada em cinco capítulos, onde este primeiro capítulo apresenta a introdução sobre o tema e proposta. O segundo capítulo contém o referencial teórico em ensino, a Teoria de Campos Conceituais, e a Pedagogia de Projetos no auxílio do desenvolvimento da proposta. O terceiro capítulo contém o referencial teórico em física. Trata-se da fundamentação em Geofísica, no que se refere a formação do nosso Sistema Solar e do nosso planeta, que nos pareceu relevante, tendo em vista que os sismos ocorrem na superfície (crosta) e seus efeitos se propagam pelas demais camadas no interior da Terra, como uma análise sobre resistência, tensão e deformação dos componentes que formam a crosta do nosso planeta, um debate sobre o movimento harmônico simples e ondas. O desenvolvimento matemático deste capítulo pode soar matematicamente enfadonho, contudo, acreditamos que o entendimento desse tema é fundamental para o tema dos sismos, que também é discutido em um dos tópicos dentro do mesmo capítulo. A metodologia e a proposta de produto educacional estão apresentadas no quarto capítulo, seguido pelo quinto capítulo, que contém os resultados e discussão. No sexto capítulo estão as considerações finais deste trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO EM ENSINO

Neste capítulo será apresentado a Teoria de Campos Conceituais de Vergnaud, referencial teórico que dá suporte a este trabalho e a Pedagogia de Projetos, que constitui uma importante ferramenta utilizada no desenvolvimento dessa proposta.

2.1 TEORIA DE CAMPOS CONCEITUAIS

Aprender é um processo complexo e que ainda deve demandar muitas pesquisas nas várias áreas do conhecimento que se propõem a estudar os processos cognitivos e demais fatores que interferem na aprendizagem. Segundo Palmero et al. (2008), a construção do conhecimento tem sido objeto de muitas investigações com diferentes enfoques e perspectivas teóricas, como a filosófica, pedagógica, epistemológica, psicológica e etc.

Sendo então um processo complexo, Gerard Vergnaud articula os pressupostos e explicações sobre a aprendizagem na Teoria dos Campos Conceituais (TCC).

Segundo Vergnaud (2009), a TCC é uma teoria que trata do desenvolvimento, através de dois objetivos: no primeiro objetivo, dispõe-se a descrever e analisar a complexidade progressiva das competências matemáticas que os estudantes desenvolvem ao longo dos anos na escola ou fora dela; no segundo visa o estabelecimento de melhores ligações entre o conhecimento operacional, que são as ações sobre o mundo físico e social, e o conhecimento predicativo, que constitui as expressões linguísticas e simbólicas. O foco deste trabalho está no segundo aspecto.

Como a TCC é uma teoria cognitivista, preocupada com o desenvolvimento da aprendizagem de conceitos e competências, permite explicar como o conhecimento é adquirido. Entenda-se aqui conhecimento como os saberes que expressam procedimentos, o saber decidir e o saber fazer (PALMERO et al., 2008).

O arcabouço do campo conceitual, para Vergnaud (2009) é útil para intervenções didáticas, justamente porque a teoria trata da complexidade progressiva de conhecimento, facilitando a compreensão do processo de conceitualização dos estudantes. Também pode ser entendida como uma teoria que estuda o processo de conceitualização do real (MACHADO E MENEZES, 2008; MOREIRA, 2016).

Vergnaud foi discípulo de Piaget, ampliando e redirecionando sua teoria de um foco nas operações lógicas gerais para um estudo cognitivo do “sujeito-em-situação”. Ele ainda destaca

de Piaget as ideias de adaptação, desequilíbrio e reequilíbrio como fundamento para os estudos sobre ensino e aprendizagem, porém na teoria piagetiana, o mais fundamental é o conceito de esquema (MOREIRA, 2002). Além do legado de Piaget, a teoria de Vergnaud também retoma os estudos de Vygotsky sobre pensamento e linguagem (GRINGS et al., 2006). O olhar voltado para a conceitualização, no entanto não torna a TCC uma teoria que estimula explicitação e formalização dos conceitos (MOREIRA, 2016), como se a prova da aprendizagem fosse poder expressar escrita ou oralmente um conceito ou conjunto de conceitos.

Vergnaud (2009) argumenta que Piaget deu uma excelente contribuição para a psicologia do desenvolvimento de uma forma que nem os behavioristas tinham sido capazes de fazer na época, não avançando no desenvolvimento da teoria por seu fascínio no uso da lógica.

Para Piaget, a lógica poderia ser reduzida para estruturas [racionais] de complexidade para um grupo de transformações, chamado de INRC¹, que explicaria, por exemplo, a compreensão de proporcionalidade no exemplo do colar de contas de Piaget², esse reducionismo não seria frutífero para Vergnaud (ibid.).

Ainda segundo Vergnaud (ibid.),

in the theory of conceptual fields, I borrow from Piaget other important aspects of his work: first the concept of scheme, to which I give a larger interpretation than his, the thesis that knowledge is adaptation (accommodation and assimilation), as well as the overall Piagetian conception that action and representation play the main part in development (VERGNAUD, 2009, p.84)³.

Explicaremos no decorrer desde capítulo o significado dos termos, segundo Vergnaud.

2.1.1 Os campos conceituais

Para Vergnaud (2009), um Campo Conceitual é simultaneamente um conjunto de situações e um conjunto de conceitos ligados entre si, funcionando de maneira que o significado

¹ Para Piaget o grupo INRC (grupo das transformações por inversão e reciprocidade), do período lógico-abstrato, que compreende o momento quando o ser humano se torna capaz de empregar uma lógica independente da manipulação de objetos, significa então: I = transformação idêntica; N = inversa; R = recíproca; C = correlativa (a inversa da recíproca).

² Ver e-book “Jean Piaget no Século XXI”, páginas 43 e 44. Disponível em <https://www.marília.unesp.br/Home/Publicacoes/jean_piaget.pdf>.

³ “na teoria dos campos conceituais, eu pedi emprestado de Piaget outros aspectos importantes de sua obra: primeiro o conceito de esquema, ao qual dou uma interpretação maior do que a dele, a tese de que o conhecimento é a adaptação (acomodação e assimilação), bem como a concepção geral piagetiana que ação e representação desempenham o papel principal no desenvolvimento”. (VERGNAUD, 2009, Tradução Nossa).

dado a um conceito não estará completamente baseando em apenas uma situação, mas em várias situações que devem ser analisadas com ajuda de outros conceitos.

Para dominar um campo conceitual o aprendiz levará um longo período de tempo (MOREIRA, 2016), ou seja, o domínio não ocorre em um ano escolar, nem muito menos durante os meses de um bimestre ou durante as semanas onde determinado conteúdo é exposto, mas

Ao contrário, novos problemas e novas propriedades devem ser estudados ao longo de vários anos se quisermos que os alunos progressivamente os dominem. De nada serve tentar contornar as dificuldades conceituais; elas são superadas na medida em que são encontradas e enfrentadas, mas isso não ocorre de um só golpe (MOREIRA, 2016, p.37)

Nesse sentido, para o desenvolvimento de um campo conceitual os estudantes devem ser confrontados com várias situações contrastantes. Então, pode-se entender que, por exemplo, conceituar ondas não seja possível a partir de exemplos com problemas triviais, pelo contrário, para o desenvolvimento do campo conceitual que contém o conceito de onda é necessário propor situações para enfrentar as dificuldades encontradas no próprio conceito de onda. As dificuldades que aparecerão em situações propostas durante a fase escolar, por exemplo, devem levar os alunos a serem desafiados de diversas maneiras em vários momentos e por longo tempo. Nesse sentido, “Researchers also need to carefully analyse the different ways by which children tackle them”⁴ (VERGNAUD, 2009, p. 86).

O cerne do desenvolvimento cognitivo, na TCC, é a conceitualização (ou conceptualização), de forma que se torna importante dar atenção para os aspectos conceituais dos esquemas. O conceito de esquema vem de Piaget e está ligado a uma ação do sujeito, diante de uma situação ou problema, de forma que os conceitos do sujeito são sua reflexão (MUNARI, 2010). Ainda sobre esquemas, para Fernandes (2011),

Esquemas de ação são as formas como o ser humano interage com o mundo. Nesse processo, ele organiza mentalmente a realidade para entendê-la, desenvolvendo a inteligência. As formas de interação evoluem progressivamente conforme a faixa etária e as experiências individuais (FERNANDES, 2011).

Segundo Moreira (2016), em alguns trabalhos, Vergnaud fala que um campo conceitual pode ser uma série de situações que podem ser aprendidas com o domínio de vários conceitos

⁴ “Os pesquisadores também precisam analisar cuidadosamente as diferentes formas das crianças os [problemas ou situações] enfrentar” (VERGNAUD, 2009, p.84, Tradução Nossa)

das mais variadas naturezas. Por exemplo, no estudo dos terremotos, é comum que se apresente para os estudantes que um tremor é resultado do movimento de alguma camada da superfície da Terra, porém para que se entenda minimamente as causas de um abalo sísmico, uma série de saberes em outras áreas do conhecimento são necessárias, como conhecimento sobre elasticidade e resistências das rochas, os tipo de ondas envolvidos e onde se propagam, como elas se propagam, as formas diferentes de se calcular a magnitude de um abalo e etc.

2.1.2 Conceitos e Categorias

Conceitos e categorias constituem um mecanismo que usamos para a busca de informações, para administrar as nossas atividades da forma mais relevante. Em Vergnaud (2009), a palavra conceito tem sentido mais amplo, de forma que o significado é estendido para conceitos-em-ação.

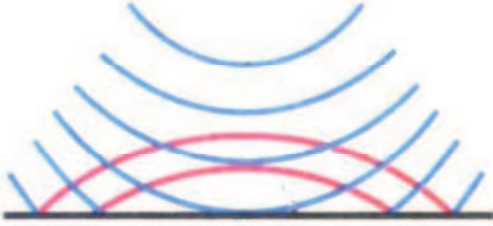
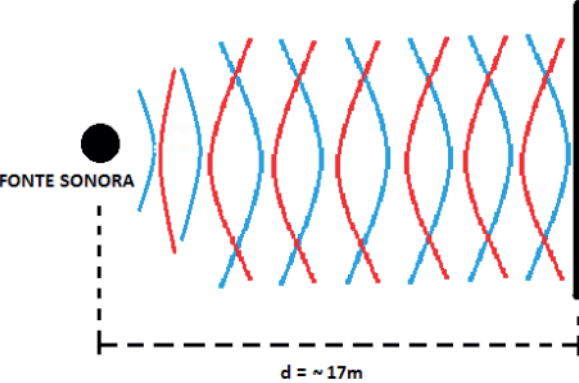
Vergnaud (ibid.) afirma que em virtude da restrição que muitas vezes a palavra conceito é submetida, prefere falar dos conceitos-em-ação ao invés ‘conceito’ ou ‘teorema’, porque, para ele, há uma diferença entre conceituar e simbolizar.

De acordo com Vergnaud (1991), um conceito (C) é formado pelos conjuntos S (que se refere ao conceito), I (significado do conceito) e R (parte significante), ou seja, $C = (S, I, R)$, onde:

- S é um conjunto de situações que proporcionam ao conceito um sentido;
- I é um conjunto de invariantes reconhecidas e usadas pelo sujeito que proporcionam a análise e o domínio das situações de S;
- R é um conjunto de representações (linguagem, escrita, gráficos, etc.) usadas para indicar e apresentar o conjunto de invariantes, representando os métodos pelos quais se pode tratá-las.

Cada situação em S não pode ser analisada por apenas um conceito e um conceito não está presente em apenas uma única situação de S. É em virtude disto que Vergnaud fala em campos conceituais.

O quadro 1 constitui um exemplo dentro da temática que este trabalho se propõe a realizar.

Conceito de Onda		
Situações que envolvem o conceito de onda	Invariantes operatórios admitidos pelo sujeito	Representações simbólicas
<ul style="list-style-type: none"> • Diferentes velocidades de ondas, como luz e som; • Diferentes velocidades do som para diferentes meios; • Eco e reflexão; • Abalos sísmicos em regiões próximas a superfície da Terra 	<ul style="list-style-type: none"> • Ondas são perturbações • A luz e o som têm naturezas ondulatórias diferentes; • Embora tenham naturezas diferentes, as ondas de som e luz podem ser refletidas ao encontrarem obstáculos; • As perturbações possuem diferentes velocidades em função das características próprias de cada meio e em função das características do fenômeno que gerou as ondas; • Abalos sísmicos são perturbações ondulatórias na Crosta Terrestre. 	$V = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ <p>Onde: V é a velocidade da onda; F é a força exercida no meio; μ é a densidade linear do meio.</p> $V = \lambda f$ <p>onde: V é a velocidade da onda; λ é o comprimento de onda; f é a frequência da onda.</p>  <p>Onda incidente (azul) Onda Refletida (vermelho)</p> <p>Fonte: Elaborado pelo autor</p>  <p>Fonte SONORA</p> <p>$d \approx 17m$</p> <p>Onda incidente (azul) reflete em obstáculo, fazendo com que as ondas (vermelho) retornem em direção à fonte.</p> <p>Fonte: Elaborado pelo autor</p>

Quadro 1: Exemplo de conceito formado pelos conjuntos S, I e R. Fonte: Elaborado pelo autor.

2.1.3 Os esquemas

Segundo Vergnaud (1991, p. 136) esquema é “organização invariante do comportamento para uma determinada classe de situações”, dessa forma então, pesquisa-se os conhecimentos-em-ação. Como foi exposto, o conceito de esquema vem de Piaget e tenta explicar as formas como um sujeito organiza suas habilidades sensório-motoras quando intelectuais, ou seja,

Um esquema é um universal que é eficiente para toda uma gama de situações e pode gerar diferentes sequências de ação, de coleta de informações e de controle, dependendo das características de cada situação particular. Não é o comportamento que é invariante, mas a organização do comportamento (MOREIRA, 2016, p. 39).

O entendimento de Vergnaud sobre esquemas, segundo Moreira (2016), está diretamente ligado a interação esquema-situação, diferindo de Piaget que considerava a interação sujeito-objeto. Portanto, o desenvolvimento cognitivo compreende o desenvolvimento de um vasto conjunto de esquemas e o papel da educação é desenvolver e ampliar este conjunto de esquemas, diversificando-os de forma que não se transformem em clichês (MOREIRA, 2016).

Para que o conceito de esquema fique mais preciso, Vergnaud lista os integrantes dos esquemas:

- metas e antecipações: o esquema é conduzido a uma classe de situações, onde o sujeito pode descobrir uma possível finalidade para sua atividade;
- regras de ação: parte geradora e continuadora da sequência de ações, são meios para determinados fins;
- invariantes operatórios: são os teoremas-em-ação e conceitos-em-ação, onde o sujeito reconhece os elementos apropriados à situação, constituindo a base para se atingir as ações adequadas em busca das metas;
- possibilidades de inferências: são os raciocínios que proporcionam o conhecer regras e adiantamentos a partir dos invariantes operatórios, das regras de ação e das metas e antecipações.

O desenvolvimento cognitivo compreende um vasto conjunto de esquemas, disto “conceito-em-ação” e “teorema-em-ação” constituem os conhecimentos englobados aos esquemas, ou ainda são os invariantes operatórios (MOREIRA, 2016).

Assim, “teorema-em-ação é uma proposição considerada como verdadeira sobre o real; conceito-em-ação é uma categoria de pensamento considerada como pertinente (MOREIRA, 2016, p. 40 apud VERGNAUD, 1990, p. 140).

Importante salientar que “conceito-em-ação” não é necessariamente um conceito científico correto e nem um teorema-em-ação é um teorema apropriado a menos que se sejam explicitados e testados e assim ascender gradualmente para verdadeiros conceitos e teoremas científicos (MOREIRA, 2016).

2.1.4 As situações

Entender a teoria do conhecimento como um processo, onde ocorre adaptações, é fundamental, pois segundo Vergnaud (2009), as atividades se adaptam as formas de organização e os esquemas se adaptam as situações. Assim, o par esquema/situação é mais interessante e mais poderoso conceitualmente do que o par resposta/estímulo e muito mais eficiente analisar o comportamento sobre esquema/situação do que falar em sujeito/objeto, como pensava Piaget.

Em Vergnaud, o conceito de situação não é equivalente, por exemplo, a um momento didático ou situação didática, mas sim equivalente a atividade (ou tarefa). Como uma situação não pode ser analisada somente por um único conceito e por toda situação constituir uma combinação de tarefas, das quais se deve conhecer a natureza e dificuldades próprias, as situações é que darão sentido ao conceito (MOREIRA, 2016).

A variedade de situações confere sentido ao conceito, porém não de forma que pensemos a situação em si como o sentido, o sentido está na relação do sujeito com as situações. Isto então, mais precisamente constitui os esquemas, ou seja, a conduta e organização evocados no sujeito pela situação (MOREIRA, 2016).

2.1.5 A TCC na aprendizagem e ensino

Moreira (2016) ainda aponta que geralmente os alunos não são capazes de expressar nem muito menos de explicar seus teoremas-em-ação e seus conceitos-em-ação. No tratar de uma situação em sala, por exemplo, os dados e cálculos dependem dos teoremas-em-ação e de seus elementos apropriados, porém a maioria dos conceitos e teoremas-em-ação permanecem

implícitos. O papel do Ensino então é o de ajudar na explicitação e construção dos conceitos e teoremas, tornando-os passo a passo cientificamente aceitos, partindo do que é implícito.

O implícito é de fato o que o sujeito já sabe sobre algum fenômeno, por exemplo, um conceito implícito “toda onda é igual as ondas no mar”. Obviamente este conceito não é cientificamente verdadeiro, mas que só poderá ser tratado se for explicitado pelo sujeito. Então propondo uma situação que envolva ondas sonoras, que são longitudinais, possivelmente ele compreenda melhor o conceito de onda. Mas não é algo tão simples, porque o conceito de ondas longitudinais e transversais, por exemplo, necessitam do conceito ligado ao significado de “longitudinal” e “transversal”, precisam do conceito de compressão e rarefação, em alguns casos do conceito de periodicidade, frequência e etc., então, sendo o conceito de ondas melhorado através do enfrentamento de certas dificuldades conceituais, o campo conceitual, onde repousa o conceito de ondas, estará sendo progressivamente dominado. Progressiva e paulatinamente, ao passar de um longo tempo, sempre com novos problemas, buscando novas propriedades.

Este trabalho se apoia mais fortemente na TCC, justamente partindo da ideia que o domínio de um campo conceitual, ocorre na medida que novos problemas desafiam os alunos de diferentes formas, buscando o entendimento de novas propriedades dentro de um conceito. No caso deste trabalho, espera-se contribuir para um melhor domínio do campo conceitual sobre o qual repousa a ondulatória, tão importante na física.

2.2 PEDAGOGIA DE PROJETOS

2.2.1 Origem histórica

É possível sempre encontrar no discurso de alguns educadores e teóricos da área de Ensino a ideia que o modelo de escola que temos no Brasil está ultrapassado. No ano de 2012, por exemplo, em matéria⁵ vinculada em site de notícias nacional, Mozart Neves Ramos, na época membro do Conselho Nacional de Educação, chegou a afirmar que a escola no Brasil é do século XIX com professores do século XX e alunos do século XXI. Discursos como este e tantos outros que, embora usando palavras diferentes, giram em torno da mesma concepção: há uma necessidade de se reformular a escola e suas implicações no ensino e aprendizagem.

⁵ Disponível em: <http://g1.globo.com/globo-news/noticia/2012/11/brasil-tem-escola-do-seculo-xix-afirma-especialista-em-educacao.html>

Esta necessidade de reformulação vem dando estímulo aos educadores desenvolverem ações pedagógicas mais diferenciadas. O ensino baseado em projetos constitui uma das várias e possíveis estratégias experimentadas para tornar dinâmico o processo de ensino-aprendizagem, trazendo de volta o aluno como investigador, o prazer pela descoberta e a satisfação em aprender (GUEDES, 2017).

Um aluno na pedagogia de projetos aprende no processo de produzir, de levantar dúvidas, pesquisar e incentivar novas pesquisas, nas descobertas, compreensão e reconstrução do conhecimento, onde o professor não é um mero repetidor de informações, mas sim um mediador que cria situações de aprendizagem, situações não em si mesmas, mas com foco nas relações estabelecidas neste processo, proporcionando ao aluno caminhos para encontrar sentido no que se está aprendendo (PRADO, 2005). Contudo

[...] para fazer a mediação pedagógica, o professor precisa acompanhar o processo de aprendizagem do aluno, ou seja, entender seu caminho, seu Universo cognitivo e afetivo, bem como sua cultura, história e contexto de vida. Além disso, é fundamental que o professor tenha clareza da sua intencionalidade pedagógica para saber intervir no processo de aprendizagem do aluno, garantindo que os conceitos utilizados, intuitivamente ou não, na realização do projeto sejam compreendidos, sistematizados e formalizados pelo aluno. (PRADO, 2005, p. 13)

Trabalhar com projetos exige mudanças no que se acredita sobre ensino e aprendizagem, de forma que muda as práticas do professor e, por consequência, não se torna meramente uma opção metodológica e sim como maneira de repensar a função da escola (PRADO, 2005). Exatamente assim surgiu a pedagogia de projetos, contrapondo a escola tradicional de linha fordista/taylorista, com filosofia de trabalho voltada para o capital financeiro, o poder e o saber, ambos concentrados em poucas pessoas (FLECK, 2007).

A escola tornou-se de linha fordista/taylorista baseando-se na filosofia de mercado. Aos trabalhadores era vedada a possibilidade de participação nos métodos de produção, o que se assemelha muito a escola da época: aos professores e estudantes, a construção do saber estava inacessível e ambos exerciam papéis, de forma que um apenas repassava os conteúdos que havia aprendido e outro repetia-os e decorava-os.

Como contrapondo ao fordismo/taylorismo, surgem na Europa as ideias da Escola Nova com os pesquisadores Montessori, Decroly, Claparède. Nos Estados Unidos, Dewey e Kilprattick foram os representantes americanos e considerados os fundadores do método de projetos, visando que a escola saísse do ensino passivo para um ensino ativo e dinâmico. No

Brasil, Anízio Teixeira na década de 30 e Monteiro Lobato com o “Sítio do Pica-pau Amarelo”, divulgavam a escolanovista (FLECK, 2007).

Dessa maneira, a educação em nosso país passou a vivenciar com experiências consideradas mais inovadoras na educação e apesar dos termos “método de projetos”, “unidades de trabalho”, “o trabalho por temas geradores” e a própria “pedagogia de projetos” tenham surgido com significados e particularidades diferentes, objetivam ensinar ao aluno pesquisar a partir dos problemas do cotidiano, instigando que os alunos descubram, por si mesmos como buscar o conhecimento no resto de sua vida (FLECK, 2007), ou seja, como indicam os PCN+, o novo ensino médio (implicitamente nova escola), deve preparar para a vida, qualificando o sujeito para a vida cidadã e aprendizado permanente (BRASIL, 2006).

2.2.2 O conceito de projeto

A origem da palavra projeto vem do latim *projectus*, particípio passado de *projicere*, que tem significado relativo a lançar algo para frente. Ao nascermos, nós seres humanos somos projetados (lançados) e nos formamos como pessoa ao anteciparmos ações e elegermos metas, lançando-se em busca delas (MACHADO, 2000).

Projeto, porém, não é uma simples representação do futuro ou de uma ideia, é de fato um futuro a ser realizado, uma ideia transformada em ação (BARBIER, 1994, p. 54 apud MACHADO, 2000, p.6). Projetar demanda se abrir muitas vezes para o desconhecido, que por natureza possui uma razão determinada, implicando assim na possibilidade de flexibilização e reformulação sempre que o objeto projetado revelar novos problemas (PRADO, 2005). Segundo Machado,

Sem dúvidas, não há projeto sem essa necessária referência ao futuro. De moto direto, poder-se-ia afirmar: não se faz projeto se não há futuro – ou não se acredita haver; simetricamente, sendo a realidade uma construção humana, pode-se afirmar que também o futuro não existe – ou não existirá – sem nossos projetos. (MACHADO, 2000, p.6).

Um projeto, por se abrir ao desconhecido, inevitavelmente possui ingredientes como o risco do insucesso, o não-determinado, muitas possibilidades de imaginação e criação. Quando se seleciona as metas, é desafiador fugir das certezas e da determinação, porém um projeto não é constituído só por certezas, como de que todo o planejamento poderá ser executado da maneira inicialmente pretendida. As metas selecionadas devem ser projetadas independente dos agentes

atingirem-nas (MACHADO, 2000), pois projeto tem a autonomia como pressuposição, mesmo que a idealização do projeto tenha sido feita para desenvolvimento individual, em grupo ou coletiva (PRADO, 2005), ou seja, projeto é uma ação a ser realizada pelo sujeito que projeta (MACHADO, 2000).

2.2.3 Aprendendo e “ensinando” com projetos

Uma característica marcante na pedagogia de projetos é fazer do aluno principal ator no processo ensino-aprendizagem, ou seja, “deve permitir que o aluno aprenda-fazendo” (PRADO, 2005). Este ponto da Pedagogia de Projetos é muito próximo da teoria construtivista de Piaget e por consequência a Vergnaud, que ampliou o estudo das operações lógicas até concepção cognitiva de “sujeito-em-situação”.

Além de permitir que o aluno aprenda-fazendo, a Pedagogia de Projetos deve proporcionar que o aluno

[...] reconheça a própria autoria naquilo que produz por meio de questões de investigação que lhe impulsionam a contextualizar conceitos já conhecidos e descobrir outros que emergem durante o desenvolvimento do projeto. Nessa situação de aprendizagem, o aluno precisa selecionar informações significativas, tomar decisões, trabalhar em grupo, gerenciar confronto de ideias, enfim, desenvolver competências interpessoais para aprender de forma colaborativa com seus pares (PRADO, 2005, p.15).

Algumas especificações de Vergnaud, quanto aos esquemas trazidos de Piaget, podem ser estar associadas aqui. Por exemplo, “selecionar informações relevantes” seriam as “metas e antecipações”, “tomando decisões” equivalente as “regras de ação”; no reconhecimento da autoria “que produz questões de investigação” associa-se aos invariantes operatórios e possibilidades de inferências.

Portanto, a Teoria de Campos Conceituais de Vergnaud constitui um suporte teórico que esclarece ao professor como o conhecimento é adquirido e por ser uma teoria que estuda o processo de conceitualização do real, a TCC é de importante ajuda na aplicação de um projeto e o cumprimento de seus objetivos e metas.

3 GEOFÍSICA, OSCILAÇÕES E ONDAS

Neste capítulo apresentaremos um olhar sobre os aspectos gerais da Geofísica partindo do Sistema Solar, chegando ao nosso planeta, incluindo um debate sobre a resistência dos

materiais, em especial a resistência das rochas. O capítulo está organizado em uma sequência que permite compreender a formação do Sistema Solar, a formação do planeta Terra e suas camadas, chegando nas causas dos sismos.

3.1 ASPECTOS GERAIS DA GEOFÍSICA DO PLANETA TERRA

3.1.1 A origem do Universo e a formação da Terra

Boa parte deste item está baseado no livro *O céu que ao nosso redor*, organizado por Enos Picazzio (2011).

No ano de 1929, Hubble descobre o afastamento das galáxias, indicando a expansão do Universo com o passar do tempo. Isso indica então, que num passado distante ele era menor do que se apresenta hoje. Extrapolando a ideia para esse passado, a conclusão é que o tamanho do Universo em algum momento foi nulo, possuindo aproximadamente 13,6 bilhões de anos.

A ideia de que, no passado, todo o Universo esteve em um “ponto” de tamanho nulo ficou conhecida como Big Bang (grande “explosão”), termo usado pela primeira vez por Fred Hoyle (1915-2001) de uma maneira depreciativa, já que Hoyle defendia um universo em Estado Estacionário. Pela teoria do Big Bang, o mais adequado seria falar em grande expansão e não grande explosão. Não tendo um ponto de início, pois antes dela não havia espaço, a expansão no Big Bang inclui tudo o que existe: tanto a matéria quanto o tempo e espaço.

Em torno do instante de tempo 10^{-33} segundos após o Big Bang, o Universo passou por uma fase chamada de inflação, expandindo exponencialmente e liberando grande quantidade de energia. Essa expansão minimizou o caos inicial, tornando o espaço-tempo⁶ homogêneo, como observamos hoje.

Após a inflação, o Universo continuou expandindo e resfriando, porém de maneira mais lenta, de tal forma que a temperatura era suficiente para manter matéria e antimatéria⁷ em

⁶ Espaço-tempo é o sistema de coordenadas utilizado por Einstein na relatividade especial e geral, de forma que o espaço tridimensional e o tempo são admitidos como uma única grandeza de quatro dimensões (x, y, z e t). Sendo um ponto no espaço-tempo chamado de acontecimento, é possível que algo esteja em repouso no espaço, mas nunca em relação ao tempo, de forma que tudo no espaço-tempo está em movimento.

⁷ A antimatéria possui as mesmas características da matéria, porém com cargas elétricas opostas ou antiquarks. Por exemplo, um próton tem carga elétrica positiva e é por isso considerado matéria, já o próton de carga negativa é considerado antimatéria. Disto seguem o elétron (negativo) e o pósitron (positivo) como outro exemplo de matéria e antimatéria, respectivamente. O nêutron tem o antinêutron como sua antimatéria não em função da carga (que em ambos é nula), mas em função dos antiquarks que o formam.

equilíbrio. Quando o Universo esfriou, matéria e antimatéria iniciaram um processo de aniquilação, convertendo a massa dessas partículas em energia.

Em torno do instante 10^{-6} segundos, a temperatura do Universo caiu para 10^{12} K e sua constituição até esse instante eram quarks⁸ livres, elétrons e neutrinos. Para temperaturas inferiores a 10^{12} K, os quarks se unem definitivamente em grupos de dois quarks, formando os mésons, e em grupos de três, formando os bárions (prótons e nêutrons, por exemplo). Essa fase é então chamada de bariogênese.

Os prótons e nêutrons que se formaram na bariogênese se fundem nuclearmente, formando sobretudo deutério, posteriormente destruídos pelos fótons energéticos que até ali existiam. O Universo aqui tinha 1 segundo de idade e uma temperatura de 10^9 K. Terminado o primeiro segundo, o deutério restante formou hélio (^4He). Esse processo é chamado de nucleossíntese que seguiu mais alguns minutos formando o lítio (Li), berílio (Be) e boro (B). Aos cinco minutos de idade, a baixa densidade já não permitia tais reações e a nucleossíntese terminou.

Na idade de 60 mil anos matéria e energia (radiação) se igualam em densidade, terminando a era da radiação, e iniciando-se a era da matéria. A temperatura aqui é 9200 K. Antes disso, a densidade de radiação era muito maior que a densidade de matéria, não permitindo a formação de estruturas, de forma que as estrelas não podiam se condensar.

Aos 400 mil anos de idade e estando na temperatura de 3000 K, o Universo não continha um número suficiente de fótons energéticos para que a matéria permanecesse ionizada, tornando os átomos neutros e impossibilitados de interagir com a radiação, esse momento é chamado de recombinação. Os últimos fótons a interagir com a matéria durante a recombinação são percebidos hoje chegando de todas as direções na Terra, conhecidos como Radiação Cósmica de Fundo em Micro-ondas⁹.

Terminada a recombinação, durante 450 milhões de anos a matéria foi se organizando em regiões de maior densidade, de forma que o universo não possuía nenhuma fonte de luz,

⁸ Os quarks são partículas ditas fundamentais da Natureza, ou seja, compõem outras partículas conhecidas como hádrons. Em temperaturas menores que 10^{12} K, os quarks se aglomeram definitivamente, formando os mésons (dois quarks) ou formam bárions (três quarks). Os prótons e os nêutrons são bárions, por exemplo.

⁹ Os fótons que não tinham mais energia suficiente para interagir com a matéria e lhes transferir energia durante a Recombinação são conhecidos com esse nome pela faixa de frequência que possuem ser em micro-ondas.

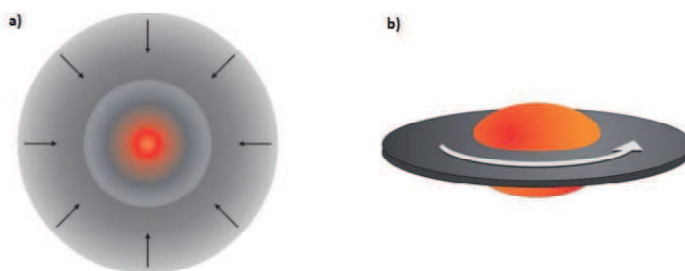
chamada de idade das trevas. Esse período terminou com a formação das primeiras estrelas ou núcleos galácticos (quasares). Hoje vivemos a fase da energia escura¹⁰.

A proposta da hipótese nebular, sugerida em 1755 pelo filósofo Immanuel Kant, é a base para a hipótese moderna do surgimento do Sistema Solar. Em 1796, o matemático Pierre-Simon de Laplace desenvolveu a ideia de Kant em um livro chamado *Exposition du Systemé du Monde*. Laplace considerou que o fato de todos os planetas girarem em torno do Sol na mesma direção (com exceção de Vênus), indicava que uma nuvem de partículas em rotação, formou o nosso sistema (OLIVEIRA FILHO E SARAIVA, 2014),

Essa hipótese sugeria que uma grande nuvem rotante de gás interestelar, a nebulosa solar, colapsou para dar origem ao Sol e aos planetas. Uma vez que a contração iniciou, a força gravitacional da nuvem atuando em si mesma acelerou o colapso. A medida que a nuvem colapsava, a rotação da nuvem aumentava por conservação do momentum angular e, com o passar do tempo, a massa de gás rotante assumiria uma forma discoidal, com uma concentração central que deu origem ao Sol. Os planetas teriam se formado a partir do material no disco (OLIVEIRA FILHO e SARAIVA, 2014, p. 132).

Além da hipótese do colapso natural, acredita-se que esse processo possa ter sido iniciado através de uma supernova, que pode ter causado desequilíbrio gravitacional, iniciando sua contração (RODRIGUES et al., 2003). Com o colapso (Figura 1a), a nuvem iniciou o processo de resfriamento externo, porém no centro da nuvem, a temperatura do proto-sol foi mantida (Figura 1b).

Figura 1: Colapso da nebulosa por autogravidade (a) e Formação do proto-sol (b).



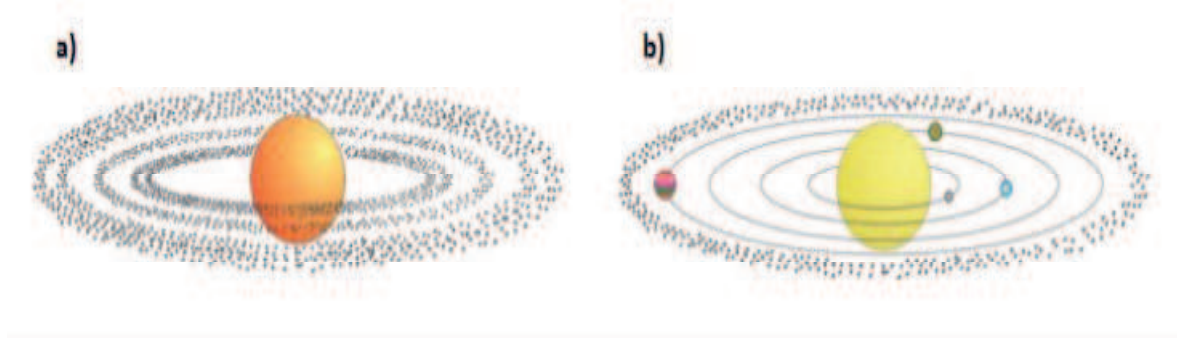
Fonte: OLIVEIRA FILHO e SARAIVA, 2014, p. 124, adaptado.

Ao fim do colapso, a porção de matéria mais externa condensou, dando origem aos planetesimais (Figura 2a). A composição desses planetesimais dependia da distância ao Sol, de forma que os mais próximos foram acrescidos de silicatos e os mais externos silicatos e gelos,

¹⁰ Não se sabe ao certo o que é a energia escura, mas existem evidências de sua presença no universo.

atingindo massas dez vezes maior que a Terra, sendo que inicialmente o gás que estava ao seu redor foi atraído e posteriormente hidrogênio e hélio da nebulosa solar, dando origem aos planetas jovianos. Os planetesimais internos não cresceram muito, formando assim os planetas terrestres, representados na Figura 2b (OLIVEIRA FILHO E SARAIVA, 2007).

Figura 2: Fim do colapso e formação dos planetesimais e (a) Sistema Solar atual (b).



Fonte: OLIVEIRA FILHO e SARAIVA, 2014, p. 134.

Os quatro primeiros planetas – os planetas interiores – Mercúrio, Vênus, Terra e Marte, devido à proximidade do já formado Sol, não foram capazes de conter os materiais mais voláteis que se tornariam gases em temperaturas menores e por consequência tais planetas são constituídos por materiais predominantemente sólidos (PRESS, 2006).

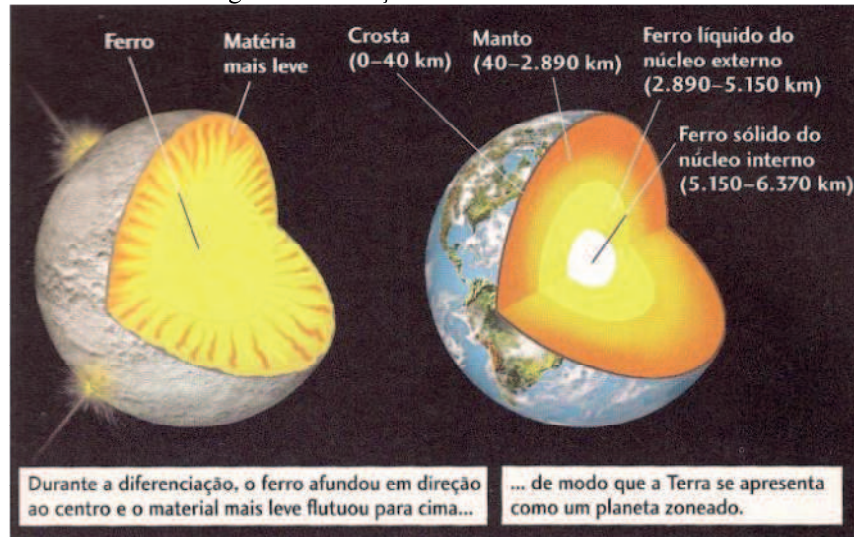
Segundo Press et al. (2006), a resposta para o questionamento de como a terra evoluiu a partir de uma massa rochosa até o que conhecemos hoje reside no fenômeno da diferenciação:

A transformação de blocos aleatórios em matéria primordial num corpo cujo interior é dividido em camadas concêntricas, que diferem umas das outras, tanto física como quimicamente. A diferenciação ocorreu nos primeiros momentos da história da Terra, quando o planeta adquiriu calor suficiente para se fundir. (PRESS et al., p. 30-31)

Existiram impactos violentos entre planetesimais e corpos maiores que viajavam com velocidades entre 15 e 20 km/s. A velocidade e massa dos planetesimais (próximos a massa da Lua) nos faz entender a imensa energia cinética que tais corpos possuíam. Maior parte dessa energia cinética foi convertida em calor, constituindo parte da energia que veio a fundir a Terra. Outra contribuição energética foi a dos elementos radioativos. O decaimento espontâneo teria causado a emissão de partículas subatômicas que, viajando com altas velocidades e dotadas de energia cinética, foram absorvidas por outros materiais ao redor, transformando-se também em calor.

De acordo com Press et al. (2006), alguns trabalhos nessa área de estudo sugerem que algo entre 30 e 65% da massa da Terra teria se fundido com o calor recebido, formando uma camada externa com centenas de quilômetros, chamada de oceano de larva.

Figura 3: Formação das Camadas da Terra.



Fonte: PRESS et al., 2006, p. 32.

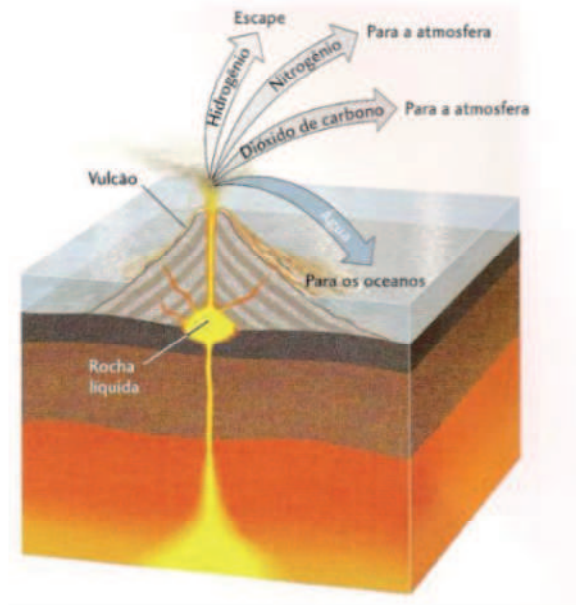
A parte mais interna teria se aquecido até formar um estado menos denso, de tal modo que a massa mais interna flutuou para a superfície carregando o calor interno do planeta que foi irradiado para o espaço, resfriando a Terra e formando a crosta. A parte mais densa afundou para o interior se tornando o núcleo, ilustrado na Figura 3 acima.

3.1.2 A formação dos continentes, oceanos e atmosfera

A formação dos continentes se iniciou ao término da diferenciação e continuou por um longo tempo. Em virtude disto os geólogos possuem apenas uma noção geral sobre a sua formação, fazendo com que surjam algumas teorias diversas sobre o tema.

Como indicado no último parágrafo do item anterior (3.1.1), admite-se que o magma proveniente do interior da Terra ao chegar na superfície do planeta se resfriou, formando os continentes primitivos. Em sucessivos ciclos, materiais como água, gelo, vento e demais constituintes da atmosfera causaram a erosão das rochas, carregando detritos rochosos para lugares de níveis terrestres mais baixos, acumulando-se em camadas espessas, estruturando os continentes.

Figura 4: Ascensão do magma provindo do interior da Terra, formando vulcões e estruturando os continentes.



Fonte: PRESS et al., 2006, p. 33.

Acredita-se que a maior parte do ar e água presentes na Terra hoje tiveram origem nos corpos que colidiram com o nosso planeta após sua formação. Os fragmentos restantes da formação dos planetas gasosos e meteoros são constituídos boa parte de gelo e compostos de carbono (DAMINELI E DAMINELI, 2007). Ainda segundo Damineli e Damineli (ibid.), cometas apresentam 50% de H_2O , 1% de HCN , 1% de H_2CO_3 além de CO e CO_2 .

Outros geólogos acreditam que os planetesimais que formaram a Terra continham água, gelo e demais elementos voláteis. A água, nitrogênio e carbono estariam quimicamente ligados aos minerais que constituíam os planetesimais e durante o aquecimento da Terra (pelas colisões), os minerais fundiram-se e liberaram tais materiais para o limite entre o magma e a crosta, lançados na atmosfera por atividade vulcânica. Até então o oxigênio não estava presente na atmosfera, pois os seres fotossintetizantes ainda não existiriam.

3.1.3 A tectônica de placas

Entre o final do século XVI e início do século XVII, alguns cientistas europeus perceberam que a geografia da costa do Continente Europeu poderia “se encaixar” na costa do Continente Norte Americano e similarmente o Continente da África com o Continente Sul Americano.

Figura 4: O encaixe do quebra-cabeças dos continentes construído a partir da teoria da deriva continental.



Fonte: PRESS et al., 2006, p. 48.

Já ao final do século XIX, o geólogo Eduard Suess postulou que todos os continentes separados atualmente um dia foram um único continente – o Gondwana. Posteriormente, em 1955, o meteorologista alemão Alfred Wegener escreveu um livro sobre a fragmentação dos continentes e as similaridades das rochas entre os continentes que pareciam se encaixar. Anos mais tarde, Wegener postulou a fragmentação dos atuais continentes a partir de um supercontinente chamado por ele de Pangeia, aplicando o conceito de deriva continental (movimento dos continentes sobre o globo terrestre) para explicar o afastamento, embora maioria dos geólogos naquele momento não estivessem convencidos da possibilidade da deriva continental (PRESS et al., 2006)

Após a Segunda Guerra Mundial, a exploração do fundo dos oceanos trouxe a descoberta de uma fenda (ou rifte) na Dorsal Mesoatlântica (Figura 5). Outras dorsais foram descobertas nos oceanos Pacífico e Índico, posteriormente. Os geólogos então descobriram que maior parte dos terremotos ocorriam próximos ao rifte e como maioria deles ocorrem em falhas tectônicas, a descoberta levava a suspeita do rifte ser ativo tectonicamente, tornando ainda mais fortalecida a ideia de que era o manto terrestre o responsável pela deriva continental (PRESS et al., 2006).

Figura 5: Dorsal Mesoatlântica.



Fonte: PRESS et al., 2006, p. 50.

Em 1962 Harry Hess e Robert Dietz, ambos da Universidade de Princeton, apresentaram a hipótese da expansão do assoalho oceânico, supondo que os continentes se afastavam por meio do surgimento de uma nova litosfera em riftes mesoatlânticos. No ano de 1965, o geólogo canadense Jonh Tuzo Wilson propôs que as falhas geológicas eram a razão da abertura dorsal oceânica. Ele foi o primeiro a descrever a tectônica como em placas rígidas que se moviam sobre a superfície terrestre (PRESS et al., 2006). Wilson ainda descreveu três tipos de limites onde as placas se separavam, aproximavam-se ou deslizavam lateralmente uma em relação a outra (ibid.). Assim, como a teoria da tectônica, a parte rígida da litosfera (camada que inclui a crosta e a parte superior do manto terrestre) do nosso planeta não é contínua, mas sim fragmentada (Figura 6), onde cada placa movimenta-se sobre a astenosfera (camada do manto logo abaixo da litosfera rígida) que também está em movimento.

Figura 6: Divisão das placas tectônicas



Fonte: Disponível em <https://pt.wikipedia.org/wiki/Placa_tect%C3%B3nica>

3.2 ASPECTOS TEÓRICOS DA ELASTICIDADE DOS MATERIAIS

3.2.1 Tensão, deformação e elasticidade

Em Física, utilizamos o conceito de corpo rígido para descrever um corpo ou sistema constituído de partículas agregadas de forma que a distância entre tais partículas não varia com o passar do tempo, ou seja, as distâncias possuem rigor de constância. Porém o corpo rígido é um modelo. Os materiais reais, na verdade, são elásticos e podem se deformar parcialmente. Estruturas de aço de um edifício, as asas de um avião, as pontes e viadutos, são exemplos de corpos e sistemas que devem ser capazes de sofrer flexões a depender das propriedades elásticas de cada material (YOUNG E FREEDMAN 2008).

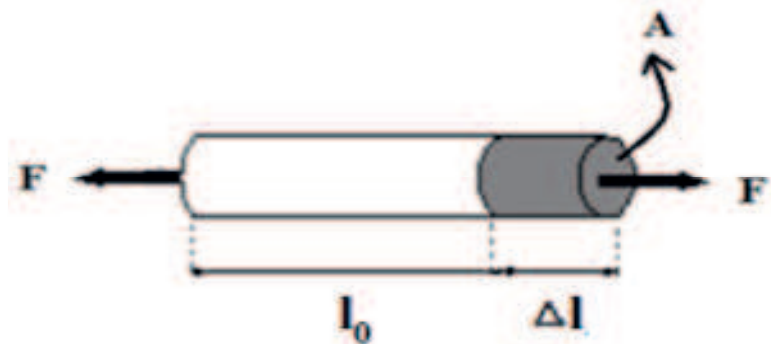
Assim, por um conceito mais geral, quando uma força qualquer é aplicada sobre um corpo qualquer, os efeitos podem ser movimento, deformação, ou ainda ambos. Para situações onde as partículas que foram deslocadas das suas posições iniciais e posteriormente retornaram quando a força deixar de ser aplicada, ou seja, situação em que a deformação não é permanente, então falamos que tal corpo sofreu deformação elástica (MIRANDA et al, 2017).

A cada tipo de deformação está associada a grandeza tensão, que representa a intensidade das forças que produzem a dilatação, a compressão, ou a torção. Uma outra

grandeza é a deformação, que descreve a deformação resultante de um corpo ou sistema. Em casos onde a tensão e a deformação forem suficientemente pequenas, elas se tornam diretamente proporcionais, em que a constante de proporcionalidade é chamada de módulo de elasticidade (YOUNG E FREEDMAN 2008).

Para ilustrar a o comportamento elástico dos materiais, consideremos o exemplo mais simples: um cilindro (Figura 7) de comprimento inicial l , com área de secção transversal A , sob a ação de duas forças F idênticas e perpendiculares as áreas A das extremidades (garantindo repouso) que, atuando sobre o cilindro, causa-lhe uma certa deformação Δl .

Figura 7: Cilindro deformado pela ação de uma força \vec{F} .



Fonte: MIRANDA et al, 2017, p. 20. Adaptado.

Considera-se então, que o cilindro está submetido a uma tensão, que neste caso é também chamada de tensão de dilatação. A tensão (σ) é dada por

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

A unidade no SI para tensão é o Pascal (Pa). Essa grandeza é escalar em virtude de F constituir o módulo de uma força.

Ainda usando a Figura 7, pode-se definir a deformação (ε), como a seguinte expressão:

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2)$$

Note que essa grandeza é adimensional.

O exemplo com o cilindro mostra que em uma deformação, Δl é diretamente proporcional à força aplicada e também a dimensão “não deformada” do corpo, contudo é inversamente proporcional à secção de área A do cilindro (MIRANDA et al, 2017). Matematicamente temos:

$$\frac{F}{A} \propto \frac{\Delta l}{l_0} \quad (3)$$

Para obtermos uma equação, consideremos uma constante E (módulo de elasticidade), para tornar o primeiro membro igual ao segundo:

$$\frac{F}{A} = E \frac{\Delta l}{l_0} \quad (4)$$

Organizando a equação, temos:

$$\Delta l = \frac{Fl_0}{EA} \quad (5)$$

Esta última equação indica que o alongamento do cilindro é diretamente proporcional à força F e ao comprimento inicial l_0 e inversamente proporcional ao módulo de elasticidade E e à área da secção A . O produto entre o módulo da elasticidade e a área, EA , é chamado de rigidez axial (MASCIA, 2006).

Na deformação, na faixa em que os parâmetros de tensão e deformação são proporcionais, resulta em uma relação linear, que conhecemos como lei de Hooke (CALLISTER Jr e RETHWISCH, 2014):

$$\sigma = E\varepsilon \quad (6)$$

A constante de proporcionalidade E chama-se módulo da elasticidade ou módulo de Young.

A lei de Hooke, não é exatamente uma lei geral, porém é válida para tensões e deformações suficientemente pequenas, ou seja, válida em intervalos limitados de Δl . Tal lei expressa a ideia de que quanto mais se estica um objeto, mais ele se dilata e quanto mais se esmaga um objeto, mais ele se comprime. Assim, de uma maneira geral temos a lei de Hooke como sendo:

$$\text{Módulo de Elasticidade} = \frac{\text{Tensão}}{\text{Deformação}}$$

Contudo, mesmo que o material que compoña um corpo apresente comportamento elástico, após um certo limite de tensão a lei de Hooke não é mais válida. Ao ultrapassar esse limite de tensão chamado de limite elástico, não irá recuperar seu comprimento inicial l_0 , mesmo que a força não esteja mais sobre o corpo em questão. A partir desse ponto qualquer pequeno aumento de tensão resultará em deformação permanente, que chamamos de deformação plástica. Esta situação está apresentada no gráfico contido na Figura 8.

Figura 8: Gráfico da tensão em função da deformação de um material hipotético.

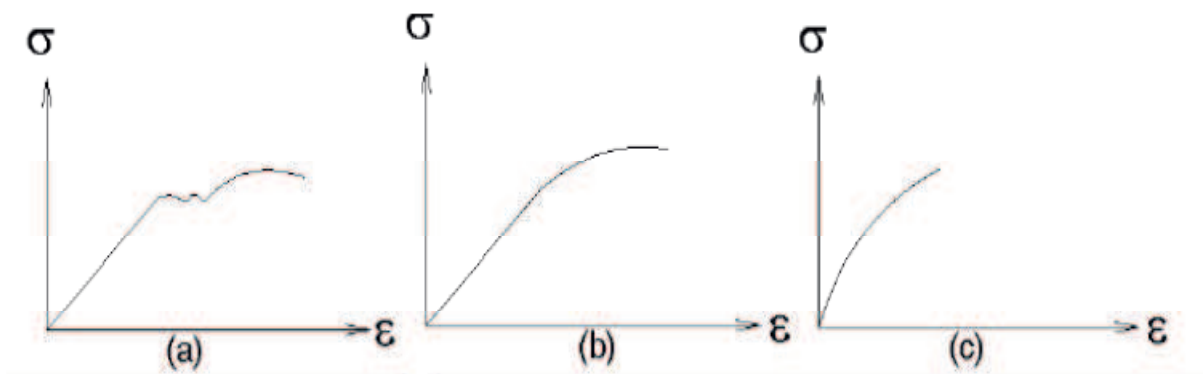


Fonte: MIRANDA et al, p. 20.

De acordo com MIRANDA et al (2017), em uma situação em que a tensão ultrapasse a resistência do material, ocorrerá a fratura do material. Algumas rochas por apresentarem comportamento frágil, podem inesperadamente fraturar mesmo dentro do limite elástico.

Os diagramas da Figura 9 abaixo, representam algumas outras representações de gráficos de materiais descritos abaixo.

Figura 9: Diagramas de tensão x deformação.



Fonte: MASCIA, 2006, p.4.

Na Figura 9(a) e (b), os materiais são denominados dúcteis, nos quais antes da ruptura se apresentam grandes deformações, por exemplo, aço e alumínio. A Figura 9(c) mostra um material dito frágil nos quais não há grandes deformações, como por exemplo, ferro fundido, vidro e concreto (MASCIA, 2006).

3.3 SISMOLOGIA

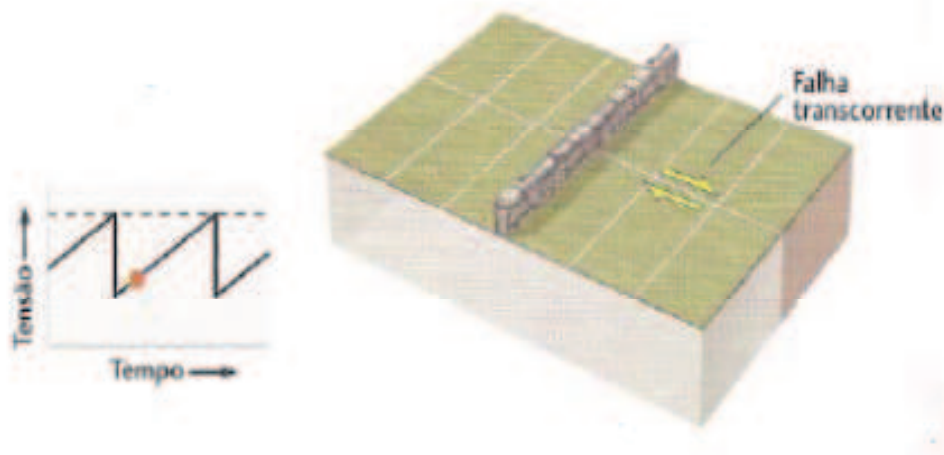
3.3.1 A teoria do rebote elástico

Os movimentos das placas tectônicas causam forças nas zonas estreitas entre os limites das placas deixando marcas por processos que envolvem os conceitos de tensão, deformação e elasticidade (ou resistência). As rochas se rompem nas falhas, quando estão sob tensão maior que o limite elástico (ou limite de resistência). Assim, um terremoto ocorre quando as rochas que sob tensão se partem ao longo de alguma falha de forma que as duas partes de rochas, em cada lado da falha, deslizam e acabam por provocar ondas sísmicas. A tensão é então reduzida a um nível menor que a resistência da rocha.

Acabando o terremoto, a tensão passa novamente a aumentar de maneira gradativa. Gerando um processo cíclico (PRESS et al, 2006). Um exemplo disto está explicitado abaixo.

Um muro foi construído sobre uma falha transcorrente algum tempo após a última vez que falha apresentou ruptura, ou seja, pouco após um terremoto. O gráfico contido na Figura 16 indica que a tensão sobre a falha ainda é pequena para essa situação.

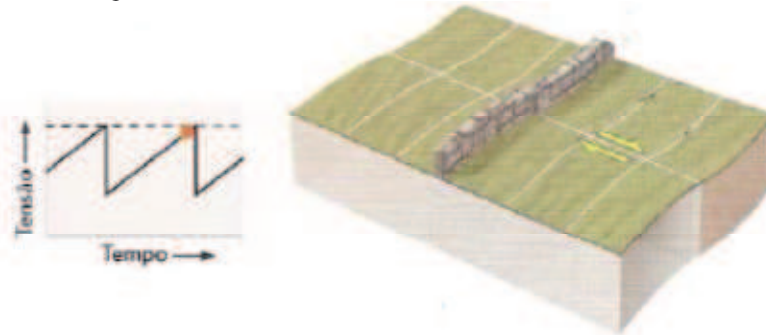
Figura 10: Início do acumulo de tensão sobre a falha.



Fonte: PRESS et al., 2006, p. 470. Adaptado.

Nos anos seguintes, a deformação das rochas vai aumentando progressivamente o movimento relativo entre os dois blocos de cada lado da falha, causando a deformação do terreno e do muro (Figura 11). A tensão acumulada sobre os blocos de rocha aumentou ao longo dos anos, mas ainda não atingiu o limite elástico da resistência da rocha.

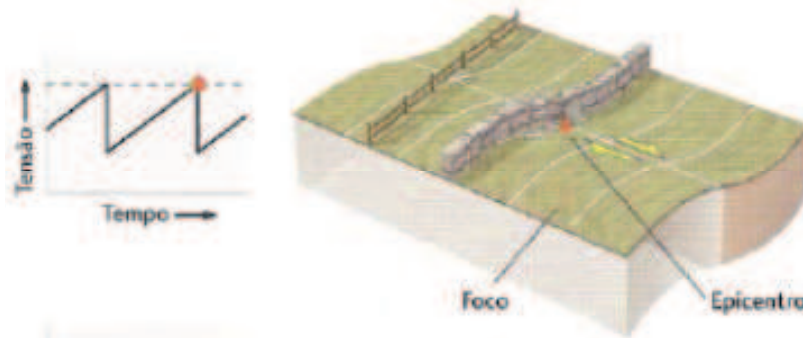
Figura 11: A tensão sobrea a falha no limite da resistência.



Fonte: PRESS et al., 2006, p. 470. Adaptado.

Pouco antes da ruptura da rocha ocorrer uma cerca é construída no terreno já deformado (Figura 12). Até aqui as rochas não se moveram, porque a força elástica ainda não superou a força de atrito em algum ponto da falha. Percebe-se ainda que a tensão acumulada sobre a rocha chegou ao limite de resistência.

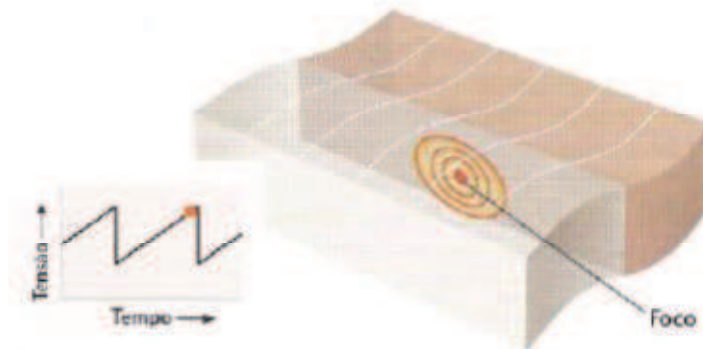
Figura 12: Falha prestes a se romper.



Fonte: PRESS et al., 2006, p. 470. Adaptado.

Quando esta tensão exceder a resistência, uma ruptura se inicia primeiramente no foco causando o deslocamento. O epicentro é então o ponto geométrico na superfície da Terra em linha reta ao foco, que está localizado sob o epicentro.

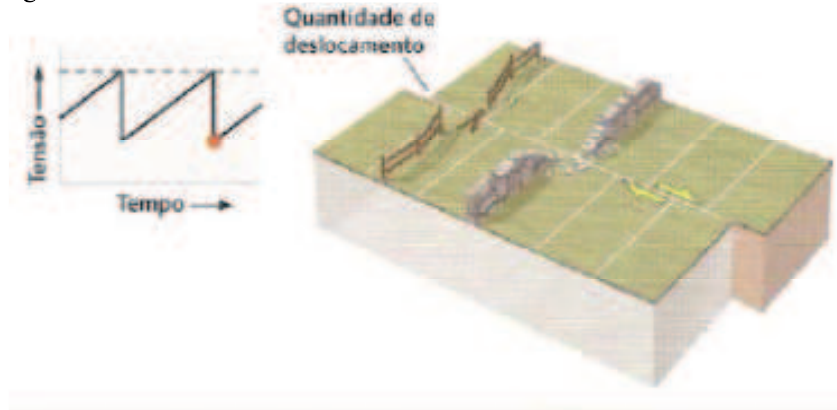
Figura 13: Localização do foco sob o epicentro.



Fonte: PRESS et al., 2006, p. 471.

A ruptura consegue deslocar a falha, o que reduz a tensão. Observe que o muro não está mais ondulado na Figura 14 em relação a Figura 12, enquanto a cerca apresenta encurvamento.

Figura 14: Movimento entre os blocos. A tensão sobre a falha cai drasticamente.



Fonte: PRESS et al., 2006, p. 470. Adaptado.

A imagem abaixo (Figura 15), mostra uma situação real que ocorreu na Califórnia (EUA) logo após o terremoto de San Francisco, no ano de 1906. O rejeito (distância de deslocamento) mede cerca de 3 metros.

Figura 15: Cerca deslocada durante o terremoto de San Francisco, em 1906.



Fonte: PRESS, et al., 2006, p. 471.

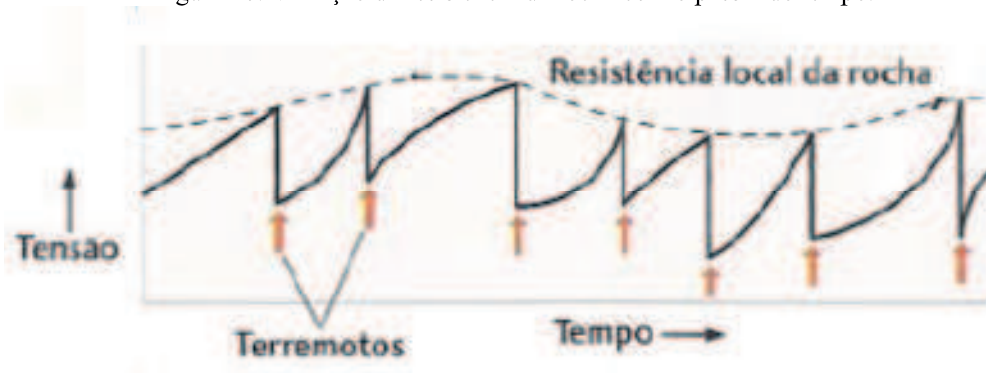
A exemplificação proposta nas figuras 10 a 15, é chamada de teoria do rebote elástico, proposta por Henry Fielding Reid (Universidade de Jonh Hopkins), para explicar a ocorrência dos terremotos, como o de San Francisco, em 1906 (PRESS et al, 2006).

O avanço na ruptura da falha irá até onde a força começar a se tornar insuficiente, por exemplo, em rochas mais resistentes ou ao encontrar qualquer outro material dúctil.

A teoria do rebote elástico, contudo, não é capaz de tornar os terremotos previsíveis por uma razão muito simples: a resistência da falha pode variar com o passar do tempo (Figura 16).

Por existirem tantas falhas em cada local onde existe uma potencial chance de terremotos, a tensão pode se acumular mais rápida ou mais lentamente. Em poucas palavras, a ocorrência de terremotos e suas magnitudes são bastante variáveis.

Figura 16: Variação da resistência da rocha com o passar do tempo.

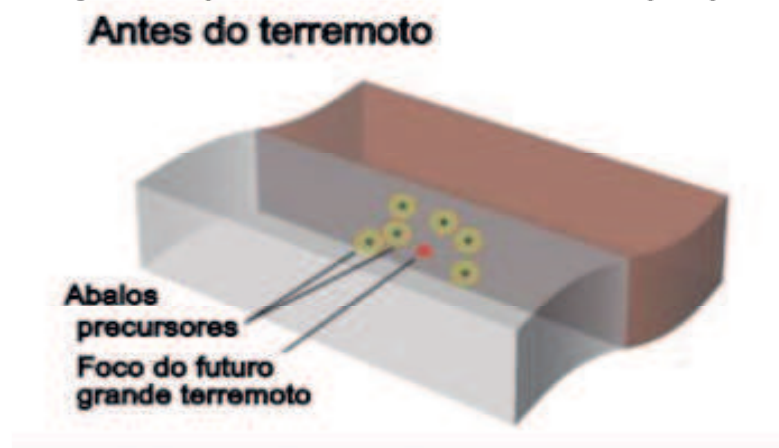


Fonte: PRESS et al., 2006, p. 470. Adaptado.

3.3.1.1 Abalo sísmico precursor e abalo sísmico secundário

Embora a teoria do rebote elástico seja um modelo que explique de maneira mais simples os sismos, existem outros dois fenômenos mais complexos relacionados, que se chamam de abalo precursor e abalo secundário. Os abalos precursores são pequenos terremotos (Figura 17) que podem ocorrer em tempo próximo (anterior) a um abalo sísmico principal (PRESS et al., 2006).

Figura 17: Pequenos tremores ocorrem antes do tremor principal.

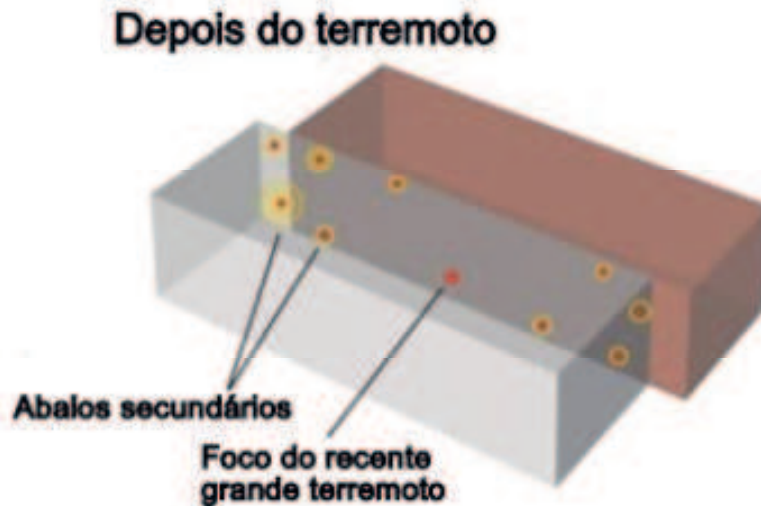


Fonte: PRESS et al., 2006, p. 473.

Outro fenômeno complexo e que o rebote elástico não descreve é o chamado abalo secundário. Trata-se de um terremoto que pode ocorrer logo após um abalo sísmico de maior

magnitude. Os focos (Figura 24) de tais abalos secundários estão no plano da falha que causou o abalo principal ou ao seu redor (PRESS, et al., 2006).

Figura 18: Focos os abalos secundários.



Fonte: PRESS et al., 2006, p. 473.

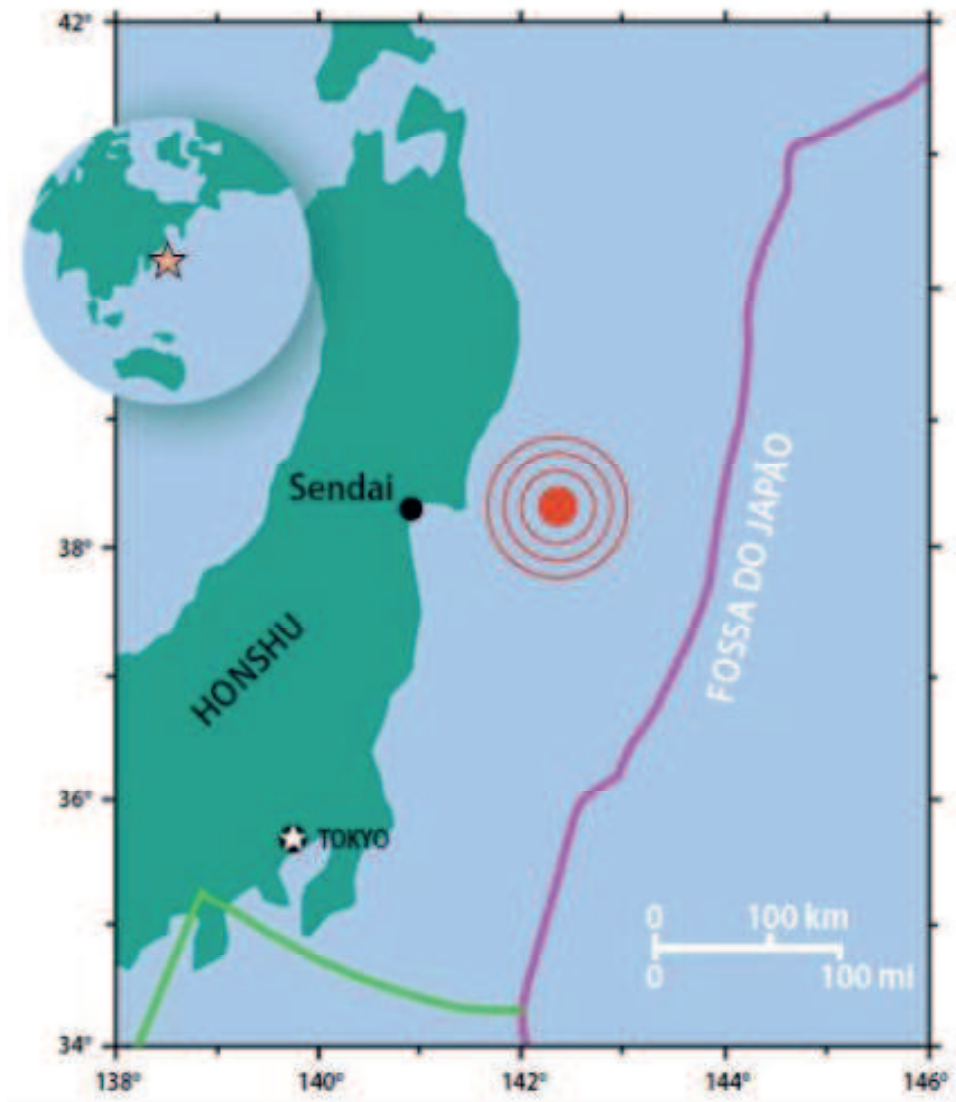
Press et al. (2006), informa que:

Tanto a quantidade como o tamanho dos abalos secundários dependem da magnitude do abalo sísmico principal e ambos os parâmetros diminuem com o passar do tempo. A sequência de abalos secundários de um terremoto de magnitude 5 pode durar apenas algumas semanas, enquanto para um terremoto de magnitude 7 pode prolongar-se por vários anos. O tamanho do maior abalo secundário é normalmente em torno de uma unidade de magnitude menor que o abalo sísmico principal. Em outras palavras, um terremoto de magnitude 7 pode apresentar um abalo secundário de até a magnitude 6. (PRESS, 2006, p. 473).

Os efeitos dos abalos sísmicos secundários são bastante prejudiciais, já que se somam aos efeitos causados pelo abalo principal, por exemplo, em estruturas de edifícios e casas, causando vários outros prejuízos e mortes.

Um exemplo dos abalos precursoros e abalos secundários, aconteceu na costa do Japão (Figura 19), dia 10 de março de 2011, quando um tsunami foi causado por um terremoto de magnitude 9, durando aproximadamente 6 minutos. Cerca de quatro dias antes, em 7 de março, dois abalos foram registrados, um de magnitude 7,2, e meia hora depois, outro com magnitude 7,7. Outros 900 terremotos secundários ocorrem nas semanas e meses seguintes ao principal, sendo que cinco destes com magnitude maior que 7, outras centenas com magnitude maior ou igual a 6 e demais próximos da magnitude 5 (ANDRADE, 2011).

Figura 19: Epicentro do terremoto principal na costa do Japão em 2011.



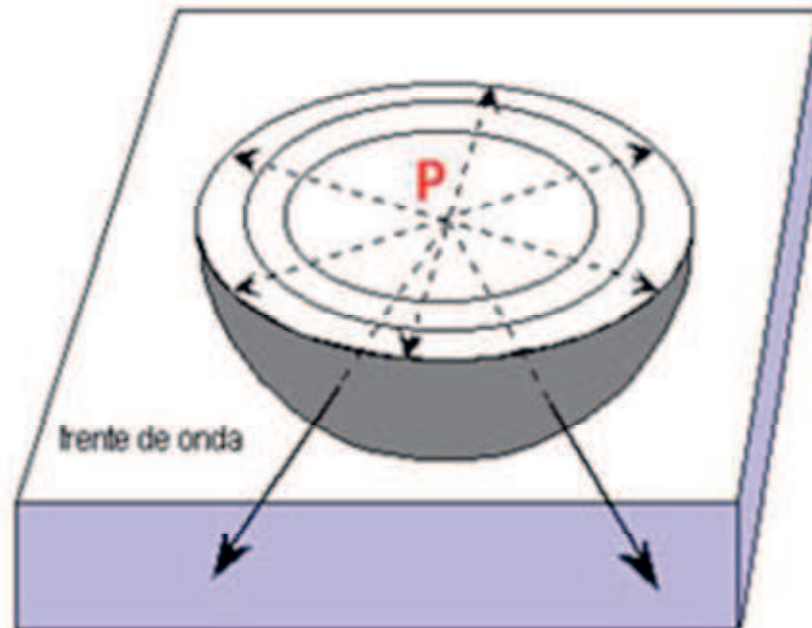
Fonte: ANDRADE, 2011, p. 20.

3.3.2 Ondas Sísmicas

Descrever a propagação de ondas sísmicas através de meios homogêneos, não é tarefa complicada, porém a descrição em meios heterogêneos é complexa e necessita de simplificações. Uma das condições é supor que alguns meios heterogêneos sejam aproximadamente homogêneos. Outra condição, mais importante que a primeira, é admitir que as ondas sísmicas estejam se propagando em meios elásticos, logicamente isto não é verdadeiro, pois nesse caso não existiriam as rupturas que causam os terremotos, como foi exposto no item 3.3.2; porém para uma certa distância do epicentro, é razoável admitir que o meio seja homogêneo, que admite deformação elástica e assim a passagem da onda sísmica (MIRANDA et al, 2017).

Supondo então a liberação de energia sísmica a partir de um ponto P (Figura 20) qualquer, situado em um meio homogêneo e próximo (abaixo) da superfície do planeta, parte da energia é liberada em forma de ondas de volume, que se propagam no interior da terra e a outra parte em forma de ondas superficiais (MIRANDA et al, 2017).

Figura 20: Ondas de volume a partir de uma fonte pontual P num meio homogêneo.



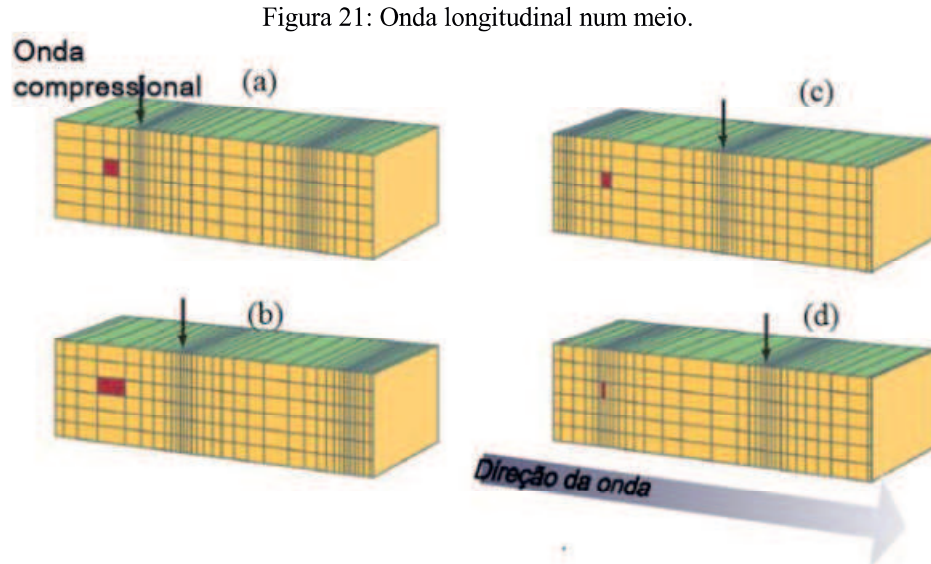
Fonte: MIRANDA et al, 2017, p. 28.

3.3.2.1 Ondas Sísmicas Volúmicas longitudinais ou compressivas

As ondas sísmicas de volume propagam-se em três dimensões e a energia se espalha por uma área que é proporcional ao quadrado da distância. Da Física Ondulatória, tem-se que a energia é proporcional ao quadrado da amplitude, contudo em virtude da dispersão geométrica, a amplitude é inversamente proporcional à distância da fonte (MIRANDA et al, 2017).

Usando a mesma representação da óptica geométrica, é comum caracterizar a frente de onda como sendo uma superfície onde todos os pontos estão em fase. A reta de direção perpendicular à frente da onda é chamada de raio sísmico. No geral, a frente de onda tem forma esférica para pequenas distâncias, contudo afastando-se da fonte e considerando uma região limitada da frente de onda, a mesma torna-se uma onda plana. A razão desta simplificação permite um tratamento matemático usando um sistema de coordenadas cartesianas que é suficientemente rigoroso para a compreensão dos fundamentos da propagação de tais tipos de ondas.

Consideremos então, uma onda que tem sua propagação na direção do eixo x e que o plano yz contém a frente de onda, como a Figura 21 abaixo.



Fonte: PRESS et al., 2016. p. 475. Adaptado

É importante observar que cada elemento de volume sofre compressões e expansões, semelhante ao som se propagando no ar, onde há rarefação e compressão com a passagem da onda, que vibra na mesma direção de sua propagação, ou seja, é uma onda longitudinal (MIRANDA et al, 2017). Tais ondas são chamadas de ondas primárias ou simplesmente ondas P, que ganha esse nome porque elas são as primeiras ondas detectadas pelos sismógrafos (PRESS et al., 2006).

Em uma dada posição x qualquer, a passagem dessa onda produz um deslocamento u e uma força F_x na direção do eixo x. Na posição $(x + \Delta x)$ o deslocado será $(u + \Delta u)$ e a força $F_x - dF_x$. Considerando que um elemento de volume tenha massa igual a $\rho dx A_x$ e que a força resultante seja dada por $(F_x - dF_x) - F_x = dF_x = \frac{\partial F_x}{\partial x} dx$, aplicando a Segunda Lei de Newton, temos:

$$m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = F_R$$

$$(\rho dx A_x) \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial F_x}{\partial x} dx \quad (7)$$

De acordo com Miranda (et al, 2017), a força F_x é a causadora da tensão σ_{xx} sobre a área A_x , a expressão $F_x = A_x \sigma_{xx}$ combinada com as equações (6) e (7) usando a Segunda lei de Newton, temos:

$$(\rho dx A_x) \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} A_x dx$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{E}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (8)$$

Para $\frac{E}{\rho} = v^2$, ou seja, $v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$, onde v é a velocidade da onda em uma dimensão.

Assim a equação (8), torna-se:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (9)$$

Expandindo o exemplo para as três dimensões, temos a seguinte equação:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = \alpha^2 \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}$$

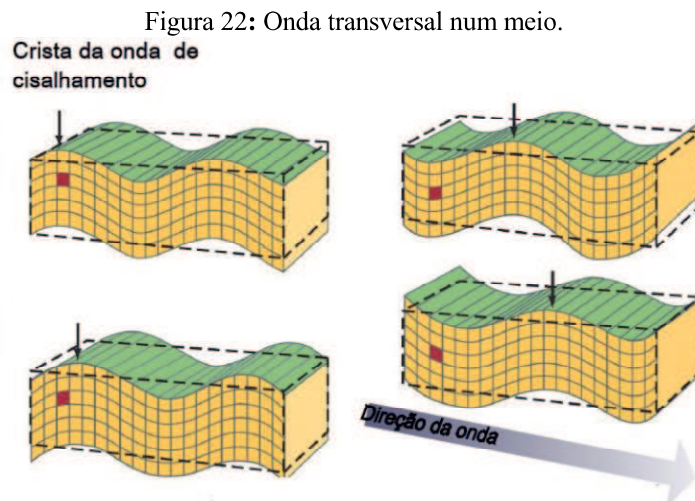
Usando algumas igualdades entre as constantes elásticas (ver Miranda et al 2017), chega-se seguinte expressão para α :

$$\alpha = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (10)$$

Na equação (10) acima o termo α representa a velocidade da onda em três dimensões.

3.3.2.2 Ondas Sísmicas de corte ou cisalhantes

A onda de corte é transversal, por isso faz com que todos os planos verticais (linhas na Figura 22), movam-se para cima e para baixo, alterando cada elemento de volume entre as formas aproximadas de um retângulo e um losango.



Fonte: Press, et al., 2016, p.475. Adaptado

Considerando então um destes elementos de volume, por onde passa uma onda transversal de direção de propagação em x , causando no elemento de volume um deslocamento w e uma força F_z na direção de z . Novamente, na posição $(x + \Delta x)$ o deslocado será $(w + \Delta w)$ e a força $F_z - dF_z$, considerando um elemento de volume tenha massa igual a $\rho dx A_x$ e sabendo que a força resultante é dada por $(F_z - dF_z) - F_z = dF_z = \frac{\partial F_z}{\partial x} dx$, aplicando-se a Segunda Lei de Newton, temos:

$$m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = F_R$$

$$(\rho dx A_x) \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = \frac{\partial F_z}{\partial x} dx \quad (11)$$

Como $F_z = A_x \sigma_{xz}$ (MIRANDA et al, 2017), como se expos acima, a equação (11) acima se torna:

$$(\rho dx A_x) \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial x} A_x dx \quad (12)$$

Combinando as expressões $\sigma_{xz} = 2\mu \varepsilon_{xz}$ (tensão de corte do plano xz) e $\varepsilon_{xz} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right)$ (tensão de corte) juntamente com a equação (12), temos:

$$\rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = \frac{\partial \mu \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)}{\partial x}$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (13)$$

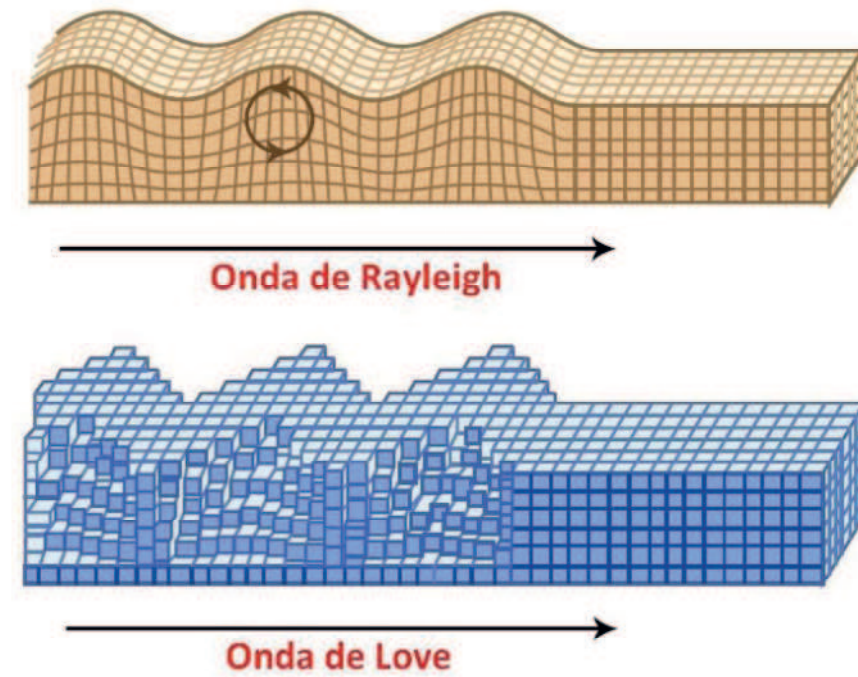
Chamando o termo $\frac{\mu}{\rho}$ de β^2 , temos então a equação $\beta = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$ (14), onde β é a velocidade da onda transversal.

3.3.2.3 Ondas sísmicas superficiais

Além das ondas de volume, descrita nos itens anteriores, parte da energia sísmica é também liberada em forma de ondas que se propagam pela superfície. Existem dois tipos

principais de ondas superficiais (Figura 23): as ondas de Rayleigh e as ondas de Love (MIRANDA et al., 2017).

Figura 23: Principais ondas sísmicas superficiais.



Fonte: MIRANDA et al, 2017, 2011, p. 33.

De acordo com MIRANDA et al (2017),

O movimento das partículas na frente de onda de uma onda de Rayleigh está polarizado no plano vertical e pode ser visualizado como uma combinação de vibrações do tipo P e S. Se o sentido de propagação se der para a direita do observador, o movimento das partículas individuais descreve uma elipse retrógrada alinhada no plano vertical. (MIRANDA et al, 2017, p.34)

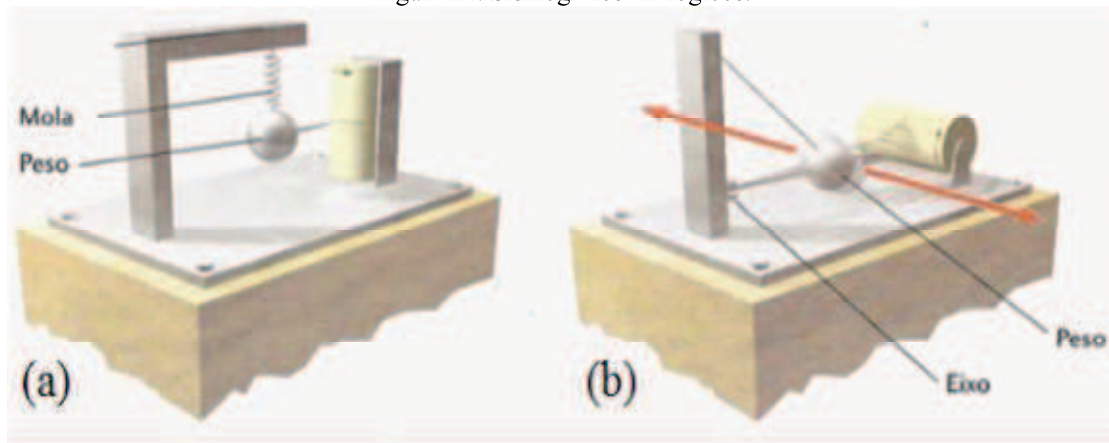
As ondas de Love são aquelas em que a perturbação ocorre no plano horizontal tangente à superfície de propagação da onda.

3.3.2.4 Sismógrafos

O sismógrafo é a ferramenta usada para a detecção das ondas sísmicas que são geradas pelos terremotos. O sismógrafo ideal deveria ser instalado em um ponto estacionário não-fixo em relação à Terra, de forma que quando houvesse movimento no chão, o aparelho poderia medir a variação da distância. Porém, a instalação em um ponto estacionário ainda não é possível, de sorte que a melhor maneira de realizar medidas, com esse tipo de sismógrafo, é

fixar um certo peso à Terra, presa por uma mola, como na Figura 24(a). Quando as ondas sísmicas de um terremoto moverem o chão, por inércia o peso não se moverá junto com o chão, mas sim existirá um movimento relativo entre o chão e o peso, riscando um rolo com papel. Os mais modernos, registram não mais em papel, mas sim em computador. A Figura 24(b), mostra um pêndulo, onde o peso foi preso a um eixo oscilante, permitindo o registro no rolo de papel (PRESS et al., 2006).

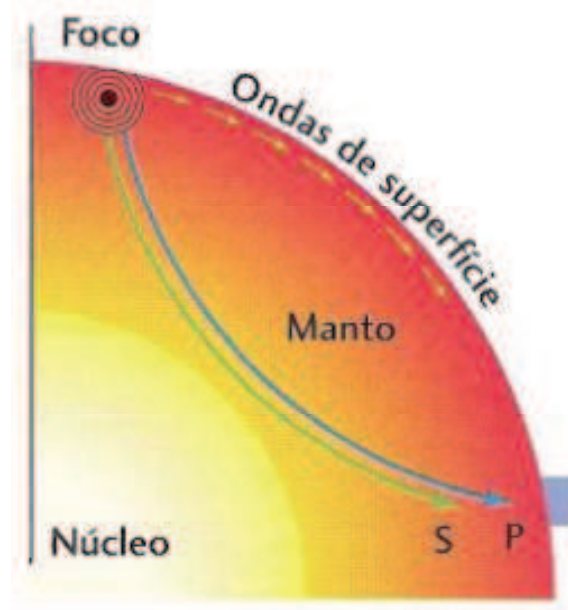
Figura 24: Sismógrafos analógicos.



Fonte: PRESS et al., 2006, p.475.

A Figura 25 traz uma simplificação de como as ondas de um terremoto em certo foco abaixo da superfície chegam até um sismógrafo pelo interior e pela superfície da Terra.

Figura 25: Ondas sísmicas no interior e sob a superfície terrestre.



Fonte: PRESS et al., 2006, p.475.

3.3.2.5 Escalas de magnitude

Indiscutivelmente a escala de magnitude Richter, desenvolvida por Charles Francis Richter e Beno Gutenberg, é a mais conhecida da população de uma maneira geral. Essa escala é adimensional e funciona comparando terremotos entre si. (TEIXEIRA et al., 2000). Porém ela não foi a primeira tentativa de se mensurar um terremoto.

No século XVIII, por exemplo, um físico italiano chamado Domenico Pignataro, usava uma classificação baseada nas magnitudes “muito forte”, “forte”, “moderado” e “fraco”. No final do século XIX surge a Escala Rossi-Forel, composta por 10 estágios de danos. Em 1902, G. Mercalli, cria uma escala mais extensa, com 12 estágios, a Escala Mercalli, que posteriormente foi modificada nos EUA. Outras escalas foram criadas, como a Escala Europeia (MSK) em 1964 e melhorada em 1992 (D'AGRELLA FILHO).

Existem algumas formas diferentes para se calcular uma magnitude de Richter, que irá depender do tipo de onda sísmica medida.

Para ondas de Rayleigh (onda de superfície), ou seja, terremotos de foco próximos, ou seja, até 50 km abaixo da superfície e com distância epicentral entre 20° e 100° :

$$M_s = \log_{10} \left(\frac{A_s}{T} \right) + 1,66 \log_{10}(\Delta^\circ) + 3,3 \quad (15)$$

os parâmetros usados são:

- A_s é a amplitude da onda superficial (μm)
- T é o período da onda
- Δ é a distância epicentral do observador, em graus.

Sismos mais profundos (foco de profundidade igual ou superior a 50 km) geram poucas ondas superficiais, logo é preciso usar outra escala, agora para ondas P.

$$m_b = \log_{10} \left(\frac{A_p}{T} \right) + 0,01 \log_{10}(\Delta^\circ) + 5,9 \quad (16)$$

Existe ainda uma relação entre as escalas M_s e m_b , dada por:

$$m_b = 0,56 M_s + 2,9 \quad (17)$$

Para terremotos pequenos e moderados, não se utiliza a escala M_s em virtude destes sismos dificilmente serem registrados a mais de 20° de distância e também devido aos curtos períodos. Então, utiliza-se uma outra forma para este cálculo, chamada de magnitude regional m_R , válida entre 200 e 1500 km de distância. Esta escala é dada por:

$$m_R = \log_{10}(V) + 2,3 \log_{10}(R) + 2,48 \quad (18)$$

Os parâmetros usados são:

- V é velocidade de partícula da onda P (em mm/s) e é equivalente a $V = 2p (A/T)$
- R é a distância epicentral (em km).

A escala usada atualmente é a baseada no momento sísmico (M_o), considerada melhor por refletir os tamanhos absolutos dos terremotos. Esta escala está baseada nos processos físicos que ocorrem durante a ruptura.

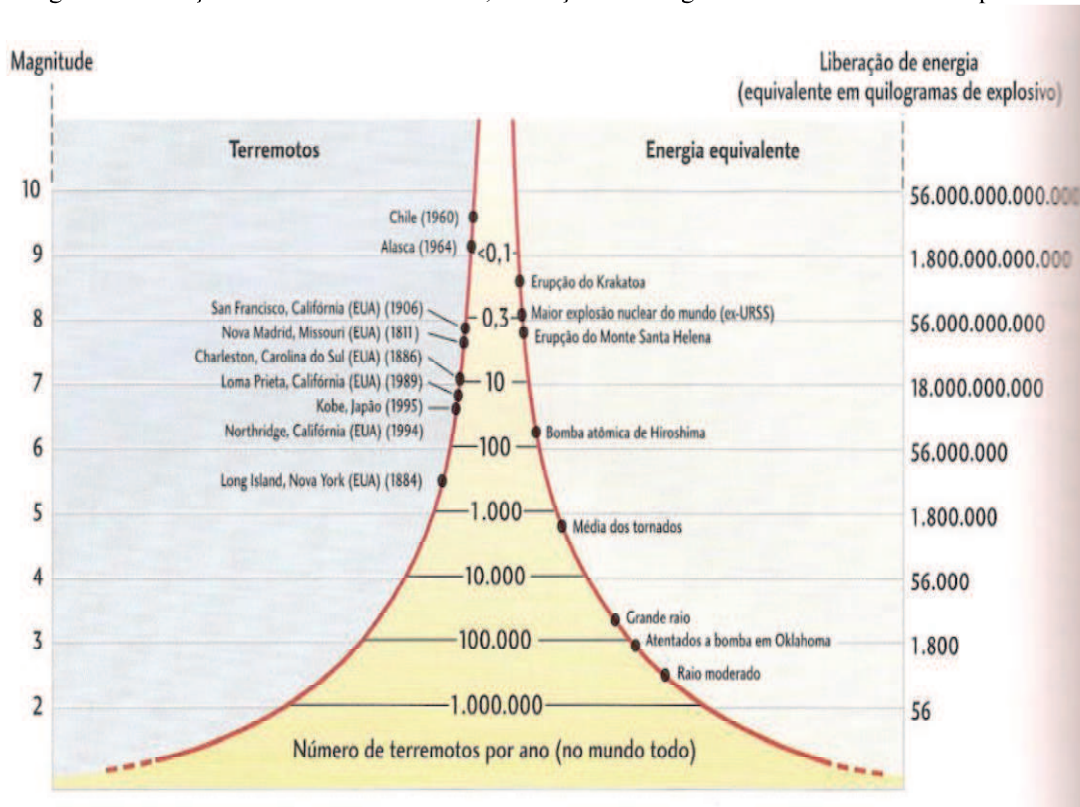
$$M_o = \mu D S \quad (19)$$

Onde μ é o módulo de rigidez da rocha, D o deslocamento médio da falha e S é a área total da superfície de ruptura, de forma que:

$$M_w = \frac{2}{3} \log M_o - 6 \quad (20)$$

A Figura 26 abaixo é o resultado de um levantamento do número de terremotos por ano de determinada magnitude (em momento sísmico) e a energia liberada

Figura 26: Relação entre momento sísmico, liberação de energia e número de terremotos por ano.



Fonte: PRESS et al., 2006, p. 478.

3.4 OSCILAÇÕES E ONDAS

Esta seção tratará do estudo das oscilações e ondas, tratando de uma fundamentação sobre tais assuntos, haja vista serem o conteúdo objeto de ensino envolvido na aplicação do produto educacional.

3.4.1 Oscilações harmônicas

3.4.1.1 Exemplos de movimentos harmônicos

O movimento de um pêndulo, as rotações do motor de um carro, vibrações sonoras em instrumentos de sopro ou corda, são alguns exemplos de movimentos que se repetem por uma quantidade de vezes indeterminada. A este tipo de movimento, dá-se o nome de movimento periódico ou oscilação (YOUNG E FREEDMAN, 2008).

As oscilações estão presentes em praticamente todos os campos de estudo da Física. Entender as oscilações é imprescindível no entendimento do estudo das ondas, além de também ser essencial para o estudo dos sistemas mecânicos vibratórios, som, corrente elétrica alternada, comportamento ondulatório da luz, etc. (NUSSENZVEIG, 2002).

Tomemos então o exemplo de um pêndulo que foi afastado da posição de equilíbrio (Figura 27) e posteriormente solto. Este exemplo constitui uma oscilação livre, onde, após ocorrer o afastamento da posição de equilíbrio, não é mais submetido a forças que causem oscilações, fazendo com que o pêndulo adquira um período de oscilação, baseado em seus parâmetros (massa e comprimento do fio). Se o pêndulo estivesse sob ação de impulsos externos, a oscilação seria chamada de oscilação forçada (NUSSENZVEIG, 2002).

Figura 27: Pendulo simples



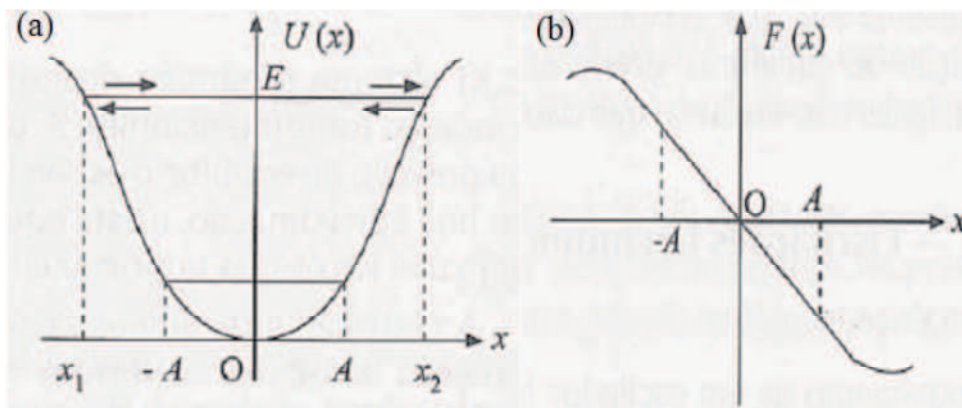
Fonte: <http://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/MHS/pendulo.php> . Adaptado

Segundo Nussenzveig (2002), considerando a massa m do pêndulo como uma partícula que se move apenas em uma dimensão, sob a ação de uma força conservativa $F(x)$, tem seu movimento associado a uma energia potencial $U(x)$. Obtém-se da conservação da energia mecânica para um movimento em uma dimensão, a seguinte expressão:

$$F(x) = - \frac{dU}{dx} \quad (21)$$

A Figura 28 apresenta o comportamento gráfico da energia potencial $U(x)$ e da força $F(x)$.

Figura 28: (a) Energia potencial em função da posição numa oscilação; (b) Força em função da posição numa oscilação.



Fonte: NUSSENZVEIG, 2002, p. 39.

Para pequenos desvios (ou afastamentos) angulares a partir da posição de equilíbrio, a força $F(x)$ no gráfico na Figura 28(b) é linear entre as posições $-A$ e A . Obedecendo aproximadamente a lei de Hooke, dada pela expressão

$$F(x) = kx \quad (22)$$

Da mesma maneira, a energia $U(x)$, entre as posições $-A$ e A , é dada pela equação

$$U(x) = \frac{1}{2}kx^2 \quad (23).$$

A prova matemática é feita abaixo.

Da combinação das equações (21) e (22), obtém-se a $\frac{dU}{dx} = kx$ (24). Disto segue que:

$$dU = kx dx$$

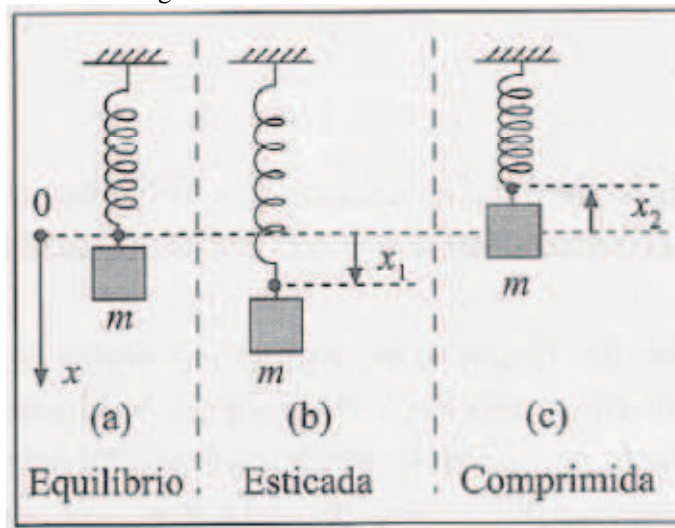
Integrando ambos os membros da expressão, temos:

$$U(x) = \frac{kx^2}{2} \quad (25)$$

A equação (25) constitui a expressão da energia potencial elástica para um movimento oscilatório.

Outro exemplo de oscilador harmônico é o sistema massa-mola vertical, descrito na Figura 29. Em (a) o sistema está em equilíbrio, em (b) o sistema foi alongado para x_1 e em (c) o sistema foi comprimido para x_2 (NUSSENZVEIG, 2002).

Figura 29: Sistema massa-mola vertical.



Fonte: NUSSENZVEIG, 2002, p. 40.

Usando a Segunda Lei de Newton aplicada a esse movimento, considerando a equação (22), temos:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{kx}{m} \quad (26)$$

Mas o termo $\frac{d^2x}{dt^2}$ é a aceleração linear e equivale $\omega^2 x$, que pode ser substituindo em (26), obtendo-se

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (27)$$

3.4.1.2 Soluções para movimento harmônico simples (MHS) e superposição

Para o movimento retilíneo uniformemente acelerado, com aceleração instantânea constante, temos que:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = \text{constante} = a \quad (28)$$

Integrando ambos os membros da equação (28) acima, temos então:

$$v = v_0 + at \quad (29)$$

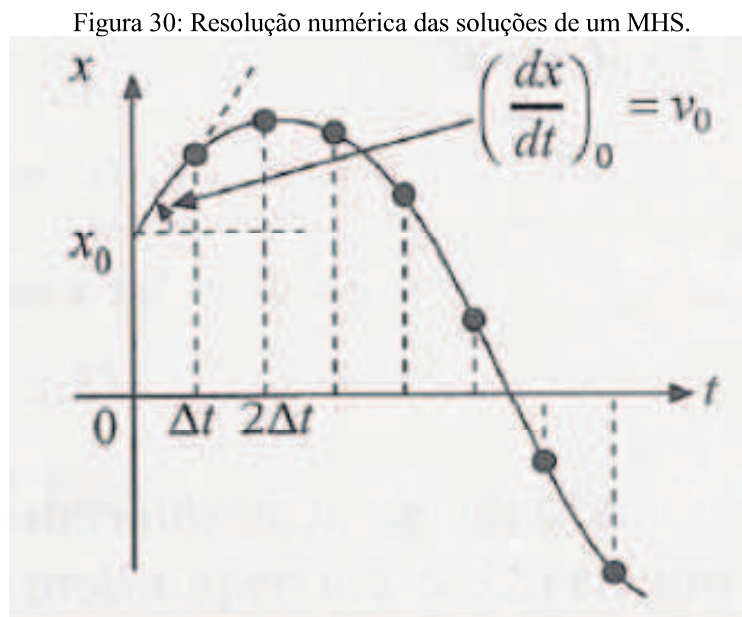
A equação (29) é bastante conhecida, sendo uma função horária da velocidade para os movimentos do tipo uniformemente acelerados. Integrando a equação (29) em relação a t , teremos:

$$x(t) = x_0 + v_0t + a\frac{t^2}{2} \quad (30)$$

Este resultado também é muito conhecido, sendo a equação (30) a função horária da posição do movimento uniformemente acelerado. Porém toda equação diferencial ordinária de ordem 2, possui duas constantes arbitrárias, que modificadas por conveniência se tornaram $x(0) = x_0$ e $v(0) = v_0$. Para essas constantes, ainda seria possível representa-las com outras letras, por exemplo, A e B, respectivamente (NUSSENZVEIG, 2002). Então obtém-se:

$$x(t) = A + Bt + a\frac{t^2}{2} \quad (31)$$

Vejamos a o gráfico contido na figura 30, abaixo.



Fonte: NUSSENZVEIG, 2002, p. 42.

Segundo Nussenzveig (2002), o gráfico da figura 30 aproximado lembra uma curva senoidal, sugerindo soluções dos tipos $\text{sen}(ct)$ e $\text{cos}(ct)$, onde c é uma constante a ser adequada (NUSSENZVEIG, 2002), assim temos:

Para $c = \omega$, temos as soluções:

$$x_1(t) = \text{cos}(\omega t) \quad \text{e} \quad x_2(t) = \text{sen}(\omega t)$$

Tomemos então a equação (33), que é diferencial linear homogênea abaixo.

$$A \frac{d^2x}{dt^2} + B \frac{dx}{dt} + Cx = 0 \quad (32)$$

Das propriedades da equação diferencial linear homogênea, sabe-se que a soma das soluções também é uma solução, ou seja, se $x_1(t)$ e $x_2(t)$ são soluções, logo $x_1(t) + x_2(t)$ também é solução. Se uma constante multiplicar uma das soluções, o resultado disto também é uma solução, ou seja, se $x_1(t)$ é solução, então $a x_1(t)$ também é.

Assim, uma solução mais geral é a soma entre $x_1(t) = \text{cos}(\omega t)$ e $x_2(t) = \text{sen}(\omega t)$. Logo:

$$x(t) = a \text{cos}(\omega t) + b \text{sen}(\omega t) \quad (33)$$

Ainda é possível escrever a equação (34) de uma forma diferente. Considere-se a seguinte igualdade:

$$\text{cos}(\omega t + \varphi) = \text{cos}(\omega t) \text{cos} \varphi - \text{sen}(\omega t) \text{sen} \varphi \quad (34)$$

Agora, ajustando a equação (34) com a relação (35), obtém-se:

$$x(t) = A \text{cos}(\omega t + \varphi) \quad (35)$$

A expressão (36) é a função da posição do movimento harmônico simples.

Ao aplicar a derivada na equação (35) em relação ao tempo, obtém-se a expressão da velocidade da partícula no MHS:

$$v(t) = \frac{dx}{dt} = -A \text{sen}(\omega t + \varphi) \quad (36)$$

A derivada em relação ao tempo da equação (36), faz-se obter a expressão da aceleração no MHS:

$$a(t) = \frac{dv}{dt} = -A \omega^2 \cos(\omega t + \varphi) \quad (37)$$

3.4.1.3 Energia no movimento harmônico simples (MHS)

Também das equações (36) e $K(t) = \frac{1}{2}mv^2$ (equação da energia cinética), temos:

$$\begin{aligned} K(t) &= \frac{1}{2}mv^2 \\ K(t) &= \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \varphi) \end{aligned} \quad (38)$$

Das equações (35) e $U(x) = \frac{1}{2}kx^2$ (equação da energia potencial), temos:

$$\begin{aligned} U(x) &= \frac{1}{2}kx^2 \\ U(x) &= \frac{1}{2}k A^2 \cos^2(\omega t + \varphi) \end{aligned}$$

Para $k = m \omega^2$, a equação acima fica:

$$\begin{aligned} U(x) &= \frac{1}{2}kx^2 \\ U(x) &= \frac{1}{2}m \omega^2 A^2 \cos^2(\omega t + \varphi) \end{aligned} \quad (39)$$

Somando as equações (38) e (39), temos:

$$\begin{aligned} E &= K(t) + U(x) \\ E &= \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \varphi) + \frac{1}{2}m \omega^2 A^2 \cos^2(\omega t + \varphi) \\ E &= \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \end{aligned} \quad (40)$$

A equação (40) é a energia total do sistema para um movimento oscilatório.

3.5 ONDAS

3.5.1 O conceito de onda e sua classificação

Ondulações em um lago após algo cair na água, sons diversos do cotidiano, sinais de rádio e TV, internet e celular, a luz e demais radiações e etc., são exemplos de fenômenos ondulatórios.

Uma onda passa a existir quando um sistema é deslocado de sua posição de equilíbrio, perturbando-o de forma que a perturbação se desloca ou se propaga (ou se transmite) para outra região do sistema (YOUNG E FREEDMAN, 2008). A velocidade dessa transmissão da perturbação é bem definida e ocorre sem o transporte de matéria. A onda transporta energia e momento (NUSSEZVEIG, 2002).

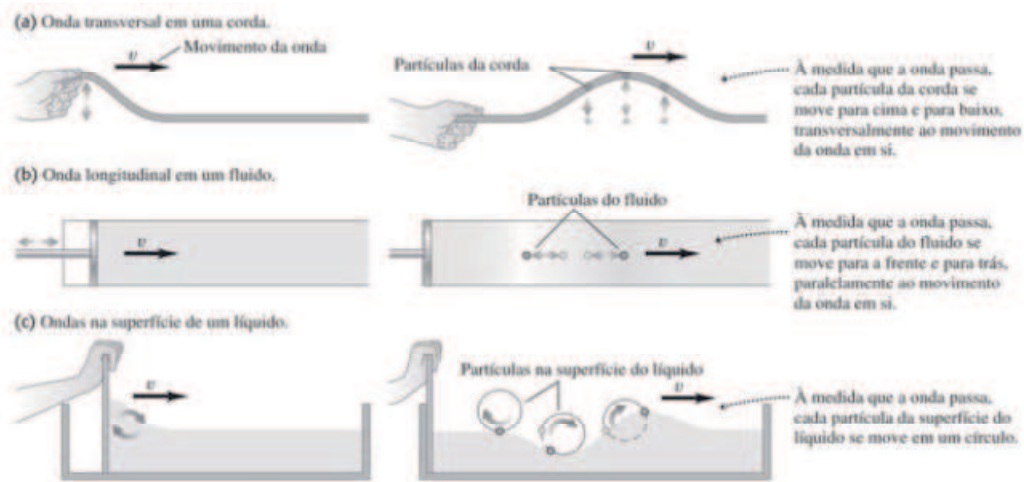
As ondas podem ser de quatro tipos de natureza: ondas mecânicas, ondas eletromagnéticas, ondas de matéria e ondas gravitacionais.

As ondas mecânicas constituem o tipo de onda regida pelas leis de Newton, existindo apenas em um meio material (não existem no vácuo), como por exemplo, água, ar e rochas. As ondas eletromagnéticas constituem o tipo de onda que pode se propagar no vácuo com velocidade igual à da luz, $c = 299\,792\,458\text{ m/s}$. As ondas de matéria estão associadas a elétrons, prótons e demais elementos básicos da matéria (HALLIDAY et al.). O entendimento das ondas de matéria está associado aos estudos de De Broglie e sua teoria ondulatória da matéria. As ondas gravitacionais são ondulações no espaço-tempo, que transportam energia em forma de radiação gravitacional.

Quanto a forma de oscilação relativa à propagação, as ondas podem ser: longitudinais, transversais e mistas.

Nas ondas transversais, o deslocamento de cada elemento de um meio (ver Figura 31a), é sempre perpendicular à direção de propagação da onda. Nas ondas longitudinais, cada partícula oscila para frente e para trás (Figura 31b), ao longo da mesma direção de propagação da onda. As ondas mistas (Figura 31c) estão presentes na superfície dos líquidos, por exemplo, trata-se de uma superposição das ondas transversal e longitudinal, ou seja, são ao mesmo tempo longitudinais e transversais (YOUNG E FREEDMAN, 2008)

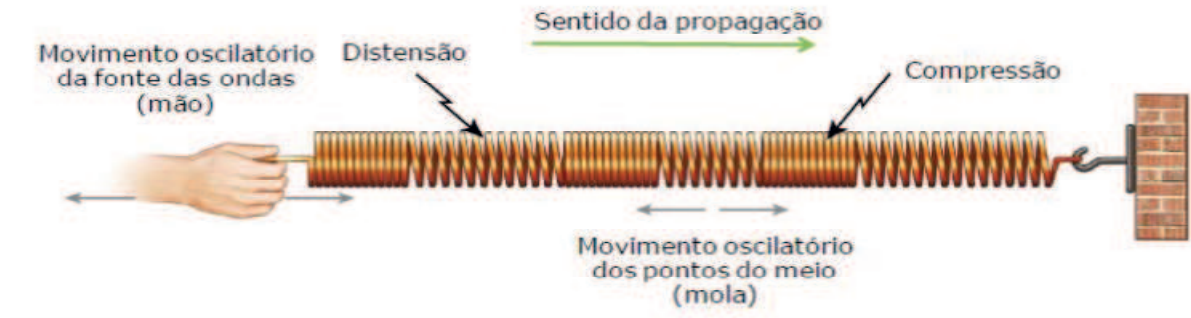
Figura 31: Comportamento das partículas de um meio por onde se propagam ondas transversais (a), longitudinais (b) e ondas mistas (c).



Fonte: YOUNG E FREEDMAN, 2008, p. 104.

Outro exemplo de onda longitudinal, pode ser visualizado na Figura 32 abaixo.

Figura 322: Onda longitudinal numa mola.



Fonte: FERRARO et al., 2012, p. 429.

3.5.2 Ondas unidimensionais

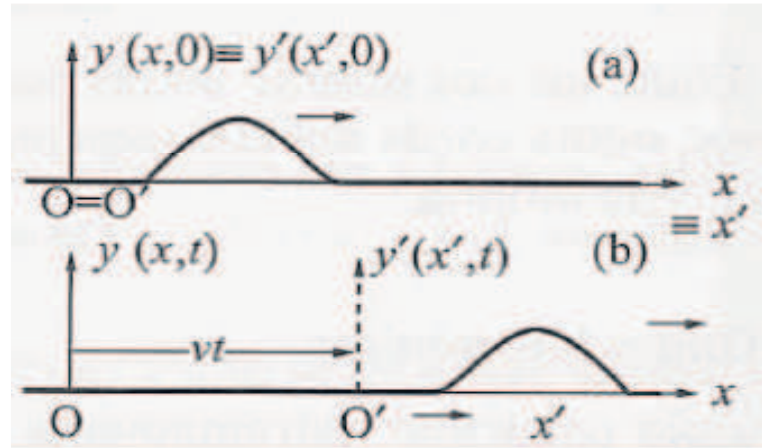
3.5.2.1 Ondas progressivas

O estudo mais simples das ondas é o caso unidimensional, onde a propagação existe apenas ao longo de uma dimensão, no eixo dos x , por exemplo, no decorrer de um tempo t .

A forma da corda em um instante t é exatamente o perfil da onda, descrita pela função $y = y(x, t)$. Por exemplo, na Figura 33(a) abaixo, está representada uma onda numa posição inicial x para um instante inicial $t = 0$. Na Figura 33(b), é possível observar a onda em um

outro instante t , posterior ao inicial. A perturbação é dita progressiva, deslocando-se para a direita sem mudar sua forma e com velocidade V (NUSSEZVEIG, 2002).

Figura 33: Onda progressiva



Fonte: NUSSENZVEIG, 2002, p.99.

Em um novo referencial inercial $O'x'y'$, coincidente com Oxy para $t = 0$, o perfil da onda não muda com o passar do tempo, logo:

$$f'(x) = y'(x', t) = y'(x', 0) \quad (41)$$

Da relação dos referenciais inerciais, $x' = x - vt$ e $y' = y$, temos a função no referencial original:

$$y(x, t) = f(x - vt) \quad (42)$$

Isto significa que $y(x, t)$, que é uma função de duas variáveis, depende dessas duas variáveis através de $x' = x - vt$, por exemplo (NUSSEZVEIG, 2002), implicando em:

$$y(x, t) = y(x + \Delta x, t + \Delta t)$$

Se a onda estivesse se movendo para a esquerda, o valor de $-v$ iria se tornar $+v$, ou seja:

$$y(x, t) = g(x + vt) \quad (43)$$

Em uma corda existirão ondas progressivas, para a direita, enquanto as ondas não atingirem uma das extremidades (fixa ou livre); quando ao atingir e refletir, gerando uma onda progressiva no sentido oposto, teremos então simultaneidade de ondas se propagando nos dois sentidos da corda, de forma que (NUSSEZVEIG, 2002):

$$y(x, t) = f(x - vt) + g(x + vt) \quad (44)$$

3.5.2.2 Ondas harmônicas

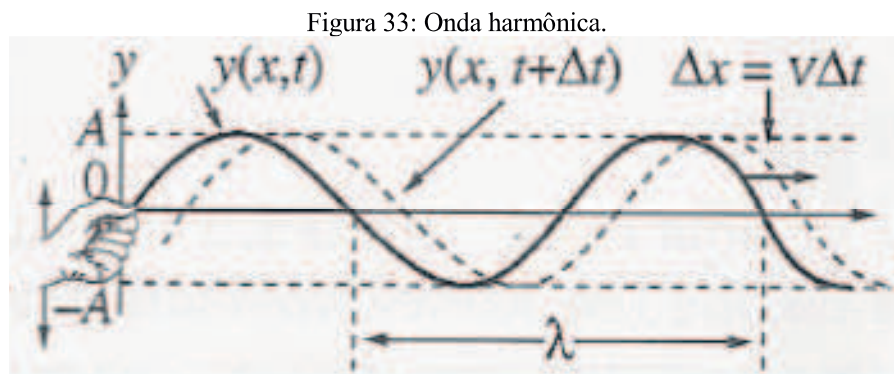
Uma onda é harmônica quando a perturbação em um ponto x é correspondente a uma oscilação harmônica simples, de forma que o perfil da onda é:

$$f(x') = A \cos(kx' + \delta)$$

Da equação de onda (42) e da equivalência $kV = \omega$, temos:

$$\begin{aligned} y(x, t) &= A \cos(kx - kvt + \delta) \\ y(x, t) &= A \cos(kx - \omega t + \delta) \end{aligned} \quad (45)$$

A Figura 34 expressa uma onda harmônica num dado instante t e posteriormente num dado instante $t + \Delta t$, sofrendo um deslocamento $\Delta x = v\Delta t$.



Fonte: NUSSENZVEIG, 2002, p. 101.

Segundo Nussenzveig (2002), esta onda apresenta um período espacial (distância entre duas cristas), chamada de comprimento de onda, dada por:

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} \quad (46)$$

Sendo τ é o período temporal e sabendo que $\omega = kv = 2\pi/\tau$, temos que

$$\lambda = \frac{2\pi}{k}$$

$$\lambda = \frac{k\nu\tau}{k}$$

$$\lambda = \nu\tau \quad (47)$$

O argumento $\cos(kx - \omega t + \delta)$ junto ao cosseno, é correspondente a fase φ da onda, com δ é a constante de fase. O parâmetro k ($k = 2\pi/\lambda$), é chamado de número de onda (NUSSEZVEIG, 2002).

Ao longo de um intervalo de tempo, onde a fase φ é constante, ou seja, $\varphi(x, t) = \varphi_0$. É possível tomar a derivada dessa expressão em relação a t , temos:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{d}{dt}(kx) - \frac{d}{dt}(\omega t) + \frac{d}{dt}(\delta)$$

$$k \frac{dx}{dt} = \omega$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\omega}{k} = \nu\lambda \quad (48)$$

Note que $\nu\lambda$ tem unidade m/s, unidade de velocidade. Chamada de velocidade de fase:

$$v = \nu\lambda \quad (49)$$

De acordo com Nussenzeig, ainda é possível escrever a equação (45) da onda harmônica $y(x, t) = A \cos(kx - \omega t + \delta)$ na sua forma complexa:

$$y(x, t) = \text{Re}[A e^{i(kx - \omega t + \delta)}] \quad (50)$$

onde R representa a parte real da equação.

3.5.2.3 A equação de ondas unidimensionais

Tomamos inicialmente a equação geral da onda progressiva para a direita, expressa por $y(x, t) = f(x')$, com $x' = x - Vt$. Nussenzeig (2012) indica que se pode associar a equação de movimento com a propagação da onda, calculando a aceleração num ponto x qualquer.

$$\text{Velocidade} = \frac{\partial}{\partial t} y(x, t) \quad \therefore \quad \text{Aceleração} = \frac{\partial^2}{\partial t^2} y(x, t)$$

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \frac{df}{dx'} \frac{\partial x'}{\partial t} = \frac{df}{dx'} \frac{\partial(x - vt)}{\partial t} = \frac{df}{dx'} (-v)$$

Derivando uma segunda vez, temos:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{df}{dx'} (-v) \right]$$

$$\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{d^2 f}{dx'^2}$$

$$\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - \frac{d^2 f}{dx'^2} \frac{\partial x'}{\partial x} = 0$$

$$\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0 \quad (51)$$

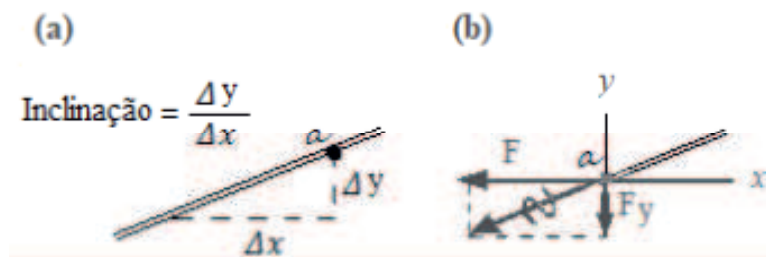
A última equação acima é chamada de equação da onda unidimensional (NUSSENZVEIG, 2012b).

3.5.2.4 Potência e Intensidade

Os movimentos ondulatórios possuem energia associada, por exemplo, ondas como a luz e as ondas de um abalo sísmico. Um movimento oscilatório é produzido por uma força atuando em determinado ponto de um meio, caso a força mova o tal ponto, realizou-se trabalho sobre o sistema. Em sequência, cada parte do meio exerce uma força sobre a porção adjacente. É assim que a onda carrega energia entre duas regiões de um meio (YOUNG E FREEDMAN, 2008).

Considerando uma corda (Figura 35a) em que à direita e à esquerda do ponto a existem forças atuando. A força do lado esquerdo foi expressa por F e F_y (figura 35b).

Figura 345: Corda na qual se propaga uma onda para a direita.



Fonte: Young e Freedman, 2008, p. 116.

A inclinação $\Delta y/\Delta x$ também pode ser entendida como $\partial y/\partial x$ (YOUNG E FREEDMAN, 2008), assim:

$$F_y(x, t) = -F \frac{\partial}{\partial x} y(x, t)$$

Como a força F é a tensão T , temos também a expressão:

$$F_y(x, t) = -T \frac{\partial}{\partial x} y(x, t) \quad (52)$$

Para o caso de uma onda senoidal tipo $y(x, t) = A \cos(kx - \omega t + \delta)$ e sua derivada em relação a t , $\frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} = \frac{\partial}{\partial x} [A \cos(kx - \omega t + \delta)]$ combinada com a conhecida relação da potência $P = FV$, temos:

$$P(x, t) = F_y V_y(x, t)$$

$$P(x, t) = F_y \frac{\partial}{\partial t} y(x, t)$$

$$P(x, t) = -T \frac{\partial y}{\partial x} \frac{\partial y}{\partial t}$$

$$P(x, t) = -T [-kA \sin(kx - \omega t + \delta)] A\omega \sin(kx - \omega t + \delta)$$

$$P(x, t) = \sin^2(kx - \omega t + \delta) T k A^2 \omega$$

Já conhecemos as relações $T = \mu v$ e $kv = \omega$, então temos:

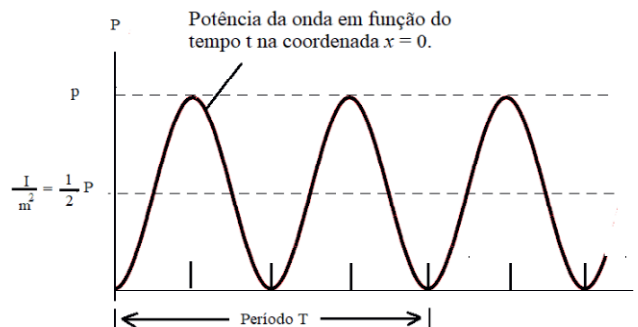
$$P(x, t) = T k A^2 \omega \sin^2(kx - \omega t + \delta)$$

$$P(x, t) = \mu V \omega^2 A^2 \sin^2(kx - \omega t + \delta) \quad (53)$$

Segundo Nussenzveig (2002), geralmente o valor da potência instantânea não traz muito interesse nos estudos e sim a média sobre um período, chamada de intensidade I da onda.

Para valores médios, o argumento $\sin^2(kx - \omega t + \delta) = \frac{1}{2}$, então temos (YOUNG E FREEDMAN, 2008):

Figura 356: Potências instantânea (P) e Intensidade (I).



Fonte: Young e Freedman, 2008, p. 117. Adaptado.

assim,

$$I(x, t) = \frac{1}{2} \mu v \omega^2 A^2 \quad (54)$$

A unidade de medida da intensidade de onda I é $\frac{W}{m^2}$, ou seja, potência média ($\frac{1}{2}P$) por unidade de área. Uma consequência disto é poder escrever I como sendo também a expressão

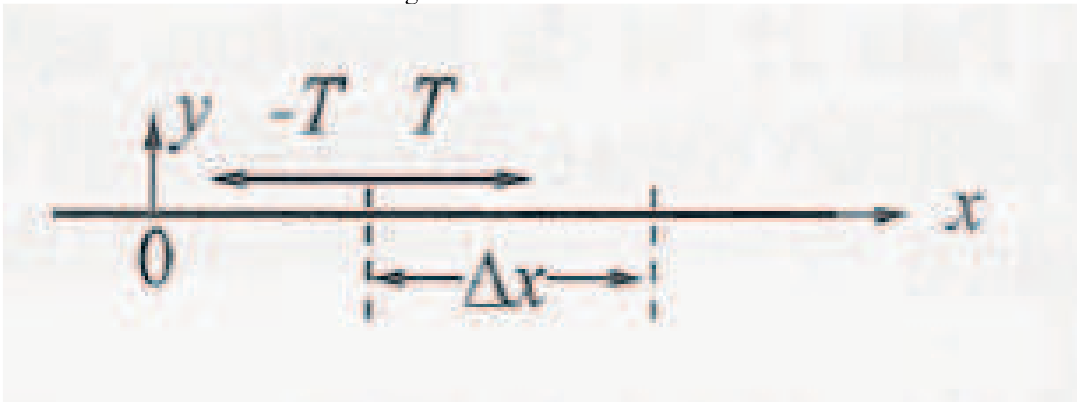
$$I = \frac{P}{4\pi R^2} \quad (55)$$

onde R é a distância radial a partir de uma fonte de ondas que se propagam até um observador.

3.5.3 Cordas vibrantes e a equação do movimento

Supondo uma corda tensionada pelas tensões $-T$ e T (Figura 37), de forma que a corda está sob uma tensão de equilíbrio e fixa a origem O .

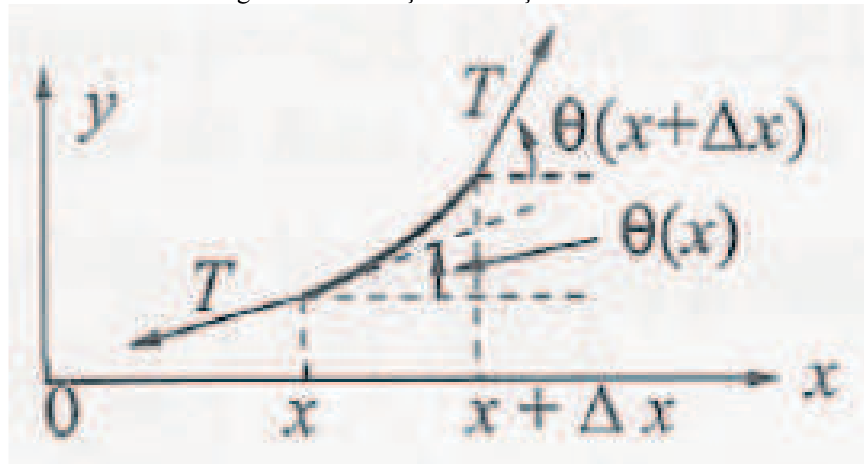
Figura 367: Corda tensionada.



Fonte: NUSSENZVEIG, 2012, p. 103.

Se a densidade linear da corda for μ e Δx um elemento infinitesimal de comprimento, a massa da corda será $\mu = \frac{\Delta m}{\Delta x}$. Limitando-se a pequenos deslocamentos a partir da posição de equilíbrio, variando de maneira desprezível o comprimento da corda e admitindo que a tensão permaneça T , forças (restauradoras) atuando sobre o elemento Δx , devido a variação da direção da tensão (figura 38), ganham uma componente em y (NUSSENZVEIG, 2012).

Figura 378: Variação da direção da tensão.



Fonte: NUSSENZVEIG, 2002, p. 104.

Os pequenos deslocamentos possibilitam também a aproximação $T \text{sen} \theta \approx T \text{tg} \theta$, que nos mostra o coeficiente angular da força de tensão sobre a corda. O coeficiente angular em dado ponto é a derivada naquele ponto, onde o ponto é $x + \Delta x$, logo:

$$T \text{sen} \theta \approx T \text{tg} \theta = T \frac{\partial y}{\partial x} \quad (56)$$

Considerando a força no ponto x igual a força no ponto $x + \Delta x$, temos a seguinte relação:

$$\begin{aligned} T \frac{\partial y}{\partial x} (x + \Delta x) &= T \frac{\partial y}{\partial x} (x) \\ T \frac{\partial y}{\partial x} (x + \Delta x) - T \frac{\partial y}{\partial x} (x) &= T \left[\frac{\partial y}{\partial x} (x + \Delta x) - \frac{\partial y}{\partial x} (x) \right] \end{aligned}$$

Agora, usando um artifício matemático, multiplica-se e divide-se o segundo membro por Δx .

$$\begin{aligned} T \frac{\partial y}{\partial x} (x + \Delta x) - T \frac{\partial y}{\partial x} (x) &= \frac{\Delta x}{\Delta x} T \left[\frac{\partial y}{\partial x} (x + \Delta x) - \frac{\partial y}{\partial x} (x) \right] \\ T \frac{\partial y}{\partial x} (x + \Delta x) - T \frac{\partial y}{\partial x} (x) &= \Delta x T \left[\frac{\frac{\partial y}{\partial x} (x + \Delta x) - \frac{\partial y}{\partial x} (x)}{\Delta x} \right] \end{aligned}$$

Pelo teorema fundamental do cálculo, o termo entre colchetes é $\frac{\partial^2}{\partial x^2} y(x, t)$, assim (NUSSENZVEIG, 2012):

$$T \frac{\partial y}{\partial x}(x + \Delta x) - T \frac{\partial y}{\partial x}(x) = \Delta x T \frac{\partial^2}{\partial x^2} y(x, t)$$

$$\text{Força vertical sobre } \Delta x = \Delta x T \frac{\partial^2}{\partial x^2} y(x, t) \quad (57)$$

Pela segunda lei de Newton, temos (NUSSENZVEIG, 2012):

$$\begin{aligned} m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} &= F \\ \mu \Delta x \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} &= \Delta x T \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \\ \mu \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} &= T \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \end{aligned} \quad (58)$$

Esta equação para cordas vibrantes foi obtida por Euler e D'Allambert, por volta do ano de 1750 (NUSSENZVEIG, 2012b).

Então, da equação da onda unidimensional (equação 51), podemos, por analogia encontrar o valor de v :

$$\begin{aligned} \mu \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} &= T \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \\ \frac{\mu}{T} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} &= 0 \end{aligned}$$

Logo,

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (59)$$

onde V é a velocidade da onda em um meio de densidade μ sob tensão T .

Assim, percorridas as relações do movimento harmônico e da ondulatória que são pertinentes para a abordagem no ensino médio, especialmente para esta proposta, os capítulos seguintes englobam a metodologia, resultados, conclusão e o produto educacional deste trabalho.

4 METODOLOGIA

Este capítulo descreve o caminho metodológico proposto para esta pesquisa. O objetivo principal deste trabalho é propor uma sequência didática para o ensino de ondulatória através

do estudo dos conceitos envolvidos nos episódios sísmicos, tento como referencial teórico a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, principalmente no que diz respeito às diversas situações encontradas na proposta que visam o desenvolvimento dos conceitos físicos que repousam sobre o campo conceitual em que se encontra a ondulatória. A pedagogia de projetos foi usada como ferramenta na aplicação da sequência didática.

Optou-se nesta proposta por uma análise qualitativa, de acordo como aponta Ludke e André (1986), que informam que a pesquisa qualitativa possui:

1. O ambiente natural como sua fonte direta de dados e o pesquisador como seu principal instrumento: neste caso o pesquisador deve procurar maior número de ocorrência das situações a se pesquisar.

2. Os dados coletados são predominantemente descritivos: ou seja, dados ricos em descrição de pessoas, situações, acontecimentos, depoimentos e etc., de forma que o pesquisador deve estar atento para o maior número de elementos e variáveis presentes na situação estudada. Os “como” e “por que” de tudo, em resumo.

3. A preocupação com o processo é muito maior do que com o produto: ou seja, o interesse do pesquisador é estudar e verificar as interações e os procedimentos. Não que estejamos aquém dos projetos desenvolvidos pelos alunos, mas todo o processo de construção dos projetos é de fato mais importante do que o resultado final que eles chegarão.

4. O “significado” que as pessoas dão às coisas e à sua vida são focos de atenção especial pelo pesquisador: Aqui o objetivo é apanhar a maneira como os que participam da pesquisa encaram aquilo que lhes foi proposto, considerando os diferentes pontos de vista dos que participam, de forma que alguém que não participou da pesquisa pode acessar as informações de maneira clara.

5. A análise dos dados tende a seguir um processo indutivo: o pesquisador não procura evidências que comprovam a hipótese (ou objetivo) definida no início do estudo ou proposta. Os dados descritivos obtidos pelo pesquisador, em contato direto com a situação estudada, dão ênfase ao processo, logo se preocupa em retratar a perspectiva de quem participa da pesquisa.

4.1 PÚBLICO, LOCAL E MOTIVAÇÃO

A proposta desta pesquisa tem como objetivo a implementação de uma sequência didática para estudantes de uma das modalidades de ensino médio noturno da rede pública, e

aqueles que eventualmente tenham acesso a esta proposta, visando contribuir no processo de aprendizagem relativo aos conteúdos elementares de ondulatória a partir da temática terremotos.

A sequência foi idealizada para ser desenvolvida durante o segundo bimestre letivo para a turma do 2º Ano do Ensino Médio Diferenciado da Escola Estadual João Tomás, localizada na cidade de Lagoa de Pedras, interior do estado do Rio Grande do Norte. A escolha da turma se deu pelo fato dos mesmos demonstrarem interesse no tema, durante o ano letivo de 2016, quando foi buscado nos estudantes os seus interesses educacionais. O total de encontros dessa proposta se destina ao cumprimento de 16 horas-aula de 45 minutos, sendo cada encontro um bloco de 2 duas horas aula, totalizando 90 minutos.

A temática terremotos não é algo desconhecido no Estado do Rio Grande do Norte, tanto no meio acadêmico quando no meio popular. O Laboratório Sismológico (LabSis) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), funciona desde a década de 70 e teve papel importante durante os eventos sísmicos de 1986 na cidade de João Câmara. Desde então, atividade sísmica na região é constantemente registrada. Entre os dias 11 e 12 dezembro de 2016, por exemplo, os sismógrafos do LabSis registraram 36 abalos sísmicos na mesma falha da região de João Câmara.

4.2 A ELABORAÇÃO DA PROPOSTA

4.2.1 A definição do tema

A escolha do tema, como informado anteriormente, foi proposto pelos próprios alunos da Escola João Tomás Neto. Como os alunos tinham muito interesse em estudar os sismos, porém a temática não é um conteúdo contemplado em nenhuma das séries do ensino médio, pensou-se no conteúdo que poderia ter a maior relação com os sismos. Analisando-se os conteúdos de todo o ensino médio, e principalmente da turma na qual partiu o interesse, o estudo de ondulatória foi o mais adequado. Assim, não será preciso para o conteúdo letivo para ensinar um tema que não está proposto e nem possui livro com linguagem adequada. Logo, com o tema proposto pelos alunos, pensou-se em ensinar ondulatória com o pano de fundo nos sismos, de forma que as situações propostas para o ensino da ondulatória tem como base os fenômenos sísmicos. Isto contempla simultaneamente o estudo de ondulatória e o interesse dos alunos na temática dos sismos.

4.2.2 O público e local

A intervenção será realizada da Escola João Tomás Neto com alunos do 2º Ano do Ensino Médio Noturno Diferenciado, uma modalidade de ensino que visa o cumprimento das 800 horas estabelecidas na LDB, sendo que 600 horas presenciais e mais 200 horas chamadas de vivenciais, cumpridas numa modalidade muito semelhante a educação à distância ou ainda semipresencial; cada atividade para essa modalidade, visando cumprir as horas propostas para cada série, deve possuir uma carga horária associada. Em suas orientações curriculares, esta modalidade recomenda para essas atividades vivenciais serem desenvolvidas por meio de projetos que estimulem, dentre outros aspectos, o trabalho em grupo, iniciação à pesquisa científica, senso crítico e a autonomia para estudantes aprendam a aprender (NATAL, 2009). Para isto então, optamos pela Pedagogia de Projetos, de forma que na intervenção algumas destas atividades vivenciais serão cumpridas com pequenos projetos, descritos na intervenção exposta mais abaixo.

4.2.3 A temática

A temática escolhida para a realização desta proposta foi a Ondulatória. Para que a proposta pudesse alcançar o interesse dos alunos, foi feita uma pequena abordagem quando a turma estava ao final do 1º ano do Ensino Médio, que demonstraram interesse no estudo dos terremotos que fazem parte da história local e nacional. Como o estudo de sismologia não é um conteúdo do Ensino Médio, resolveu-se propor o estudo da Ondulatória usando os abalos sísmicos como pano de fundo. Obviamente os abalos sísmicos são fenômenos complexos, em que áreas além da física, como a geofísica terrestre, geologia, geografia, engenharia de materiais e etc. estão envolvidas, porém como o modelo ondulatório é usado para maior parte das explicações sobre o fenômeno, a relação da ondulatória com os abalos sísmicos foi visualizada como possível e viável para ser utilizada nesta proposta.

4.2.4 Competências em Ciências da Natureza e em Física esperadas

As competências em física esperadas para esta proposta foram extraídas dos documentos do PCN+ (Brasil, 2006) e listadas abaixo. Espera-se ao final da proposta que tais competências tenham sido desenvolvidas e/ou adquiridas na temática ondulatória.

Como os PCN+ não fazem qualquer enumeração das competências na área de Ciências da Natureza e em Física, irá se tratar as “competências na área” pela nomenclatura CA1, por exemplo, e as “competências em Física” pela nomenclatura CA1CF1, por exemplo. Os números são conforme aparição no quadro organizado entre as páginas 63 e 68 deste documento. As competências são as seguintes:

CA2: ler, articular e interpretar símbolos e códigos em diferentes linguagens e representações: sentenças, equações, esquemas, diagramas, tabelas, gráficos e representações geométricas:

CA2CF1: Ler e interpretar corretamente tabelas, gráficos, esquemas e diagramas apresentados em textos:

CA3: consultar, analisar e interpretar textos e comunicações de ciência e tecnologia veiculados por diferentes meios.

CA3CF1: Ler e interpretar informações apresentadas em diferentes linguagens e representações (técnicas);

CA4: elaborar comunicações orais ou escritas para relatar, analisar e sistematizar eventos, fenômenos, experimentos, questões, entrevistas, visitas, correspondências:

CA4CF1: Descrever relatos de fenômenos ou acontecimentos que envolvam conhecimentos físicos:

CA6: identificar em dada situação-problema as informações ou variáveis relevantes e possíveis estratégias para resolvê-la.

CA6CF1: Frente a uma situação ou problema concreto, reconhecer a natureza dos fenômenos envolvidos, situando-os no conjunto de fenômenos da Física, e identificar as grandezas relevantes em cada caso:

CA7: identificar fenômenos naturais ou grandezas em dado domínio do conhecimento científico, estabelecer relações; identificar regularidades, invariantes e transformações:

CA7CF1: Reconhecer a relação entre diferentes grandezas, ou relações de causa e efeito, para ser capaz de estabelecer previsões;

CA7CF2: Identificar regularidades, associando fenômenos que ocorrem em situações semelhantes, para utilizar as leis que expressam essas regularidades na análise e nas previsões de situações do dia-a-dia;

CA7CF3: Reconhecer a existência de invariantes que impõem condições sobre o que pode e o que não pode acontecer em processos naturais, para fazer uso desses invariantes na análise de situações cotidianas;

CA7CF4: Identificar transformações de energia e a conservação que dá sentido a essas transformações, quantificando-as quando necessário. Identificar também formas de dissipação de energia e as limitações quanto aos tipos de transformações possíveis impostas pela existência, na natureza, de processos irreversíveis;

CA7CF5: Reconhecer a conservação de determinadas grandezas, utilizando essa noção de conservação na análise de situações dadas;

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir deste ponto, será descrita a aplicação da proposta. Como descrito na metodologia (capítulo 4), trata-se da proposta de uma sequência didática que se propõe a ensinar ondulatória a partir dos abalos sísmicos. O professor proponente deste trabalho ministra as aulas na turma, de forma que esta proposta foi planejada para acontecer em 8 encontros, cada encontro com duas aulas de 45 minutos cada, totalizando 16 horas-aula ou 12 horas. Os alunos serão identificados com uma sigla, preservando suas identidades, como por exemplo, A1, A2, A3 e assim por diante. A turma possuía 15 alunos matriculados, porém apenas 13 participaram das aulas, os outros haviam se evadido da escola.

5.1 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS ENCONTROS

5.1.1 Primeiro encontro: “Geofísica: dos aspectos do planeta Terra ao episódio sísmico de João Câmara”

Este primeiro encontro aconteceu no dia 21 de julho de 2017 e esteve inserida dentro de uma das atividades pedagógicas da Escola João Tomas Neto (Lagoa de Pedras, RN). As chamadas Oficinas Semestrais funcionam como evento do calendário escolar local, onde as aulas programáticas são pausadas e os alunos vivem um momento em que podem aprender sobre temas diversos que não necessariamente estejam na grade curricular do ensino das disciplinas. Os alunos tinham liberdade de escolher qualquer uma das 5 oficinas daquela noite, porém todos da referida série escolheram a oficina sobre Geofísica. Este encontro ainda incluiu

mais alguns alunos de outras séries que ficaram interessados no tema. O objetivo deste encontro foi entender o processo de formação da Terra e conhecer o contexto do episódio sísmico de João Câmara

Iniciou-se a oficina com uma breve apresentação sobre o objeto de estudo do primeiro encontro, entendendo como o planeta Terra havia se formado. Não foi citado nada sobre o episódio sísmico de João Câmara, propositalmente.

Em seguida, foi feita a pergunta: como todo o universo passou a existir da maneira que o conhecemos hoje? A resposta dada foi a seguinte:

“Ouvi falar numa aula de ciências [ensino fundamental], que tudo teve início numa grande explosão.” (A6)

Nesse momento buscou-se esclarecer a ideia que o Big Bang deveria ser melhor entendido como uma grande expansão, expondo as razões pelas quais a velha ideia de explosão não era conceitualmente correta. Vários surpreendentes questionamentos sobre o Big Bang foram feitos, como, por exemplo,

“Como tudo do Universo já coube num lugar pequeno desses?” (A9)

A linha do tempo que se traçou deste ponto em diante na aula não trouxe mais perguntas, isto provavelmente pelo fato de se ter falado na formação das partículas atômicas, formação de alguns elementos químicos, equilíbrios de densidade entre matéria e energia e etc. Obviamente, tais temas foram abordados de maneira sucinta e em um nível conceitual considerado próprio para o público. A linha do tempo do Universo então voltou a ser mais detalhada ao se chegar na hipótese nebular para a formação do nosso Sistema Solar, passando pela formação do Sol e demais planetas. Os alunos demonstraram não conhecer em nenhum nível tais ideias.

Ao passo que se expunha a teoria sobre a formação da Terra, algum questionamento sobre o processo de formação das camadas do nosso planeta era esperado, porém ela não ocorreu de imediato. Somente quando se chegou no conceito de deriva continental existiram questionamentos, um deles mais enfático:

“Por que a parte mais de cima da Terra era dura e de baixo era lava?” (A5)

Segundo este aluno, os continentes eram pesados e deveriam afundar. Para sanar esta dúvida, a explicação voltou um pouco para o processo de resfriamento da Terra, retomando e novamente explicando os conceitos, de forma que a ideia pareceu ter ficado entendida. Esse debate foi importante para o desenvolvimento da aula e das futuras aulas, porque debater sobre quais materiais constituíam a crosta causariam implicações no entendimento da propagação de ondas sísmicas, especialmente nesta região do planeta.

Diante da quantidade e certa qualidade das perguntas, percebeu-se um nível de interesse maior dos alunos se comparado aos conteúdos anteriores à proposta.

Para o término deste primeiro momento, o debate sobre a superfície terrestre e seus continentes em deriva devido as placas tectônicas foi felizmente oportuno para que se fizessem questionamentos sobre as falhas entre continentes. Os vulcões foram os primeiros itens da lista de termos citados quando se falou destas falhas entre continentes. Percebeu-se neste ponto que um número considerável de alunos possuía interesse em leituras científicas e/ou ter cursado um ensino de ciências razoável nos anos finais do Ensino Fundamental. Porém eles não foram capazes de fazer qualquer associação entre as falhas continentais a abalos sísmicos, mesmo sendo esta uma das ideias para este momento inicial.

Resolveu-se então terminar o primeiro momento e iniciar o segundo, que constituiu a apresentação de um vídeo jornalístico sobre o abalo sísmico de João Câmara-RN, no ano de 1986, distante da escola cerca de 130 km. Após o vídeo, foram feitos questionamentos aos alunos sobre a relação entre a estrutura da Terra e os terremotos. Uma série de comentários foram sendo feitos, deixando um período considerável para que se pudesse diferenciar os terremotos causados pelas falhas entre as placas tectônicas e os terremotos causados por falhas pontuais no interior dos continentes. Citar a intensidade 5,5 na escala Richter fez surgir a pergunta

“por que no Brasil não é como em outros países pra ter terremotos?” (A7)

Esta pergunta contribuiu positivamente para que se pudesse falar sobre as possibilidades de terremotos destrutivos no Brasil e mais especialmente sobre a sua ocorrência no estado do Rio Grande do Norte.

Como a pedagogia de projetos foi pensada para este trabalho, ao final de cada encontro uma tarefa foi atribuída aos alunos em forma de projeto. Para este primeiro encontro, inicialmente foi pensado a confecção de um vídeo no formato de matéria jornalística lembrando o episódio. Porém se considerou mais conveniente a confecção apenas do áudio em formato de

matéria jornalística para que fossem executados na rádio da escola durante a programação no intervalo das aulas.

5.1.2 Segundo encontro: “Razões dos sismos causarem tanta destruição”

Este segundo encontro aconteceu no dia 27 de julho de 2017 e diferentemente do primeiro encontro, esta aconteceu durante um dia normal de aulas. Então, partindo da lembrança do assunto final do primeiro encontro, sobre o episódio sísmico de João Câmara e as imagens mostradas sobre o ocorrido. O objetivo deste encontro foi compreender a capacidade destrutiva dos terremotos associada ao conceito de energia e relacionar os terremotos os movimentos ondulatórios.

Iniciou-se então o primeiro momento com a pergunta “vocês lembram de ter visto alguma notícia ou reportagem sobre algum terremoto?”, tendo como resposta inicial

“Eu lembro de um filme (San Andreas, Warner Bros, 2015) que falava sobre o terremoto que destruiu uma cidade e um tsunami que destruiu outra cidade” (A7)

Aqui preferiu-se não citar o fato de que o terremoto de João Câmara não ocorreu por uma falha geológica entre placas tectônicas, como é o caso da falha de San Andreas que existe verdadeiramente e tem 1300 km de extensão, mas sim por acomodação de rochas em falhas pontuais, fez-se isto mais adiante.

Figura 3938: Alunos da turma do 2º Ano do Ensino Médio Noturno Diferenciado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dando continuidade a este momento, foi exibido um vídeo de uma câmera de rua que registrou um terremoto no Nepal em 2015, atingindo 7,8 na escala Richter. Ao término da exibição, perguntou-se “Qual seria uma possível causa dos sismos causarem tanta destruição?”. A primeira resposta veio de um aluno que não havia participado em momento algum do ano letivo. A sua resposta foi a seguinte:

“Porque o chão treme” (A3)

Em sequência a esta resposta, perguntou-se “qual a razão para o chão tremer e causar destruição?”, a resposta dada foi:

“Os tremores causam desequilíbrio nas coisas” (A5)

Insistindo-se um pouco foi perguntado “e o que causa o desequilíbrio?”, a resposta foi:

“Nesse caso aí eu acho que é uma força maior que vem de baixo” (A5)

Estas ideias foram anotadas no quadro, seguidas da afirmação de que as poderiam ser expandidas, caso algum deles julgasse necessário.

Como não houve mais nenhuma ideia naquele momento, foi perguntado “como essas forças que vem de baixo se originam?”, então o mesmo aluno que antes não participava dos debates em sala considerou que as forças surgiam

“Porque as camadas tectônicas se batem” (A3)

Isto mostra que o mesmo havia recordado do primeiro encontro sobre a formação do planeta e suas camadas. Uma aluna ainda surpreendentemente complementou dizendo

“Tem a ver com o atrito das pedras, tipo o magnésio, como se estivessem grudadas como imã, aí quando se deslocam causam uma força maior”
(A10)

Embora claramente a resposta não tenha sido tão bem construída, percebe-se que a aluna cogitou a possibilidade de tremores de terra não somente pelas falhas entre as placas tectônicas,

mas também do movimento de rochas. O aluno A10 ainda provavelmente confundiu magnésio com magnetita e usou o exemplo de um ímã fazendo alusão ao sentido da força que existia quando se tentava unir polos opostos. Quando se perguntou sobre a possibilidade de ocorrer com rochas diferentes das magnéticas, a aluna respondeu positivamente. Ainda que se pretendia fazer a pergunta “as camadas de rochas estão todas bem imóveis no interior da terra, ou é possível que elas se movam por alguma razão?”, porém a resposta dada pela aluna A10 tornou desnecessária a pergunta. Neste ponto, os alunos A1, A3, A4, A5, A6, A7, A8 e A10 debateram rapidamente entre si que a própria estrutura deteriorada da escola, que não recebe uma reforma estrutural há cerca de 30 anos, poderia vir a ruir com qualquer tremor mais simples.

Acredita-se então que os alunos citados no parágrafo acima, em algum nível, possuam as competências CA3 e CA2CF1, assim como CA7 e CA7CF1 e CA7CF3. Tais competências não haviam sido expostas nas aulas de assuntos anteriores deste mesmo ano, isto leva a crer que os alunos se interessaram mais mediante um conteúdo que tem maior relação com sua realidade vivencial. Destaca-se também a participação ativa de alunos considerados problemáticos, com infrequência.

Os questionamentos desse primeiro momento começam a ter seu objetivo alcançado, baseando-se nas respostas dadas, porém uma última pergunta se fez necessária para investigar se alguns dos conceitos de energia seriam explicitados em suas falas e argumentos. Foi proposta então a seguinte ideia: Vocês alunos são capazes de levantar cadeiras, fechar portas, amassar uma folha de papel, uma latinha de refrigerante etc. O que dá capacidade a vocês de realizarem tais atos? Antes mesmo de terminar a pergunta, um aluno já havia respondido como sendo

“energia” (A3)

Rapidamente perceberam a intenção da pergunta e associaram as forças no interior da Terra a ideia de energia. Percebe-se aqui então que o campo conceitual dos alunos sobre o qual repousa o conceito de energia está um pouco melhor dominado. Destaca-se também a presença da competência CA7CF4.

Então foi explicado para os alunos que as rochas acumulavam energia que posteriormente era liberada nos sismos. O debate seguiu, de forma que ainda foi perguntado se era possível supor como essa energia havia se acumulado no interior. As primeiras ideias dos alunos A5 e A6 foram de que algum gás pudesse ter acumulado a energia, baseando-se no

comportamento de alguns vulcões, porém o conceito mais específico sobre energia potencial não foi citado.

O segundo momento foi pensado com dois experimentos, de forma que um novo ciclo de pequenos problemas serviu para confrontar os alunos.

Figura 40: Corda presa paralela ao quadro.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O primeiro problema será desenvolvido com uma corda presa a uma extremidade paralela ao plano do quadro branco, a fim de se causar alguns pulsos na mesma e serem notadas as perturbações a partir de um ponto de equilíbrio da corda (figura 40).

O aluno A8 realizou o procedimento de perturbação da corda enquanto outros foram desafiados a notarem algumas características da perturbação na corda à medida que a intensidade dos pulsos é alterada pelo aluno A8.

Na Pedagogia de Projetos a aprendizagem se dá nos processos de produção de atividades ou desafios propostos, através de questionamentos, formulação de hipóteses e análise das mesmas, através de uma construção e reconstruções posteriores do conhecimento adquirido. O papel do professor não é o do clássico detentor e transmissor do conhecimento, mas sim um mediador entre o conhecimento e o aluno, com o intuito de que o aluno possa encontrar sentido para o que aprende, seja integrando as várias áreas do conhecimento ou conseguindo utilizar o saber em sua vida cotidiana. Assim, antes de formalizar os conteúdos, aos alunos foi dada certa liberdade para pensarem em parâmetros na oscilação provocada na corda do experimento.

Então, o aluno A8 iniciou os pulsos na corda com uma certa intensidade e os demais alunos passaram a observar o fenômeno para perceber as características do movimento na corda. Mesmo sem uma apresentação formal do conceito de onda, o aluno A8, que realizou os pulsos, iniciou o experimento com a seguinte fala:

“Isso é uma onda” (A8)

Pela primeira vez na intervenção a palavra “onda” foi usada, neste caso para descrever o fenômeno na corda. Mesmo com o uso do termo de maneira mais genérica, percebe-se que a associação do movimento na corda ao conceito estava ligada as características próprias das ondas.

Após esta fala o aluno A8 foi desafiado a modificar a intensidade dos pulsos e aos demais alunos que observavam foi indagado sobre a existência de mudanças. Um pequeno pedaço de tecido colorido foi colocado no meio da corda, para facilitar a visualização das oscilações. Uma aluna afirmou o seguinte:

“Quando o movimento do braço diminui, a velocidade da corda diminui também” (A1)

O aluno que pulsava a corda também fez sua colocação, afirmando

“Porque isso aqui (fazendo referência a rapidez da chegada da onda no outro lado da corda) é o caso da energia no braço” (A8)

Um terceiro aluno afirmou sem maiores justificativas que

“Esse movimento parece um tremor de terra” (A6)

Após isto, o aluno que pulsava a corda indica

“Diminuindo o movimento (do seu braço), só vejo uma onda na corda e aumentando o movimento, tem mais de uma onda” (A8)

Estas respostas satisfatoriamente demonstram que os alunos haviam intuitivamente pensado, mesmo que de maneira superficial, sobre velocidade das ondas e frequência de repetição. Foi solicitado então que resumissem as ideias e explicação daquela situação e novamente uma aluna (A7) associou o movimento ondulatório na corda aos tremores de terra, afirmando

“tipo como o tremor tava menor e foi aumentando a intensidade e destruindo mais” (A7)

A última pergunta feita, indagava o porquê deles estarem associando o movimento na corda aos tremores, quatro alunos juntos responderam

“A terra vibra parecido com isso (ondas na corda)” (A3, A5, A7 e A10)

Até esse momento, é possível perceber que além da participação ativa da maioria dos alunos, eles já associavam os abalos sísmicos ao conceito de onda. Percebe-se também que para uma proposta, onde os alunos devem construir os conceitos progressivamente, a rapidez desta associação confirma o aumento no interesse e na potencialidade eficaz da proposta.

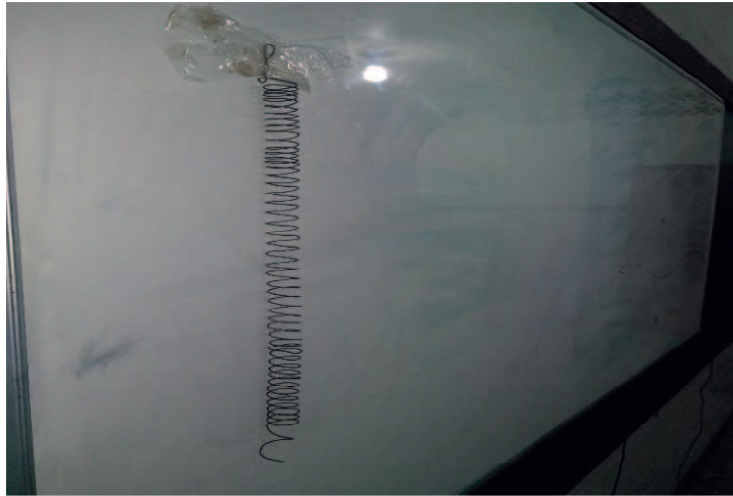
Depois disto, sugeriu-se para que os alunos se atentassem um pouco mais para impulso transferido pela da corda no ponto onde estava fixada, visando que isto facilite tanto a compreensão da transferência de energia e momento da onda, porém nenhum comentário sobre isto foi feito. Finalizando os comentários, um aluno afirmou sobre a corda:

“Ela anda pra frente, mas o tecido só sobe e desce” (A4)

Como se pode observar, o debate foi produtivo, mesmo que alguns comentários não tenham aparecido nas falas com uma certa ordem conceitual.

O segundo experimento proposto, foi realizado com uma mola (figura 41) que os alunos construíram ali mesmo com arame metálico.

Figura 39: Mola produzida pelos alunos para o segundo experimento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para que também pudessem perceber também o movimento ondulatório longitudinal, os alunos mesmos colocaram um peso da extremidade da mola e provocaram as oscilações. O aluno A5 afirmou que

“O movimento parece com uma onda, mas só que cima e pra baixo” (A5)

Como o primeiro experimento já havia fomentado um bom debate, a percepção das características de onda no movimento na mola foram mais rápidas, a única estranheza foi pelo fato da onda ir na mesma direção do peso, diferente do tecido na corda. Segundo um dos alunos

“na corda o tecido vai e volta para o mesmo lugar, na mola anda junto com o movimento, pra cima e pra baixo” (A5).

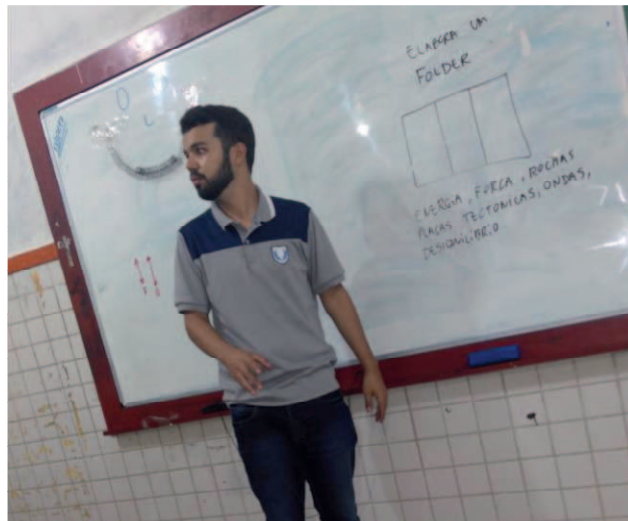
Observa-se na fala deste aluno que algumas características conceituais mais específicas das ondas longitudinais e transversais foram intuitivamente aparecendo. Felizmente, a percepção de como acontecia o movimento das partes do meio onde a onda se propagava foi bastante satisfatória para o que se pretendia. O objetivo deste encontro é outro fator a ser comentado, que era “compreender a capacidade destrutiva dos terremotos associada ao conceito de energia e relacionar os terremotos os movimentos ondulatórios”; foi atingido.

Neste ponto da aula tanto o conceito de energia nas ondas quanto as formas de vibração observadas nos experimentos já haviam sido associados aos tremores de terra. Foi exposto então que as ondas sísmicas que eram detectadas se assemelharam aos exemplos na mola e na corda.

Respectivamente, as ondas primárias (ondas p) longitudinais são as primeiras a serem detectadas e as ondas secundárias (ondas s) transversais, detectadas posteriormente.

Finalizando, foram deixados os seguintes questionamentos: Como é possível se proteger dos terremotos e por que é importante saber destas informações? Os alunos devem tentar relacionar o transporte de energia às destruições que os terremotos podem causar. A resposta para essa pergunta será organizada de forma que escreverão essa síntese em formato de folder, imaginando que esta produção textual servirá como material informativo, destinado aos demais alunos da escola, levando-os também a conhecer um pouco mais sobre o episódio de João Câmara e conseqüentemente sobre os terremotos, seus riscos e sua relação com a Física.

Figura 40: Explicação da proposta da elaboração do folder.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.3 Terceiro encontro: “Identificando e medindo abalos sísmicos”

Este terceiro encontro aconteceu no dia 03 de agosto de 2017 e teve em seu primeiro momento uma apresentação prévia do processo de construção do folder, que havia sido proposto como atividade ao final do segundo encontro. Como o projeto de construção do folder envolvia um problema a ser resolvido, foi separado 40 minutos para orientações sobre as ideias para a realização da tarefa. Na medida que a exposição do projeto do folder acontecia, eram feitas algumas perguntas sobre o as imagens escolhidas, sobre a forma como o texto informativo foi redigido, se os conceitos envolvidos nesse texto estavam coerentes. As orientações ocorreram sob a ótica de que projetar o folder significava expor as pretensões sobre design gráfico, quais ideias abordadas, como escrever essas ideias e em qual o nível conceitual e etc., porém, o

objetivo desta aula foi conhecer a escala de medida de um terremoto e associar o conceito de velocidade as ondas sísmicas.

Para o segundo momento, embora não dependesse de maneira estrita, o primeiro momento poderia servir como premissa, pois nas pesquisas prévias apresentadas para a confecção do folder foi imaginado que de alguma forma os valores de medição dos abalos iriam aparecer na fala de alguns alunos durante o primeiro momento. Algo que realmente se confirmou de uma maneira bastante sutil, ao se perceber o uso de termos como “intensidade” e “força do terremoto”, usados mais adiante.

Como não faria sentido, por exemplo, questionar os alunos sobre como se mede a magnitude de um terremoto, a primeira pergunta feita foi “como é possível saber se um terremoto foi forte ou mais intenso que outro?”. A primeira resposta dada por um aluno, foi

“Acho que é medido pelo estrago causado” (A5)

Mesmo não sendo exatamente essa a ordem das coisas, o aluno já tinha em mente que alguns terremotos tinham maior capacidade destrutiva que outros. Prosseguiu-se então com o questionamento “quando vocês pesquisaram sobre os terremotos ou ouviram falar sobre eles em jornais televisivos, vocês lembram de alguma unidade de medida para eles? ”, quase que todos afirmaram lembrar de “pontos na escala alguma coisa” (A1, A3, A4, A5, A7, A8, A9, A10), não lembrando apenas do nome Richter. Ao se fazer lembrar o nome da escala Richter e percebendo que era exatamente este nome que buscavam recordar, o seguinte questionamento foi feito: “Existindo a forma de medida Richter, como é possível medir um terremoto mesmo não estando tão perto de onde ele aconteceu? Existe algum instrumento capaz de identificar e medir um abalo sísmico?”. Neste ponto não houve qualquer lembrança nem ao nome do aparelho nem muito menos uma ideia próxima a ele, isto já havia sido percebido no primeiro momento, onde nas orientações acerca do folder, não houve qualquer referência ao sismógrafo.

Seguimos então para uma breve exposição que visava responder as perguntas “Existindo a forma de medida Richter, como é possível medir um terremoto mesmo não estando tão perto de onde ele aconteceu? Existe algum instrumento capaz de identificar e medir um abalo sísmico?”. Expondo um pouco da história dos primeiros aparelhos usados para se medir abalos sísmicos, como por exemplo, um aparelho criado pelos chineses e outro criado pelos. Antes de verem as imagens dos sismógrafos, um aluno lembrou de

“Lembro de um aparelho que fica riscando com uma canetinha” (A3)

Os demais, quando viram as imagens dos sismógrafos e seus registros em papel posteriormente, alguns perceberam que já haviam visto aquilo em algum filme ou matéria jornalística. Alguns lembraram do vídeo do segundo encontro, que trazia uma reportagem sobre o terremoto em João Câmara-RN. Dentre as surpresas que esta aula proporcionou, ao ver o sismógrafo de pendulo, uma aluna perguntou se poderia tentar fazer um semelhante. Isto foi bastante satisfatório, já que ao término do encontro seria proposta a construção de um sismógrafo do tipo que eles desejassem.

Figura 413: limites das placas tectônicas na crosta terrestre.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida uma pergunta feita sobre os “riscados” que eles lembraram: “estes riscados são resultado de quê? De onde vem ou como chegam ao sismógrafo?”. A primeira resposta dada afirmava a seguinte ideia:

“por causa das vibrações e da aula passada, as vibrações vêm por energia”(A5)

Aqui, a lembrança do primeiro encontro parece ter aparecido em quase todos os estudantes. Como foi debatido que tipos de materiais diferentes compunha as camadas da Terra, afirmaram que alguns tipos de terrenos poderiam sofrer mais com as vibrações porque as rochas

estavam menos firmes e eram mais duras em outros casos o terreno era diferente. Lembraram da cidade de Passa e Fica, da cidade vizinha de Serrinha e de uma pedreira próxima à cidade. Foi lembrado que os terremotos na região que moram poderiam ocorrer mais facilmente por acomodação de rochas. Eles solicitaram para ver a imagem da divisão das placas.

Mas o debate havia tomado um rumo diferente do pretendido para o momento, o objetivo era chegar nas primeiras ideias de velocidade das ondas sísmicas. Usando a imagem da divisão das placas, foi perguntado “se era possível perceber e medir aqui no Brasil um terremoto que ocorreu no Japão?”. Embora tenha sido possível perceber que nem todos associaram as medidas ao conceito de energia, um aluno afirmou que

“Eu não acho difícil uma onda sísmica vir pelo chão e chegar aqui depois de um tempo” (A5)

E em sequência, terminou perguntando

“A onda pode atravessar as camadas debaixo da superfície?” (A5)

Tendo recebido resposta positiva sobre ser possível e que de fato já haviam percebido isso, o aluno afirmou

“Então elas podem chegar até mais rápido” (A5)

De forma intuitiva, o conceito de velocidade apareceu na fala do aluno, que foi considerado para aquele momento algo satisfatório. Nesse ponto, foi informado aos alunos sobre as ondas primárias, chamadas de ondas p e secundárias, chamadas de ondas s.

O objetivo de conhecer a escala de medida era relativamente fácil de ser atingido, contudo o objetivo de associar o conceito de velocidade às ondas sísmicas era um pouco mais complexo. Percebe-se então mais uma vez que a proposta se mostrou potencialmente eficaz no ensino de ondulatória.

No terceiro momento foi dada a tarefa aos alunos para que construíssem um aparato que reproduzisse a ideia de como vibrações no solo podem ser percebidas, ou seja, esta nova tarefa era o projeto de construção de um sismógrafo, porém não foi dada nenhuma informação sobre como construir e onde buscar informações.

5.1.4 Quarto encontro: Apresentação do Sismógrafo

Neste quarto encontro, ocorrido no dia 10 de agosto de 2017, os alunos expuseram o resultado da proposta da construção de um sismógrafo. O objetivo deste encontro foi a apresentar o sismógrafo e sua explicação.

Foi proposto que os alunos poderiam fazer de maneira individual ou em grupos, isto ficaria a cargo deles. Dois grupos então realizaram a tarefa, ambos sismógrafos de pendulo. Eles também ficaram responsáveis de explicar todo o processo de construção deste projeto, explorando possíveis formas de utilização do sismógrafo, as proximidades com os primeiros aparelhos historicamente construídos e as potencialidades e limitações das medidas feitas com o sismógrafo construído. Um dos grupos não trouxe o aparato construído devido a problemas com o transporte escolar, que naquela noite não passou no sítio do membro do grupo que ficou responsável por guardar o sismógrafo, porém os demais presentes expuseram a construção.

O sismógrafo foi posto sobre uma superfície suscetível a oscilações. Para essa situação, pensou-se primeiramente em uma superfície com espuma acolchoada ou algum gel simulando o terreno, porém ambos materiais se mostraram inviáveis em testes feitos com um sismógrafo construído pelo professor. Assim, os melhores resultados foram obtidos usando molas abaixo da base do sismógrafo. Isto permitirá a indução de algumas perturbações possíveis de serem percebidas pelo pendulo. Em suas apresentações, os alunos foram questionados sobre o padrão formado no desenho do sismógrafo de pendulo e sua semelhança com o experimento da corda fixada do segundo encontro.

A resposta foi a seguinte:

“Os riscos que o sismógrafo causou são iguais as ondas da corda e a terra deve tremer da mesma forma” (A8)

O segundo grupo disse que

“as ondas foram causadas pela energia de quem fez vibrar o local onde o sismógrafo estava. Na corda alguém movimentou a corda, gastando energia”. (A5)

Figura 424: sismógrafo construído por um dos grupos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram ainda questionados como acreditavam que a propagação das ondas sísmicas acontecia no interior da terra e como as ondas sísmicas, divididas em primárias (p) e secundárias (s), tem a capacidade de fazer os sismógrafos oscilarem e registrarem tais oscilações. Sobre estes questionamentos, as primeiras afirmações foram as seguintes:

“de alguma forma uma onda é mais lenta que a outra, mas as duas carregam energia através das camadas da Terra” (A4 e A10, primeiro grupo).

“na primeira aula eu lembro que as placas poderiam se chocar e a energia desse choque viajar no solo, então deve viajar de duas formas diferentes, como disse o outro grupo, uma mais rápida e outra mais lenta” (A6 e A7, segundo grupo).

Figura 435: explicação sobre a construção do sismógrafo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram ainda expostas algumas imagens que indicavam os tipos de ondas sísmicas possíveis em um terremoto e como as oscilações ocorriam no solo. Para que os alunos pudessem associar a velocidade das ondas aos tipos de materiais onde elas se propagavam, foram questionados da seguinte forma: “as rochas e o solo possuem capacidade elástica, ou seja, podem se comprimir ou esticar para que uma onda passe por ali? É possível que os materiais que formam o solo sejam elásticos como a mola ou poderem oscilar como uma corda, ambos usados na segunda aula?” Ambos os grupos responderam indicando que sabiam que terremotos causavam destruição, porque transportavam energia e energia poderia causar as forças, mas que não entendiam muito bem como.

As competências CA3 e CA3CF1, CA7 e CA7CF1 e CA7CF3, identificadas na Aula 2 estão melhorando e, digamos, aumentando o nível. Como também se percebeu, boa parte dos alunos tem as competências CA4 e CA4CF1, em algum nível.

Quando ao campo conceitual sobre o qual repousa a ondulatória, é possível inferir que o conceito de onda ainda não está explícito nas falas e argumentos, observa-se que até aqui os alunos já sabem que as ondas constituem um tipo de movimento que faz as partes do meio vibrar, mas não caminhar, isto ficou claro nas falas da Aula 2, quando debateu-se os experimentos com a corda e mola. Pode-se ainda dizer que expandir o debate sobre as ondas na crosta terrestre, permitiu uma expansão do campo conceitual, fazendo com que os alunos percebessem que além da corda, moda

ou água, as ondas poderiam existir nos diversos materiais. As falas nas Aulas 3 e 4, deixam claro que o conceito de onda está associado a energia.

5.1.5 Quinto encontro: “A formalização dos conteúdos”

Esta aula aconteceu no dia 17 de agosto de 2017. Este é o momento onde culmina todas as aulas anteriores, onde os alunos foram aos poucos descobrindo e construindo os conceitos sobre ondulatória. O objetivo deste encontro foi formalizar os conceitos relativos as ondas (modelo corpuscular e modelo ondulatório da matéria, classificação das ondas). Acredita-se que o desenvolvimento dos conceitos relativos a ondulatória pode ocorrer diante diversas situações pedagógicas, algumas das quais utilizamos nos encontros anteriores, visando o desenvolvimento e melhor domínio do campo conceitual sobre o qual repousam os conceitos de ondulatória. No processo das aulas, como já citado, a pedagogia de projetos foi importante ferramenta para a proposição das situações que atingissem o objetivo deste trabalho.

Figura 446: Encontro da formalização do conteúdo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para este encontro, foi usado um material produzido baseado principalmente no livro “Vereda Digital: Física” e algumas outras fontes (material disponível na internet). O material com todo o conteúdo foi entregue aos alunos no final da aula.

Iniciou-se então falando da diferença entre modelo corpuscular e modelo ondulatório da matéria. Uma situação inicial foi proposta, usando a ilustração de duas bolinhas de bilhar se chocando entre si, expondo o modelo de transferência de energia no modelo corpuscular. A princípio, os alunos questionaram que tipo de energia era transferida, porém com um tempo de debate entre eles mesmos, um deles foi capaz de lembrar que existia energia associada aos

movimentos (A5). Em sua resposta, o aluno fez referência as aulas sobre energia mecânica do ano anterior. Baseando-se no que foi dito sobre o modelo corpuscular para a transferência de energia existia também transporte de matéria, uma pergunta partiu do mesmo aluno:

“Sempre vou precisar empurrar uma coisa para transferir energia?” (A5)

Esta pergunta aconteceu em um momento oportuno, pois o modelo ondulatório foi apresentado como sendo a resposta para a pergunta. A situação proposta para tal foi uma corda fixada em que alguém causava pulsos, sendo exposto que as partículas da corda embora subissem e descessem não “caminhavam” para frente. Imediatamente os alunos recordaram do segundo encontro, onde um experimento com uma corda foi feito, fazendo referência ainda a questão dos terremotos. Uma pergunta que fugiu um pouco ao assunto foi a seguinte:

“Mas toda energia vem de matéria, é?” (A11)

Para sanar essa dúvida, usou-se a ideia de que matéria e energia no geral são inseparavelmente relacionadas. Foram apresentados dois exemplos: que a energia elétrica era carregada por elétrons (partículas com massa) ou fica armazenada em objetos (baterias, capacitores, etc.) e que as ondas sísmicas precisavam da matéria contida na Terra para transferir a energia liberada nos choques entre placas tectônicas ou acomodações de terra. Finalizou-se a resposta para tal pergunta, com a ideia de que o conceito de energia para uma situação poderia não servir para outras. O aluno se deu por satisfeito, embora após a aula terminar e em particular tenha perguntado de onde vem a energia que existe no Universo.

Figura 457: turma durante a aula da formalização do conteúdo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi então apresentada a ideia do Princípio da Complementaridade de Niels Bohr (1885-1962), que parece ter sido bem aceito, principalmente quando foi citado que as partículas do solo poderiam apresentar comportamento ondulatório enquanto um terremoto estivesse passando por ele, pois ao se falar disso, foi lembrado mais uma vez o exemplo da corda sendo uma onda e que os terremotos propagam energia através das ondas; porém não foi feita nenhuma referência ao exemplo da mola. Em seguida, um dos alunos perguntou:

“Professor, só existe onda se existir partículas?” (A5)

A resposta dada foi “não necessariamente”, então o aluno afirmou que lembrava algo sobre isto quando estudou sobre a luz, no conteúdo anterior.

Entendido que ondas transportam energia e impulso e não transportam matéria, considerou-se oportuno seguir para a classificação das ondas, quanto à sua natureza e seus modos de vibração, a partir da pergunta acima feito pelo aluno A5.

Então, seguindo a sequência da aula, usando os conhecimentos prévios sobre os conceitos de óptica geométrica e o questionamento do aluno sobre a existência de ondas sempre na presença de matéria, perguntou-se se “a luz necessitava de alguma partícula de matéria para conseguir ir do Sol à Terra?”, logo veio a lembrança da ideia, mesmo que esta recordação tenham exposta de forma superficial. Então foi exposto que toda onda que precisa de um material é chamada mecânica e toda que não precisa de eletromagnética. Inevitavelmente, mesmo com a lembrança sobre o fato, ainda surgiu uma pergunta, ainda do mesmo aluno:

“professor, lembrar eu lembro que é assim, mas ainda não sei bem o porquê” (A5)

Então foi exposto que as entidades físicas que estavam envolvidas numa onda eletromagnética não necessitavam de matéria devido a sua própria natureza. A resposta foi dada com a promessa de que, em um momento oportuno, se falaria mais profundamente sobre o eletromagnetismo. Mas ainda se fez uma observação sobre as ondas mecânicas: afirmou-se que o material ou meio necessário para a propagação das ondas deve ser elástico, ou seja, permitir deformações e oscilações, enfatizando que todo tipo de meio tem esta característica, mais acentuada ou não.

Em sequência, foi perguntado aos alunos sobre quais diferenças eram possíveis de serem percebidas entre uma onda numa corda e uma onda numa mola. A dica foi justamente associar a alguma onda sísmica. Certo silêncio soou, quebrado por um aluno falando que

“a onda na corda vibrava para as laterais, diferente da mola que só subia e descia” (A8)

Foi perguntado então de que forma a onda na corda e na mola parecia com as imagens das ondas sísmicas que eles viram na aula quatro, onde apresentaram o sismógrafo; o mesmo aluno afirmou lembrar que em uma das imagens sobre terremotos,

“A terra parecia ser esticada e apertada” (A3)

O aluno estava falando das ondas primárias que são longitudinais. Outro aluno afirmou que lembrava que tinha outras ondas diferentes, mais parecidas com a corda do que com a mola. A lembrança disto reforça a ideia de que os alunos conseguiam diferenciar os tipos de ondas quanto a direção de vibração e ainda conseguiam lembrar da sua relação com os sismos. Deixando clara a classificação transversal de algumas ondas, o sinal do horário já havia tocado e em particular, um aluno afirmou

“eu lembro que tinha uma onda ‘Love’ e outra lá que misturavam algumas coisas, né professor?” (A5)

Aqui, perguntas em particular voltaram a acontecer como em aulas anteriores, o que reforçava talvez insegurança ou simples timidez com os demais colegas, porém as respostas dadas aos questionamentos, mostraram que não somente a imagem da onda sísmica ficou gravado em sua memória, mas associando os fenômenos sísmicos com a ondulatória, foi capaz de associar um modelo físico à um fenômeno, sendo então percebidas as competências CA6 e CA6CF1, CA7 e CA7CF2. Finalizando a definição, foi exposto que este tipo de onda era chamado de longitudinal.

O tempo desta aula foi insuficiente para a formalização, como já imaginado anteriormente, sendo necessário mais uma aula para os demais conceitos a serem debatidos. Considerou-se que o entendimento dos conceitos formalizados foi relativamente fácil, já que o

processo de construção dos conceitos foi feito com um tema que realmente era de interesse dos alunos, lembrando que a proposta de estudar mais os terremotos partiu exatamente deles.

5.1.6 Sexto encontro: “A formalização dos conteúdos”

Continuando a formalização dos conteúdos nesta sexta aula, que aconteceu dia 24 de agosto de 2017, fazendo um primeiro momento de recordação dos conceitos aprendidos na aula anterior, seguiu-se para a pergunta feita em particular no final da aula, sobre ondas “misturadas”. O objetivo dessa aula foi formalizar os conceitos relativos as ondas (velocidade, comprimento de onda, frequência, reflexão, refração, interferência, difração, polarização e ressonância).

Ao recordar do final do quinto encontro, onde o aluno A5 havia lembrado sobre as ondas em que os nomes soavam diferentes. Tomando a recordação sobre ondas longitudinais e transversais, mostrando novamente as imagens da representação das ondas de Love (L) e de Rayleigh (R). Usando as ondas de Rayleigh como plano de fundo e complementando a classificação das ondas quanto a vibração, foi explicado que existia ainda um terceiro tipo de onda que de fato misturava ondas longitudinais e ondas transversais, chamadas de ondas mistas, fazendo as partículas de um meio vibrar em um movimento quase circular. Sobre as ondas de Love, resolveu-se adiar sua explicação, pois seria exemplificada no fenômeno de interferência.

Ao se continuar na formalização dos conceitos, foi apresentada a ideia de mais uma classificação, agora quando à dimensionalidade. A palavra “dimensionalidade” soou estranha para todos, mas logo esta dificuldade foi contornada quando se perguntou sobre “imagens 3D”, quase unanime foi a lembrança do tipo sala do cinema, embora todos tenham dito que nunca assistiram um filme naquele formato, sabiam que as imagens pareciam saltar da tela. Foi então apresentada a ideia de que as imagens neste formato causavam profundidade, além de largura e comprimento. Um aluno ainda citou o exemplo de uma cisterna com suas medidas de largura, comprimento e profundidade. Assim, foi exposta a classificação das ondas em unidimensionais (lembrando o exemplo da onda na corda), bidimensionais (ondas da superfície de um líquido) e tridimensionais (ondas luminosas e sonoras). Esta parte do conteúdo parece ter sido recebida de maneira muito tranquila, não gerou qualquer questionamento.

Figura 468: Segundo encontro para a formalização do conteúdo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Chegou-se então no momento em que se iria formalizar as características das ondas. Falando-se sobre amplitude e comprimento de onda, logo lembraram dos registros que os sismógrafos são capazes de fazer. Então, foi explicado que quando maior a amplitude que os sismógrafos registram no papel, maior é a energia que as ondas transportam. De uma maneira geral, nas ondas isto também é válido. Fez-se aqui mais uma vez uma relação, primeiramente com as ondas na corda, onde quanto mais amplo fosse feito o movimento por quem pulsava a corda, a energia transferida à corda era maior e semelhantemente na mola. À medida que se davam os nomes a cada grandeza, a compreensão fluiu tranquila, de forma que o período (T) foi facilmente entendido, semelhantemente à frequência, que precisou apenas de uma simples indagação para ser compreendida com o questionamento: “o que significa dizer que vocês vêm frequentemente à escola?”. As repostas foram:

“Faltar pouco era ter frequência boa” (A11)

“Significa dizer que venho quase todos os dias de aula do ano” (A12)

Assim, definiu-se que frequência (f) era a quantidade de vezes que uma onda passa num determinado ponto no intervalo de tempo de 1s, para ser medida em Hertz.

Falando sobre velocidade de uma onda, iniciou-se com uma prova matemática simples, passando pela expressão $v = \frac{\text{espaço percorrido}}{\text{tempo gasto}}$, já conhecida pelos alunos, até se chegar na equação fundamental das movimentos ondulatórios ($v = \lambda \cdot f$). Aqui então, foi perguntado “por

que as ondas p são percebidas primeiro que as ondas s num sismógrafo? A resposta óbvia foi dada por um aluno, sendo aceita pela turma como correta:

“Porque elas tem maior velocidade” (A9)

Foi ainda dito que, embora as ondas p sejam as primeiras a chegar, as ondas s são mais destrutivas por terem maior amplitude. Perguntados porque, um aluno disse

“O senhor falou que a amplitude tinha a ver com a energia, então deve ser isso” (A4)

Satisfazendo o propósito deste ponto da formalização, seguiu-se para alguns dos fenômenos que ocorrem com as ondas.

Uma pergunta mais genérica foi feita em sequência, perguntando se os alunos sabiam o que significava reflexão. Nenhuma resposta foi dada, então apelando para algumas ideias sobre os terremotos, presumidamente uma analogia bem mais difícil do que a pergunta genérica, perguntou-se: algum de vocês deve lembrar que a Terra tem camadas, como crosta, manto interno, manto externo e núcleo, como sabemos que eles de fato existem? Nenhuma resposta foi dada, porém perguntando de uma maneira diferente: como descobriram as camadas da terra, se ninguém nunca cavou para saber se de fato elas existem? Os alunos não foram capazes de lembrar sobre algo citado na primeira aula, sobre as ondas sísmicas refletirem nas camadas mais abaixo da superfície, indicando a existência de uma camada feita de material diferente. Uma reflexão crítica aqui, nos mostra que uma maior explanação sobre este tema deveria ter ocorrido, pensando numa melhor fixação. Em caráter de alívio, a exposição sobre quando uma onda atinge um obstáculo ou fronteira entre diferentes meios, pode retornar ao meio originário, serviu como um bom exemplo, já que um dos alunos comparou a fronteira a um espelho, lembrando as aulas sobre óptica geométrica.

O conceito de refração das ondas teve um entendimento relativamente rápido, pois não foi difícil perceber que os alunos intuitivamente sabiam que uma onda ao encontrar um material diferente poderia mudar a velocidade. Este conceito provavelmente foi construído intuitivamente enquanto se debatia como um terremoto poderia ser percebido em lugares diferentes do planeta, onde chegaram a afirmar que atravessando o interior da Terra, uma onda poderia chegar mais rápido.

Para se falar sobre o fenômeno de difração, citando que as ondas longitudinais poderiam sofrer refração e chegar ao ar, transformando-se em ondas sonoras e que poderiam contornar obstáculos, a surpresa dos alunos foi a de uma onda sísmica poder chegar ao ar. A difração do som foi bem entendida. A polarização foi exposta de maneira mais simplificada, usando também o fenômeno nas ondas s, mas também fazendo referência a luz.

Na parte onde foi debatido o fenômeno interferência, as ondas de Love voltaram a ser citadas como exemplo, pois as mesmas são resultado da interferência da reflexão de ondas s. O plano de fundo das ondas sísmicas pareceu em todo tempo atrair a atenção dos alunos aos conceitos. Esta constatação se baseia no fato de que em conteúdos anteriores com métodos mais tradicionais, a turma sempre foi mais dispersa e muito menos participativa.

Por fim, a ressonância não poderia ficar de fora dos fenômenos. Para se introduzir melhor o conceito, fez-se a seguinte pergunta: “por que prédios, casas, pontes e algumas das demais estruturas físicas de uma localidade podem ser destruídas pelos abalos sísmicos?”. A resposta foi

“Por causa da energia que a onda carrega, professor” (A5)

A pergunta chave foi feita em seguida: “então porque algumas estruturas caem e outras não?”. A resposta obtida foi a seguinte:

“Porque foi suficiente para derrubar só algumas” (A5)

Um debate acerca da frequência natural dos objetos se iniciou e, explicando aos alunos sobre isto, foi dado um exemplo cotidiano análogo: quando um carro passa na frente da sua casa com o som alto, só algumas painéis vibram, respondendo a alguns trechos dos sons emitidos. Todos afirmaram conhecer o fenômeno e expandiram o debate para vidros de janelas. Foi explicado sobre a relação da frequência da onda com a frequência que o objeto pode ser posto para vibrar. Algo improvisado para o momento, foi usar um violão de um aluno de outra sala, da seguinte forma: prende-se com o dedo a sexta corda do violão (a sexta corda é a primeira de cima para baixo), na quinta casa dessa corda, é o Lá. Fazendo esta mesma soar, a quinta corda (que naturalmente está afinada em Lá sem precisar prender com o dedo) vai vibrar juntamente com a corda soada, pois ambas possuem a mesma frequência natural, o Lá. Sugere-se ainda o uso de dois diapasões para uma melhor visualização. Foi também demonstrado que outras posições não eram capazes fazer a quinta corda vibrar junto com a sexta presa na quinta

casa. Aplicamos então este exemplo para explicar o porquê de algumas edificações sofrerem de simples rachaduras a danos mais graves ou até virem a ruir. Especialmente neste pequeno experimento os alunos ficaram bastantes surpresos.

Após este momento de formalização, debates e explicações os alunos foram divididos em dois grupos. Cada grupo ficou responsável por um seminário. O tema do primeiro seminário será: “os sismos terrestres e seus efeitos”; o outro grupo ficou responsável pelo tema “sismos no fundo do mar e seus efeitos”. Cada grupo foi orientado a envolver o máximo possível de explicações físicas que aprenderam durante os vários encontros.

5.1.7 Sétimo encontro: “As orientações dos seminários”

Esta sétima aula, que ocorreu em 31 de agosto de 2017, serviu para orientar os seminários, mostrando um resultado de suas pesquisas referentes a tarefa proposta e quais aspectos pretendiam abordar. O objetivo desta aula foi reconhecer os conceitos físicos debatidos anteriormente nos abalos sísmicos e argumentar e combinar os conhecimentos até aqui adquiridos para a explicação dos temas propostos.

Cada grupo tinha 45 minutos para que apresentassem o esqueleto do seminário. As orientações têm um caráter examinador, no sentido de verificar quais as fontes utilizadas e demais pretensões quanto ao material, e ao mesmo tempo caráter pedagógico em que mais uma vez o campo conceitual dos alunos foi trabalhado, ajustando conceitos físicos e suas devidas relações com o tema.

Figura 49: as orientações dos seminários.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Eles mostraram o que pretendiam apresentar no seminário somente ao professor, que fez alguns questionamentos somente ao grupo, afim de orientar sobre possíveis melhorias. Cada grupo foi atendido em 45 minutos, para que seja exposto a proposta de apresentação dos seminários. À medida que eles apresentavam algumas ideias sobre o trabalho e alguns conceitos físicos envolvidos, o professor refez algumas perguntas dos encontros anteriores, com o intuito de melhor relacionar os conceitos construídos.

Figura 480: momento das orientações dos seminários.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Chamou a atenção o fato dos dois grupos estarem ao mesmo tempo nas orientações. Ambos acharam por bem, estarem juntos durante as orientações, com a justificativa de que poderiam ouvir o máximo possível do que eles chamaram de “entrevista”, para melhorar o desempenho na apresentação.

5.1.8 Oitavo encontro: “As apresentações dos seminários”

Este oitavo encontro, que ocorreu no dia 14 de agosto de 2017, o último encontro deste trabalho, consistiu nas apresentações dos seminários. O objetivo desta aula foi reconhecer os conceitos físicos debatidos anteriormente nos abalos sísmicos, argumentar e combinar os conhecimentos até aqui adquiridos para a explicação dos temas propostos.

Ficou estimado que cada grupo teria no mínimo 20 minutos e no máximo 30 minutos para a apresentação. Isto para que nos cerca de 30 minutos finais da aula fossem feitos alguns comentários e assim pudesse fechar lacunas e explicar possíveis detalhes deixados de lado.

Solicitou-se que os estudantes buscassem envolver a maior quantidade de conceitos físicos que pudessem.

Figura 491: apresentação do primeiro grupo da noite com o tema “os sismos terrestres e seus efeitos”



Fonte: Elaborado pelo autor.

Este primeiro grupo fez uma ótima apresentação, conseguindo relacionar de maneira satisfatória os conceitos físicos sobre ondulatória ao tema proposto. Outro ponto muito positivo foi o abandono da cola em papel ou leituras enfadonhas dos slides. A apresentação refletiu principalmente o gosto pelo tema, já que o grupo buscou diversas fontes para o trabalho, como por exemplo, lista dos maiores e mais destrutivos terremotos no mundo, outros terremotos além do episódio ocorrido na cidade de João Câmara-RN, Brasil. Além da dedicação sobre os conceitos físicos. Dos alunos A1, A4, A5, A6, A7 e A9 integrantes deste grupo, apenas os alunos A4 e A6 demonstraram certa dificuldade na organização das ideias enquanto explicavam alguns fenômenos, porém o fato de ambos terem participado das apresentações orais foi um acontecimento importante diante da timidez que ambos apresentavam e insegurança na participação de outros seminários durante o ano letivo. Os demais alunos demonstraram que o processo de domínio do campo conceitual sobre o qual repousa a ondulatória foi iniciado.

Figura 502: apresentação do segundo grupo da noite com o tema “os sismos terrestres e seus efeitos”.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O segundo grupo apresentou desfalcado por um problema de saúde de uma participante gestante e sua irmã, e mais alguns faltosos por questões, segundos eles próprios, falta do transporte escolar. Apenas os alunos A2, A3 e A10 apresentaram o seminário. A aluna A10 assumiu os temas das alunas A12 e A13 (problemas de saúde), já a aluno A3 assumiu os temas dos alunos A8 e A11. Este tema era mais difícil do que o anterior, porque além da necessidade dos conceitos nos terremotos, era necessário também algumas explicações sobre as ondas na água do mar. O grupo também conseguiu atingir o objetivo. Os alunos A3 e A10 que, em tese, ficariam sobrecarregados com muitos temas para estudo, conseguiram demonstrar muita segurança e domínio conceitual e a quantidade de temas não foi problema maior, já que de acordo com eles, estudaram juntos para a apresentação. Os três alunos deste grupo demonstraram saber associar conceitos físicos aos fenômenos, inclusive com linguagem científica satisfatória, demonstrando também estarem em processo do domínio do campo conceitual sobre o qual repousa a ondulatória.

5.2 ANÁLISE GERAL APLICAÇÃO DA PROPOSTA

Através da descrição acima, a análise que se faz sobre a proposta é primeiramente positiva, de uma forma geral, pela a interação dos alunos, em suas falas e colocações, empenho e dedicação nas tarefas, expressando o desenvolvimento de conceitos e algumas das competências objetivadas.

Numa análise mais fortemente voltada para as potencialidades deste trabalho, no que se refere as contribuições para um melhor domínio do campo conceitual sobre o qual repousa a ondulatória, observa-se que os alunos foram capazes de dominar os conceitos no nível que foram apresentados. Isto fica mais claro nas falas, aula a aula, onde demonstraram compreensão sobre o tema, construindo os conceitos dentro daquilo que era esperado para a proposta.

Mesmo sem a apresentação do conteúdo formal, nas apresentações do sismógrafo, demonstram que a construção dos conceitos ocorreu de forma muito satisfatória, onde o interesse em aprender e o envolvimento dos alunos com o tema, proporcionados através da ferramenta pedagógica que se usou – a Pedagogia de Projetos, contribuiu de maneira primordial para que isto acontecesse.

E já com os conteúdos formalizados, nas apresentações dos seminários, os alunos puderam então melhorar ainda mais a construção dos conceitos sobre ondulatória e conseqüente melhor domínio do campo conceitual deste conteúdo.

Fazendo referência ao último parágrafo da página 11, o fato dos alunos serem instigados a conceitualizar, não significou estimular unicamente que os alunos explicitem ou formalizem os conceitos para que se demonstre uma possível aprendizagem, mas também visando o desenvolvimento do campo conceitual, desafiando os alunos e o conceito que possuem sobre o tema.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Discutiu-se no segundo capítulo o referencial teórico em ensino, apresentando as ideias das teorias e ferramentas pedagógicas que ajudaram na elaboração e aplicação desta proposta: A Teoria de Campos conceituais e a Pedagogia de Projetos.

A Teoria de Campos Conceituais, que constitui uma teoria de linha neoconstrutivista e de psicologia cognitivista, indicou o caminho da complexidade progressiva do conhecimento, visando e facilitando a compreensão do processo de conceitualização dos estudantes, através do desafio aos conceitos preestabelecidos. O principal ponto de apoio deste trabalho na Teoria de Campos Conceituais partiu da ideia que o domínio de um campo conceitual ocorre diante dos vários problemas propostos que, de diferentes formas desafiaram os alunos, fazendo com que estes pudessem buscar o entendimento de novas propriedades dentro de um conceito.

Sobre a Pedagogia de Projetos, o seu papel foi o de uma ferramenta indispensável que aliada a Teoria de Campos Conceituais, pretendia instigar os alunos a serem investigadores que

tenham prazer na descoberta e satisfação na aprendizagem, que aprendem enquanto produzem e questionam. O professor então além de mediador é principalmente aquele que proporciona os meios para o aluno encontre significado naquilo que está sendo ensinado.

Considerou-se necessário no terceiro capítulo a presença de uma revisão bibliográfica, sobre Geofísica, Sismologia, oscilações e ondas. Na parte que refere à Geofísica, foi explorada a formação do nosso planeta, assim como seus continentes e oceanos. A intenção foi primeiramente deixar à disposição do professor que fizer uso deste trabalho uma pesquisa nesta área tão importante para o entendimento dos abalos sísmicos. Segundo que principalmente a Aula 1 desta proposta se baseia no conhecimento acumulado e sistematizado deste capítulo; as demais aulas desta proposta também têm forte relação óbvia com o subitem sobre Sismologia.

O terceiro capítulo ainda traz todo um desenvolvimento das oscilações e ondas. Como este trabalho tem em sua proposta o ensino da ondulatória, explorou-se a ondulatória de uma perspectiva que visou oferecer, aos que futuramente fizerem uso deste trabalho, as bases das oscilações e ondas, facilitando o acesso e convidando os interessados que já estudaram ou não este assunto em nível acadêmico, ao aprofundamento matemática e conceitual, incluindo algumas demonstrações matemáticas.

A metodologia deste trabalho se encontra no quarto capítulo. Optou-se por uma proposta de natureza qualitativa, que implementou uma sequência didática para o ensino de ondulatória a partir da temática terremotos.

O público da proposta foram alunos do 2º ano do Ensino Médio, que participaram ativamente da proposta. O tempo que se teve de experiência com a turma anteriormente, mostrou que era necessário buscar o envolvimento dos alunos num nível em que eles aprendessem fazendo, que se encontrou no uso na junção entre Teoria de Campos Conceituais e Pedagogia de Projetos, proporcionando a efetivação desta proposta. Assim, no quinto capítulo, expomos os resultados e discussão da aplicação da sequência didática proposta.

Em cada uma das oito aulas descritas no quinto capítulo se pode observar nos resultados alcançados que esta proposta possui importante valor didático e constitui um trabalho de grandes potencialidades na construção dos conceitos e no desenvolvimento do campo conceitual sobre o qual repousa a ondulatória, inclusive em seu possível uso com adaptações, se assim alguém desejar.

Ao longo desses 8 encontros utilizadas na sequência didática foi possível perceber que a participação dos alunos superou qualquer outro momento anterior, tanto deste ano letivo quanto do anterior. Listar as possíveis causas para esta mudança implica primeiro numa reflexão

sobre a necessidade constante do planejamento das aulas, que certamente traz melhorias na educação dos alunos e na vida profissional cada professor que se dispuser a isto. A segunda reflexão que se faz aqui é a da necessidade da mudança no professor, que ao fazer da prática do planejamento uma estratégia para alcançar seus alunos, torna o seu trabalho em sala de aula eficiente e satisfatório. A terceira e última reflexão perpassa a necessidade de se buscar no aluno, de maneira direta ou indireta, quais são os seus interesses, indagações, o que os intriga, quais são os fenômenos que os fazem querer saber mais sobre a natureza e assim dar sentido aos saberes da Física na vida de cada indivíduo.

Utilizar a Pedagogia de Projetos como ferramenta no auxílio da construção ou melhora dos conceitos de certo campo conceitual dos alunos, permitiu dar alguns passos em direção à aprendizagem dos estudantes e isto se percebe, tanto das falas dos alunos descritas no quinto capítulo quanto na realização dos pequenos projetos propostos durante a aplicação da proposta. O que mais uma vez indica que o uso dessa proposta pode ser próspero no ensino da ondulatória assim como nas demais áreas da Física.

Os bons resultados alcançados não esgotam as possibilidades nem muito indicam que esta seja a única forma possível para o ensino de ondulatória. Sendo assim, a fim de contribuir e se acrescentar novas perspectivas e novos resultados, um leque de possibilidades continua aberto para que outras propostas sejam realizadas pelos interessados na área. Por exemplo, entende-se que aplicar esta proposta no 9º ano do Ensino Fundamental, quando se introduz a Física no currículo escolar, seja viável e perfeitamente possível. Outra possibilidade que podem alcançar bons resultados é usar este trabalho com o aporte da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, que indica a necessidade do uso de material potencialmente significativo para que aconteça a aprendizagem. Nesse sentido, a produção de uma Unidade Potencialmente Significativa (UPS).

REFERÊNCIAS

ANDRADE, F. R. D. **Terremotos e Tsunamis no Japão**. REVISTA USP, São Paulo, n.91, p. 16-29, setembro/novembro 2011.

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura, República Federativa do Brasil. **Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+)** – Ensino Médio. Brasília: MEC, 2006.

CALLISTER Jr, W. D.; RETHWISCH, D. G.; **Materials Science and Engineering: An Introduction**. 8ª ed. John Wiley & Sons, Inc., 2014.

D'AGRELLA FILHO, M. S.; **Física da Terra e do Universo para licenciatura em Geociências**. Disponível em <
http://www.iag.usp.br/~agg_1400200/moddata/GEOFISICA/apostila2-sismo.pdf> . Acesso em 01 de março de 2017.

DAMINELI, A.; DAMINELI, D. S. C.; **Origens da Vida. Estudos Avançados**, v.21, n.59, p. 263-284, São Paulo, 2007.

FERNANDES, E. **Esquemas de ação de Piaget**. Disponível em: <
<https://novaescola.org.br/conteudo/36/esquemas-de-acao-de-piaget>> . Acesso em 10 de janeiro de 2017.

FERRARO, N. G.; TORRES, C. M. A.; PENTEADO, P. C. M.; **Física**. Volume Único, 1 ed. Editora Moderna, 2012.

FLECK, Maria Luiza Steiner. **Pedagogia de Projetos**. Centro Universitário la Salle, Canoas, 2007.

GASPAR, Alberto. **Museus e centros de ciências – Conceituação e propostas de um referencial teórico**. Tese (doutorado na área de didática) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

GRINGS, E. T. O.; CABALLERO, C.; MOREIRA, M. A. Possíveis indicadores de invariantes operatórios apresentados por estudantes em conceitos da termodinâmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 4, p. 463-471, 2006.

GUEDES, J. D.; SOUZA, A. S.; SIDRIM, F. M. L.; LIMA, Q. F. O.; **Pedagogia de Projetos: Uma ferramenta para a Aprendizagem**. Id on Line Revista Multidisciplinar e de Psicologia. vol.10, n. 33, p. 237-256, 2017.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J.; **Fundamentos de Física**. Volume. 2. 8 ed. Editora LTC, 2009.

LÜDKE, M. & ANDRÉ, M. E. D. A.; **Pesquisa em educação: Abordagens Qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.

MACHADO, N. J. **Educação: projetos e valores**. São Paulo: Escrituras Editora, 2000
MAGINA, S. A. Teoria dos Campos Conceituais: contribuições da Psicologia para a prática docente In: **Encontro Regional De Professores De Matemática**, XVII, 2005, Universidade Estadual de Campinas. **Anais...** Campinas:2005. Disponível em <
http://www.ime.unicamp.br/erpm2005/anais/conf/conf_01.pdf> . Acesso em: 10 mar. 2017.

MASCIA, N. T.; **Tração, compressão e lei de Hooke**. Universidade Estadual de Campinas: Faculdade de engenharia civil, arquitetura e urbanismo. 2006.

MIRANDA, J.M.; LUIZ, F. J.; COSTA, P. T.; SANTOS, F. M. **Fundamentos de Geofísica**. Disponível em < http://w3.ualg.pt/~jluis/cap_4.pdf >. Acesso em 26 de jan. de 2017.

MOREIRA, M. A. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 7, n. 1, 2002. Disponível em: < <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/index> >. Acesso em 02 dez. 2016.

MOREIRA, M. A. O construtivismo de Vergnaud. In: **coletânea de breves Monografias sobre teorias de aprendizagem como subsídio para o professor pesquisador**. Porto Alegre: Ed. do Autor, 2016, p. 37- 42. Disponível em: < <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/Subsidios5.pdf> >. Acesso em 27 Fev. 2017.

MUNARI, A. **Jean Piaget**; tradução e organização: Daniele Saheb. Recife: Fundação Joaquim Nabuco, Editora Massangana, 2010.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica: Mecânica**. Volume 1. 4 ed. Edgard Blucher, 2002a.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor**. Volume 2. 4 ed. Edgard Blucher, 2002b.

OLIVEIRA FILHO, K. S.; SARAIVA, M. F. O. **Astronomia e Astrofísica**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2014.

PENA, F. L. A. A influência dos PCNs sobre a pesquisa em ensino de física: um estudo a partir de artigos publicados em periódicos nacionais especializados na área. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 7, 2009, Florianópolis, A influência dos PCN sobre a pesquisa em ensino de física: um estudo a partir de artigos publicados em periódicos nacionais especializados na área.

PICAZZIO, E. (org). **O céu que nos envolve: Introdução à astronomia para educadores e estudantes**. 1 ed. Odysseus, 2011.

PRADO, M. E. B. B.; Pedagogia de projetos: fundamentos e implicações. In: ALMEIDA, Maria Elizabeth Bianconcini de; MORAN, José Manuel (Org.). **Integração das tecnologias na educação. Brasília: Ministério da Educação/SEED/TV Escola/Salto para o Futuro**, 2005. cap. 1, artigo 1.1, p. 12-17. Disponível em: < <http://portal.mec.gov.br/seed/arquivos/pdf/1sf.pdf> > . Acesso em: 12 Mar. 2017.

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para entender a Terra**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

SECRETARIA Estadual de Educação. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio Noturno**. Subcoordenadoria de Ensino Médio. SEEC. Natal, 2009.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M. de; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F.; **Decifrando a Terra**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

VERGNAUD, G. La théorie des champs conceptuels. **Recherches en Didactique des Mathématiques**, v. 10, n. 23, p. 133-170, 1991.

VERGNAUD, G. The Theory of Conceptual Fields. **Human Development**. v. 52, n. 2, p.83-94, 2009.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A.; **Física II: Termodinâmica e Ondas**. 12 ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008.

_____. **Terremoto y tsunami de Valdivia: 22 DE MAYO DE 1960**.
Departamento Educativo, Museu Histórico Nacional do Chile.
http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2014/04/140402_cinco_maiores_terremotos_lgb

APÊNDICE A – A SEQUÊNCIA DIDÁTICA



MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENFINO DE FÍSICA

O ensino de ondulatória a partir da temática terremotos:
A proposta de uma sequência didática

Felipe Alexandre Medeiros Silva
Orientação: José Jamilton Rodrigues dos Santos

APRESENTAÇÃO

Diante de reformas educacionais em nosso país, professores e escolas tem se mobilizado no desenvolvimento de projetos pedagógicos e práticas educacionais. As experiências registradas em algumas dessas novas práticas tem superado ou complementado a didática tradicional.

Esta presente proposta está inserida no contexto destas práticas que pretendem, de acordo com as diversas realidades educacionais, buscar o desenvolvimento dos estudantes, para que sejam capazes de relacionar as várias áreas do saber em prol da qualidade de sua educação visando além da futura vida acadêmica, a formação do cidadão.

Esta proposta tem por objetivo fornecer aos professores de Física uma sequência didática, visando o ensino de ondulatória através da temática terremotos. No auxílio desta proposta, buscou-se na Teoria de Campos Conceituais, que é cognitivista e neoconstrutivista, as bases da conceitualização para que se pudesse agir em direção à aprendizagem. Ao mesmo tempo, fizemos uso da Pedagogia de Projetos como ferramenta para o desenvolvimento da sequência didática e em algumas de suas atividades propostas.

É importante destacar que esta sequência didática pode ser flexibilizada dependendo do propósito a ser atingido pelo professor que fizer uso e da realidade educacional. Por exemplo, optou-se por formalizar o conteúdo e conceitos em duas aulas específicas, porém é possível ao final de cada aula formalizar paulatinamente os conceitos, dependendo do objetivo pretendido. Contudo, recomenda-se a sequência em seus moldes pelos resultados obtidos e descritos neste trabalho.

1. Primeiro encontro

Tema: Geofísica: dos aspectos do planeta Terra ao episódio sísmico de João Câmara

Objetivos Específicos:

- conhecer e entender o processo de formação da Terra
- analisar o contexto do episódio sísmico de João Câmara

Total de Aulas: 2 horas-aula, total de 90 minutos.

Desenvolvimento:

Primeira parte (40 minutos): aos alunos será ministrada uma apresentação sobre os aspectos gerais da Geofísica partindo do Sistema Solar, chegando à formação do planeta Terra e suas camadas, incluindo um debate sobre os materiais que a formam e sua resistência, em especial a resistência das rochas da crosta. Nesse ponto da apresentação os alunos serão questionados sobre homogeneidade da crosta e suas possíveis falhas. Esse debate será prolongado até que se chegue no episódio de João Câmara.

Guiando-os até o famoso terremoto ocorrido no Rio Grande do Norte, irá se fazer o seguinte questionamento: como falhas da superfície da Terra podem ter causado um terremoto? Logicamente não se espera que os alunos tenham todas as repostas, mas como eles mesmos sugeriram o estudo do tema, certamente algum conhecimento sobre o ocorrido eles tem.

Segunda parte (10 minutos): os alunos serão levados ao contexto deste sismo primeiramente com o uso de um vídeo jornalístico de 6 minutos sobre o sismo (disponível em https://www.youtube.com/watch?v=s_Hn-jlltIc). O vídeo traz relatos de alguns moradores da cidade que viveram à época do sismo. Será dado espaço para os alunos expressarem suas opiniões e possíveis relatos do episódio que eles têm conhecimento.

Terceiro momento (25 minutos): como este vídeo não apresenta todos os detalhes deste episódio, as lacunas do mesmo serão preenchidas com o capítulo 3 do livro “o terremoto que mexeu com o Brasil”. Será disponibilizado aos alunos cópia do capítulo desse livro com o objetivo de que os mesmos façam uma leitura posterior e melhor se insiram historicamente no momento do terremoto.

Quarto momento (25 minutos): Momento em que os alunos irão socializar os detalhes que encontraram durante a leitura do capítulo do livro. No final dessa aula será delegada a tarefa a todos os alunos, unidos em grupos de 3 pessoas, produzirem a gravação de um vídeo e um

áudio, no formato de matéria jornalística, lembrando o episódio. Os áudios serão inseridos na programação da rádio da escola, que funciona durante o intervalo, e os vídeos serão entregues como atividade ao professor.

2. Segundo encontro

Tema: Razões dos sismos causarem tanta destruição

Objetivos Específicos:

- diferenciar e entender os modelos corpuscular e ondulatório da matéria
- desenvolver o conceito de onda e movimento vibratório
- Associar movimento vibratório a energia

Total de Aulas: 2 horas aula, total de 90 minutos.

Desenvolvimento:

Primeiro momento (30 minutos): Esta aula será iniciada por um vídeo (disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=zvrsL3mPTyk>), que mostra o momento exato de um sismo ocorrido recentemente no Nepal, no início de 2015, que atingiu 7,8 na escala Richter. O vídeo servirá de base para problematização inicial.

A partir da exibição do vídeo, que envolve um tremor e a queda de uma estrutura, será feita a seguinte pergunta: Qual o motivo dos sismos causarem tanta destruição? Existe a possibilidade de surgir alguma resposta envolvendo o conceito ou simplesmente a ideia de força. No momento em que as respostas se direcionarem por esse caminho, aos alunos serão feitos os questionamentos: Como surgem forças no interior da terra para que os abalos causem certa destruição? As camadas de rochas estão todas bem imóveis no interior da terra, ou é possível que elas se movam por alguma razão? Nesse sentido, caminha-se para o conceito ou simples ideia de energia, embora o conceito de energia elástica e potencial gravitacional envolvidas nos abalos não esteja tão bem estabelecido no campo conceitual dos alunos, espera-se que os mesmos cheguem exatamente na relação entre os abalos sísmicos e energia. Aqui, como os alunos foram instigados pelas perguntas da problematização inicial, o momento seguinte será destinado a exposição de quaisquer outras ideias que possuem sobre os terremotos. Espera-se chegar ao ponto onde os alunos consigam entender a causa primária (energia) do

porque a superfície terrestre pode chegar a tremer ou ser perturbada. Possivelmente cada aluno já deve ter um senso sobre este questionamento, mesmo que de maneira mais distante da realidade, ou mais próxima, em virtude dos mesmos já terem pesquisado acerca deste tema, assistido a outros vídeos e pensado um pouco mais sobre as causas.

Segundo momento (30 minutos): após este debate, um novo ciclo de pequenos problemas confrontarão os alunos. O primeiro problema será desenvolvido com uma corda presa a uma extremidade paralela ao plano do quadro branco, a fim de causarmos alguns pulsos na mesma e serem notadas as perturbações a partir de um ponto de equilíbrio da corda. Um dos alunos deve realizar o procedimento de perturbação da corda enquanto outros serão desafiados a notarem algumas características da perturbação na corda, como por exemplo, amplitude, comprimento de onda, uma ideia de frequência, mesmo que obviamente tais conceitos ainda não foram explorados formalmente. Aqui então, será introduzida a definição do conceito de onda como também serão informados que nenhuma onda transporta matéria, mas sim energia e transfere impulso.

Após algumas observações, mais um novo problema será apresentado: o que acontecerá com esses parâmetros caso o aluno que está provocando a perturbação na corda aumente a intensidade com que está agitando a corda? Possivelmente os alunos irão associar este impacto da corda na extremidade fixada com os tremores de terra. Agora amarraremos à corda um pedaço de tecido em cor que se destaque para que se promova o seguinte debate: A corda aparenta estar se movendo para frente, mas o fato é que o tecido preso à corda não aparenta se mover como a corda. Qual a razão disto? Os sismos são iguais?

Finalmente, no último problema desse segundo momento, uma mola grande com um peso preso a uma das suas extremidades também será fixada ao quadro de forma que um dos alunos também possa provocar oscilações no sistema massa-mola. Assim será questionado sobre a natureza do movimento da mola, se é semelhante a onda na corda ou não e em que outros materiais ou corpos é possível perceber movimentos semelhantes.

Dependendo das respostas e colocações, outro questionamento deverá ser feito: O tipo de onda gerada na corda é semelhante as ondas sísmicas?

Terceiro momento (30 minutos): explicita que as ondas primárias (chamadas de ondas p) com as da corda e a onda gerada na mola como semelhante as ondas secundárias (chamadas de ondas s) que decorrem dos abalos sísmicos. Voltaremos à situação da corda oscilante do primeiro momento na busca de associar o comportamento ondulatório a destruição dos sismos.

Ao final da aula uma problemática: Como é possível se proteger dos terremotos e por que é importante saber destas informações? Os alunos devem tentar relacionar o transporte de energia às destruições que os terremotos podem causar. A resposta para essa pergunta será organizada de forma que escreverão essa síntese em formato de folder, imaginando que esta produção textual servirá como material informativo, destinado aos demais alunos da escola, levando-os também a conhecer um pouco mais sobre o episódio de João Câmara e consequentemente sobre os terremotos, seus riscos e sua relação com a física.

3. Terceiro encontro

Tema: Identificando e medindo abalos sísmicos: estudando as características físicas gerais das ondas (velocidade, comprimento de onda e frequência)

Objetivos Específicos:

- Entender os parâmetros de uma onda
- Conhecer as medidas de magnitude de terremotos

Total de Aulas: 2 horas aula, total de 90 minutos.

Desenvolvimento:

Primeiro momento (40 minutos): Os alunos devem falar sobre como está o processo de confecção do folder. Como se trata de um dos problemas que eles deveriam tentar resolver, esse primeiro momento servirá para que os educandos sejam orientados na resposta dos problemas a serem solucionados no folder.

Segundo momento (30 minutos): O debate visando as orientações para o folder tem por objetivo iniciar outro debate: as medidas dos terremotos. Algo muito conhecido sobre os abalos sísmicos é a forma de medi-los e embora a escala Richter seja amplamente divulgada na mídia de uma maneira geral, não faz sentido, por exemplo, questionar os alunos sobre “como se mede a magnitude de um terremoto”, mas sim se eles sabem “como é possível saber se um terremoto foi forte?”. Após levarmos os alunos a lembrarem da escala Richter, deve-se fazer o seguinte questionamento: Existindo uma forma de medida, como é possível medir um terremoto mesmo não estando tão perto de onde ele aconteceu? Que instrumento é capaz de identificar e medir um abalo sísmico?

Mesmo não conhecendo o sismógrafo, aos alunos se apresentará a ideia geral de tal aparelho. E um problema será proposto: divididos em grupos com 4 ou 5 membros, eles ficarão

responsáveis em construir um aparelho que possa fazer tais medidas, que seria o sismógrafo de pendulo ou um sismógrafo de mola. Um relatório de construção do sismógrafo deverá ser apresentado no quarto encontro pelos grupos, expondo o resultado da construção e explorando possíveis formas de utilização do sismógrafo, as proximidades com os primeiros aparelhos historicamente construídos e as potencialidades e limitações das medidas feitas com o sismógrafo construído.

Terceiro momento (30 minutos): O debate que seguir de tais questionamentos, tem o objetivo de se chegar ao conceito de velocidade da onda sísmica na superfície. Nos remeteremos ao primeiro encontro sobre a breve exposição da natureza elástica e resistência dos materiais e então, questionar os alunos sobre as possíveis ondulações que uma onda sísmica pode causar na superfície, chegando a ideia de crista e vale, introduzindo o conceito de comprimento de onda e frequência.

4. Quarto encontro

Tema: Apresentação do Sismógrafo

Objetivos Específicos:

- Apresentar o sismógrafo e explica-lo fisicamente.

Total de Aulas: 2 horas aula, total de 90 minutos.

Desenvolvimento:

Neste encontro os alunos irão expor o resultado da proposta da construção de um sismógrafo de pendulo ou de mola e o relatório escrito deste projeto, explorando possíveis formas de utilização do sismógrafo, as proximidades com os primeiros aparelhos historicamente construídos e as potencialidades e limitações das medidas feitas com o sismógrafo construído.

O professor também irá construir os dois tipos de sismógrafos e expô-los a turma, explorando exatamente as potencialidades e limitações sugeridas aos alunos. Os pêndulos serão postos sobre uma superfície suscetível a oscilações. Para essa situação, a superfície de apoio será uma espuma acolchoada, o que permitirá induzirmos algumas perturbações possíveis de serem percebidas pelo pendulo. Os alunos serão questionados sobre o padrão formado no desenho e sua semelhança com o experimento da corda fixada do segundo encontro. Serão ainda

questionados como se dá a propagação das ondas sísmicas no interior da terra e como as ondas sísmicas, divididas em primárias (p) e secundárias (s), tem a capacidade de fazer os sismógrafos oscilarem e registrarem tais oscilações.

Os alunos então serão questionados sobre as propriedades elasticidades das rochas e solo. Sobre a possibilidade dos materiais que formam o solo serem elásticos, como a mola ou poderem oscilar como uma corda, ambos usados na problematização do segundo encontro.

Após todo os questionamentos, debates e explicações os alunos serão divididos em dois grupos. Um deles ficará responsável por um seminário. O tema do primeiro seminário será “os sismos terrestres e seus efeitos”; o outro grupo ficará responsável pelo tema “sismos no fundo do mar”.

5. Quinto encontro

Tema: A formalização dos conteúdos

Objetivo Específico:

- Formalizar o conteúdo sobre ondulatória

Conteúdos:

- modelo corpuscular da matéria e modelo ondulatório;
- perturbações e ondas;
- classificação das ondas quanto a sua natureza, vibração e dimensionalidade

Total de Aulas: 2 horas aula, total de 90 minutos.

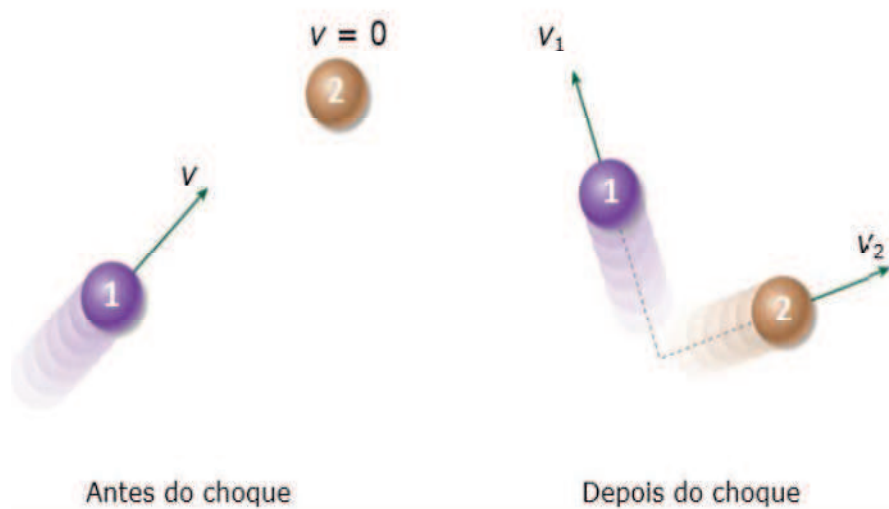
Desenvolvimento:

O quinto encontro será reservado à primeira parte da formalização do conteúdo, que nesse caso se refere ao estudo das ondas. A formalização contemplará os conteúdos citados acima.

Como o tempo deste encontro é insuficiente para a formalização dos conteúdos, mais dois tópicos de conteúdos ficarão para o sexto encontro, que constituirá a segunda parte da formalização.

Inicialmente propôs-se um debate sobre dois modelos usados para se explicar o comportamento da matéria: o modelo corpuscular e o modelo ondulatório. O debate deve ser iniciado com a exposição da imagem abaixo

Figura 513: modelo corpuscular de transferência de energia



Fonte: Ferraro et al, 2012. Adaptado.

Usando a situação proposta na Figura 53, deve-se introduzir a ideia de que antes do choque, apenas a bolinha 1 estava em movimento e após o choque ambas as bolinhas passam a estar em movimento. O fato deve ser descrito em função do modelo de transferência de energia para o modelo corpuscular, mas sem maiores detalhes inicialmente. O intuito deve ser o de tentar promover um debate sobre a energia transferida até que os alunos perguntem sobre situações semelhantes. Se preciso for, cabe também aqui ao professor guiar o debate com perguntas para que os alunos cheguem ao modelo ondulatório. Como nas aulas anteriores a relação entre as ondas sísmicas e energia deverá ser bastante debatido, as primeiras associações devem se apresentar sem muita demora, com perguntas ou afirmações sobre a relação entre movimento e energia.

Diante destas prováveis indagações, deve-se fazer referência ao segundo encontro, onde o experimento com uma corda fixa ao quadro foi realizado junto aos alunos e posteriormente ao experimento com a mola, também realizado na mesma aula. Aqui então, define-se o conceito de onda, solicitando exemplos onde é possível notar o comportamento ondulatório da matéria.

Dando o devido tempo para que quaisquer perguntas sejam feitas, é importante enunciar o Princípio da Complementaridade e reforçar o transporte de energia sem transporte de matéria. Uma pergunta como “as ondas sísmicas transportam matéria?” pode ser feita para melhorar a construção do conceito relativo ao transporte de energia.

Para o caso do assunto Óptica Geométrica ou Calor terem sido lecionados antes da ondulatória, a pergunta “luz necessitava de alguma partícula de matéria para conseguir ir do Sol à Terra?” pode ser usada para se caminhar nas definições. Em sequência, após as respostas

dadas, outra pergunta que deve ser feita é “as ondas sísmicas são semelhantes ao exemplo da luz?”. Tais perguntas irão servir tanto para a questão do transporte de energia quanto para introduzir a classificação quanto a natureza.

Seguindo para a classificação quando aos modos de vibração, indica-se fazer questionamentos sobre que diferenças existem nos movimentos ondulatórios até aqui estudados, como a corda paralela ao quadro, a mola e as ondas sísmicas. Fazer referência ao sismógrafo que, está previsto para ser apresentado na quarto encontro, deve ajudar na lembrança das ondas sísmicas e então perceberem intuitivamente as diferenças entre ondas transversais e longitudinais. Como se pretende ainda que os alunos conheçam as ondas mistas, a exemplificação das ondas R e ondas L são o exemplo a ser tomado.

Finalmente, para este encontro de formalização do conteúdo, deve-se chegar as ideias sobre classificação quanto à dimensionalidade. Dependendo de qual seja a realidade dos alunos, o conceito de 3D do cinema pode ser amplamente conhecido e facilmente entendido. As outras possibilidades podem ser as de explorar as três dimensões na construção civil, blocos sólidos, profundidade em imagens e etc.

6. Sexto encontro

Tema: A formalização dos conteúdos

Objetivos Específico:

- Formalizar o conteúdo sobre ondulatória

Conteúdos:

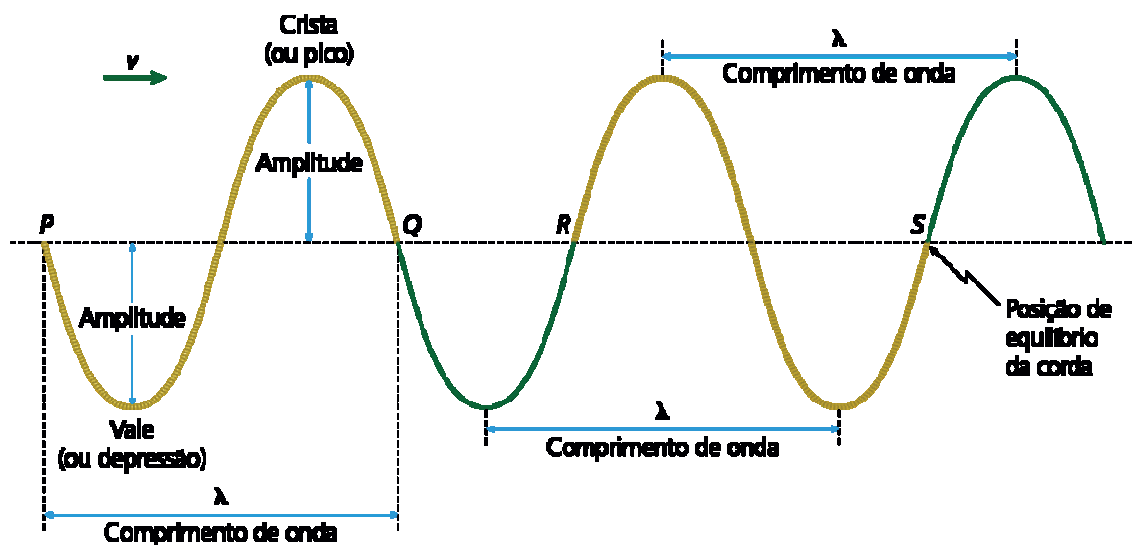
- características físicas gerais das ondas: velocidade, comprimento de onda e frequência, amplitude e período;
- Reflexão, refração, difração e polarização de ondas.

Total de Aulas: 2 horas aula, total de 90 minutos.

Desenvolvimento:

O sexto encontro será reservado à segunda parte da formalização do conteúdo relativo ao estudo das ondas.

Figura 524: Comprimento de onda e amplitude de uma onda.



Fonte: Ferraro et al, 2002.

A partir da Figura 54 abaixo, deve-se fazer uma breve exposição sobre os parâmetros descritos na imagem. Pretende-se com a imagem trazer a memória dos alunos tanto os registros que os sismógrafos realizam quanto dos experimentos com a corda e mola. Consequentemente, as relações com as ondas sísmicas irão surgir e cooperar na construção e/ou melhora dos conceitos prévios. É importante explorar tais parâmetros, usando como exemplo também as ondas R e L, para que os alunos compreendam bem que, por exemplo, a amplitude pode também ocorrer no plano do chão e não somente como no plano da projeção da Figura no quadro. Como os episódios sísmicos são o plano de fundo para as várias situações propostas na abordagem desta sequência, a associação dos parâmetros da onda (amplitude, comprimento, período frequência e velocidade) possuem forte potencialidade.

Sobre tais parâmetros, a frequência provavelmente é a melhor opção para se iniciar a definição. Perguntas como “o que significa dizer que vocês vêm frequentemente à escola?” ou ainda “o que significa dizer que frequentemente ocorrem terremotos no Rio Grande do Norte?” podem ser boas opções de exemplos introdutórios. Como o conceito de oscilação provavelmente já estará estabelecido pelos alunos, entender seu significado, usando a Figura 54 possivelmente não será difícil. Assim como em seguida, definir o termo período e fazer sua devida correlação com a frequência. Mais adiante, o conceito de frequência será importante para o debate sobre ressonância.

Para se conseguir conceitualizar a velocidade das ondas, retomemos o foco dos terremotos. Iniciar com a lembrança da equação de velocidade média é um bom caminho. Como o comprimento de onda e frequência já estão debatidos, pode-se fazer uma prova matemática

simples e então seguir com a pergunta “por que as ondas p são percebidas primeiro que as ondas s num sismógrafo? ”. A associação mais uma vez será facilitada pela abordagem com ondas sísmicas e ainda pela definição matemática de velocidade sugerida acima.

Para que os conceitos possam ser devidamente relacionados pelos alunos, em sequência a pergunta acima, pode-se ainda citar o fato de que embora as ondas p sejam as primeiras a chegar, as ondas s são mais destrutivas por terem maior amplitude e levar este questionamento aos alunos. Espera-se uma associação entre amplitude e energia.

Com o objetivo de se prosseguir para alguns fenômenos, como reflexão, refração, difração e polarização das ondas, foram feitos alguns questionamentos usando também os fenômenos relativos aos terremotos e fazendo as analogias possíveis. Para o fenômeno da reflexão, os debates sobre a detecção de ondas sísmicas em localidades distantes no globo terrestre. Como no primeiro e quarto encontros alguns conceitos sobre ondas sísmicas no interior da Terra foram debatidos, os questionamentos seguem essa linha de pensamento, até que com esses questionamentos os alunos possam ser capazes de reconhecer o fenômeno de reflexão também nas ondas. Do mesmo debate sobre as camadas no interior da Terra, segue-se para falar sobre refração, que deve ser mais fácil de se construir no campo conceitual do aluno, pois envolve o conceito de velocidade.

Com relação à difração, sabe-se que ondas p , que são longitudinais, sofrem refração ao passar da superfície da Terra para a atmosfera, transformando-se em ondas sonoras. Provavelmente esta afirmativa, usando a onda sísmica p irá gerar sucessivas perguntas, porém é ainda possível mediar este conceito, afirmando as características de contorno de obstáculos das ondas sonoras.

O último fenômeno, a ressonância, pode ser construído primeiramente com questionamentos do tipo “por que prédios, casas, pontes e algumas das demais estruturas físicas de uma localidade podem ser destruídas pelos abalos sísmicos?” complementadas pelo debate sobre algumas estruturas serem afetadas que outras. Um debate muito amplo pode ser feito aqui com ajuda de diapasões, ou instrumentos musicais de corda, que geralmente possuem certa facilidade em ressonar.

Por fim, dois grupos serão formados para as apresentações dos seminários, fechando os encontros dessa sequência como último projeto. O tema do primeiro seminário será “os sismos terrestres e seus efeitos”; o outro grupo ficará responsável pelo tema “sismos no fundo do mar e seus efeitos”. Cada grupo foi orientado a envolver o máximo possível de explicações físicas que aprenderam durante os vários encontros.

7. Sétimo encontro

Tema: As orientações dos seminários

Objetivos Específicos:

- reconhecer os conceitos físicos debatidos anteriormente nos abalos sísmicos
- argumentar e combinar os conhecimentos até aqui adquiridos para a explicação dos temas propostos

Total de Aulas: 2 horas aula, total de 90 minutos.

Desenvolvimento:

Primeiro momento (90 minutos): esse encontro será caracterizado pelo momento em que os grupos serão levados a mostrarem o resultado de suas pesquisas referentes a tarefa proposta no quarto encontro, mas não ainda os expôs para a turma. Eles mostrarão o que pretendem apresentar no seminário somente ao professor, que fará alguns questionamentos somente ao grupo, afim de orientar sobre possíveis melhorias. Cada grupo será atendido em 45 minutos, para que ao professor seja exposto a proposta de apresentação dos seminários. Feitas as devidas sugestões de ajustes às apresentações, ambos os grupos apresentação seus seminários no encontro posterior para a toda a turma.

8. Oitavo encontro

Tema: As apresentações dos seminários

Objetivo Específicos:

- reconhecer os conceitos físicos debatidos anteriormente nos abalos sísmicos
- argumentar e combinar os conhecimentos até aqui adquiridos para a explicação dos temas propostos

Total de Aulas: 2 horas aula, total de 90 minutos.

Desenvolvimento:

Primeiro momento (30 minutos): o primeiro grupo, responsável pelo tema “os sismos terrestres e seus efeitos”, fará sua apresentação.

Segundo momento (15 minutos): momento reservado ao final da primeira apresentação, o professor tecerá alguns comentários e questionamentos, objetivando que os demais alunos ouvintes de cada seminário e eventualmente os alunos ministradores do seminário irão fazer perguntas ao professor, que agirá de maneira que os conceitos até aqui aprendidos sejam aplicados na resolução do problema proposto no tema.

Terceiro momento (30 minutos): o segundo grupo, responsável pelo tema “sismos no fundo do mar” fará sua apresentação.

Quarto momento (15 minutos): momento reservado ao final da segunda apresentação, o professor fará novamente alguns comentários e questionamentos, mais uma vez, objetivando que os demais alunos ouvintes de cada seminário e eventualmente os alunos ministradores do seminário façam perguntas, que agirá de maneira que os conceitos aprendidos até este momento sejam aplicados na resolução do problema proposto no tema.