



Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física
Sociedade Brasileira de Física
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense

Adriana Barreto de Oliveira Siqueira

**FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA: INTERVENÇÃO
DIDÁTICA POR MEIO DE UNIDADES DE ENSINO
POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS (UEPS) NO ENSINO MÉDIO**

Campos dos Goytacazes/RJ

2017, 2



Adriana Barreto de Oliveira Siqueira

FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA: INTERVENÇÃO DIDÁTICA POR MEIO
DE UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS (UEPS) NO
ENSINO MÉDIO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Dra. Renata Lacerda Caldas

Campos dos Goytacazes/RJ

2017, 2

Biblioteca Anton Dakitsch
CIP - Catalogação na Publicação

S618f Siqueira, Adriana Barreto de Oliveira
Física Moderna e Contemporânea: intervenção didática por meio de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) no Ensino Médio / Adriana Barreto de Oliveira Siqueira - 2017.
263 f.: il. color.

Orientadora: Renata Lacerda Caldas

Dissertação (mestrado) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campus Campos Centro, Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Campos dos Goytacazes, RJ, 2017.
Referências: f. 129 a 135.

1. Física Moderna e Contemporânea. 2. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas. 3. Ensino de Física. 4. Cosmologia. 5. Radioatividade. I. Caldas, Renata Lacerda, orient. II. Título.

FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA: INTERVENÇÃO DIDÁTICA POR MEIO
DE UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS (UEPS) NO
ENSINO MÉDIO

Adriana Barreto de Oliveira Siqueira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 31 de agosto de 2017.

Banca Examinadora:

Dra. Renata Lacerda Caldas
Orientadora e Presidente da Banca Examinadora
IF Fluminense

Dra. Maria Priscila Pessanha de Castro
Membro Interno
UENF

Dr. Pierre Schwartz Augé
Membro Interno
IF Fluminense

Dr. Márlon Caetano Ramos Pessanha
Membro Externo
UFSCAR

DEDICATÓRIA

Dedico esta pesquisa aos professores de Física do Ensino Médio, que apesar de todas as circunstâncias adversas, persistem no ensino desta disciplina, buscando insistentemente novas metodologias de ensino para que os alunos aprendam e tenham o mesmo entusiasmo pela Física.

AGRADECIMENTOS

À Deus, Criador e sustentador do Universo que foi e sempre será eternamente fiel, cumprindo todas as promessas na minha vida.

À Leandro, meu esposo, e aos meus filhos: Maria, Eloah e Isaque que estiveram sempre comigo, até mesmo nas aulas.

À SBF, MNPEF e ao IF Fluminense, que proporcionaram o mestrado na nossa região, contribuindo diretamente para o meu desenvolvimento acadêmico.

À professora e orientadora Renata Lacerda, pela dedicação ao polo MNPEF, do qual é coordenadora, por sua grande colaboração no planejamento, execução e escrita desta pesquisa, pela confiança que depositou em mim (não me deixando desistir), pela paciência sem limites..., minha profunda admiração e gratidão.

Aos professores do programa, por todo o conhecimento e experiência transmitidos nas disciplinas e pela compreensão que tiveram comigo nos dois períodos de maternidade que passei durante o curso.

Aos colegas de turma que foram muito atenciosos e cuidadosos comigo.

À Aline Oliveira, Aline Marcelino e Raquel Sarlo pela grande colaboração, minha gratidão.

Aos funcionários e alunos do Colégio Estadual José do Patrocínio que me receberam tão bem como profissional e que contribuíram para que a pesquisa fosse realizada na escola.

Aos professores participantes da pesquisa meus sinceros agradecimentos pelos comentários e sugestões que enriqueceram de maneira tão expressiva este trabalho.

À Capes pelo apoio financeiro.

RESUMO

FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA: INTERVENÇÃO DIDÁTICA POR MEIO DE UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS (UEPS) NO ENSINO MÉDIO

Adriana Barreto de Oliveira Siqueira

Orientadora: Dra. Renata Lacerda Caldas

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

A presente pesquisa investigou as potencialidades das UEPS para a facilitação do ensino de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) em nível médio. Privilegiando uma abordagem qualitativa, o trabalho se apoiou no referencial teórico da epistemologia da prática docente, no modelo de ensino de Gowin e nos princípios da teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel que servem de base para a elaboração de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS). Todo o estudo resultou na elaboração de um Produto Educacional, constituído pelas UEPS elaboradas sobre os temas Cosmologia e Radioatividade. Foram utilizados como instrumentos para coleta de dados, questionário *on line* para sondagem inicial, entrevista, questionário aplicado a professores de Física e atividades utilizadas nas UEPS. As unidades foram aplicadas pela autora em duas turmas (1º e 2º anos) do Ensino Médio do Colégio Estadual José do Patrocínio, Campos dos Goytacazes, RJ, e avaliadas por quatro professores. Os resultados da aplicação das UEPS mostraram fortes indícios de boa receptividade dos alunos promovendo uma predisposição para aprender os conteúdos de Física, condição que favorece a aprendizagem significativa, segundo Ausubel. A avaliação por parte dos professores foi bastante positiva, os quais destacaram a importância de um material que contenha planejamento, atividades e instruções de execução, fatores que encorajam a sua utilização. Neste aspecto, constata-se que o material pode ser considerado um material potencialmente significativo que vem corroborar com o modelo de ensino de Gowin, o qual afirma que há uma relação triádica entre materiais de ensino, professor e aluno cujo objetivo é compartilhamento de significados. Como o material produzido nesta pesquisa (UEPS elaboradas) foi aplicado com êxito em sala de aula pela pesquisadora, pode-se afirmar seu potencial de exequibilidade e relevância.

Palavras-chave: Ensino de Física, Física Moderna e Contemporânea, Unidades de Ensino Potencialmente Significativas, Cosmologia, Radioatividade

ABSTRACT

MODERN AND CONTEMPORARY PHYSICS: DIDACTIC INTERVENTION THROUGH POTENTIALLY SIGNIFICANT TEACHING UNITS (LIFO) IN MIDDLE SCHOOL

Adriana Barreto de Oliveira Siqueira

Orientadora: Dra. Renata Lacerda Caldas

Master's dissertation presented to the Program of Graduate Studies at the Federal Institute of Education, Science and Technology Fluminense, in the Course of Professional Master of Physical Education (MNPEF) as part of the requirements for obtaining the Master's degree in Physical Education.

The present research investigated the potentialities of the LIFOs for the facilitation of the teaching of Modern and Contemporary Physics (FMC) content at the intermediate level. Privileging a qualitative approach, the work was based on the theoretical reference of the epistemology of teaching practice, the Gowin teaching model and the principles of Ausubel's Significant Learning theory that are a part of the base of elaboration of Potentially Significant Teaching Units. All the study resulted in the elaboration of an Educational Product, constituted by the UEPS elaborated in the themes Cosmology and Radioactivity. On-line questionnaire for initial probing, on interview, questionnaire applied to physics teachers and activities used in LIFOs were used as data collection instruments. The units were applied by the author in her first and second year classes at the José do Patrocínio State School, Campos dos Goytacazes, RJ, and evaluated by four teachers. The results of the application of the UEPS showed strong evidence of good receptivity of the students promoting a predisposition to learn the contents of Physics, a condition that favors meaningful learning, according to Ausubel. The evaluation by the teachers was very positive, which highlighted the importance of a material that contains planning, activities and instructions for execution, factors that encourage its use. In this respect, it can be seen that the material can be considered a potentially significant material that corroborates with the Gowin teaching model, which affirms that there is a triadic relationship between teaching materials, teacher and student whose goal is to share meanings. As the material produced in this research (elaborated LIFOs) was successfully applied in the classroom by the researcher, one can affirm its potential for feasibility and relevance

Keywords: Physics education, Modern and Contemporary Physics, Potentially Significant Teaching Units.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama Vê de Gowin sobre a presente pesquisa.....	18
Figura 2 - Modelo de Ensino de Gowin.....	27
Figura 3 - Modelo geocêntrico de Ptolomeu.....	33
Figura 4 - Modelo de Copérnico.....	34
Figura 5 - Uma elipse.....	36
Figura 6 - Lei das áreas de Kepler.....	37
Figura 7 - Força gravitacional.....	38
Figura 8 - Estações do ano.....	39
Figura 9 - Fases da Lua.....	41
Figura 10 - Período sideral da Lua.....	43
Figura 11 - Dia lunar.....	43
Figura 12 - Rotação da Lua.....	44
Figura 13 - Decaimento alfa.....	53
Figura 14 - Decaimento beta.....	54
Figura 15 - Fusão Nuclear.....	55
Figura 16 - Energia de fusão do Sol.....	55
Figura 17 - Supernova.....	56
Figura 18 - Fissão nuclear.....	57
Figura 19 - Operação de uma usina de energia nuclear.....	59
Figura 20 - Raios Cósmicos.....	61
Figura 21 - Estrutura básica da UEPS Cosmologia.....	70
Figura 22 - Materiais para a confecção do universo-caixa.....	71
Figura 23 - Kit para simulação dos movimentos do Sol, Terra e Lua.....	72
Figura 24 - <i>Print screen</i> da tela do vídeo Astronomia.....	72
Figura 25 - <i>Print screen</i> da tela do vídeo Heliocentrismo.....	73
Figura 26 - <i>Print screen</i> da tela do vídeo Fases da Lua.....	73
Figura 27 - Estrutura básica da UEPS Radioatividade.....	75
Figura 28 - <i>Print screen</i> da tela do vídeo Radioatividade – um organizador prévio.....	77
Figura 29 - <i>Print screen</i> da tela do vídeo Descoberta da radioatividade.....	78
Figura 30 - <i>Print screen</i> da tela do vídeo Pontociência – alfa e beta: dois tipos de radiação.....	78
Figura 31 - <i>Print screen</i> da tela do vídeo Pontociência – o experimento de Becquerel.....	79
Figura 32 - <i>Print screen</i> da tela do simulador Decaimento Alfa.....	79
Figura 33 - <i>Print screen</i> da tela do simulador Decaimento Beta.....	80
Figura 34 - <i>Print screen</i> da tela do simulador Fissão Nuclear.....	80
Figura 35 - <i>Print screen</i> da tela do vídeo Método de datação por carbono 14.....	81
Figura 36 - “Universo-caixa” do grupo 1.....	85
Figura 37 - "Universo-caixa" do grupo 2.....	86
Figura 38 - “Universo-caixa” do grupo 3.....	86
Figura 39 - “Universo-caixa” do grupo 4.....	86
Figura 40 - "Universo-caixa" do grupo 5.....	87
Figura 41 - Alunos realizando a simulação dos movimentos.....	87
Figura 42 - Mapa conceitual realizado pelo grupo 1.....	92
Figura 43 - Mapa conceitual realizado pelo grupo 2.....	93
Figura 44 - Mapa conceitual realizado pelo grupo 3.....	93
Figura 45 - Mapa livre elaborado pelo grupo 1.....	95
Figura 46 - Mapa livre elaborado pelo grupo 2.....	96
Figura 47 - Mapa livre elaborado pelo grupo 3.....	96
Figura 48 - Mapa livre elaborado pelo grupo 4.....	96
Figura 49 - Linha do tempo elaborada pelo grupo 1.....	100

Figura 50 - Linha do tempo elaborada pelo grupo 2.....	100
Figura 51 - Mapa Conceitual construído pelo grupo 1.....	103
Figura 52 - Mapa Conceitual construído pelo grupo 2.....	103
Figura 53 - Mapa Conceitual construído pelo grupo 3.....	104
Figura 54 - Mapa Conceitual construído pelo grupo 4.....	104
Figura 55 - Mapa Conceitual construído pelo grupo 5.....	105
Figura 56 - Mapa Conceitual construído pelo grupo 6.....	105
Figura 57 - Mapa Conceitual construído pelo grupo 7.....	106

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Pesquisas que utilizaram UEPS no ensino de física.....	22
Quadro 2 - Resumo dos trabalhos relevantes para a presente dissertação.	24
Quadro 3 - Comparação de diversas dimensões.....	45
Quadro 4 - Categorias de respostas dos alunos às questões do estudo de caso.....	84
Quadro 5 - Se o Sol está parado, como o vemos realizar um movimento no céu?.....	89
Quadro 6 - Se existem outras galáxias, todas elas têm como centro o Sol?.....	89
Quadro 7 - Se o Universo tiver um fim, o que existe além desse limite?	90
Quadro 8 - As galáxias estão realmente se afastando umas das outras,.....	90
Quadro 9 - Tópicos marcantes do ensino da FMC na universidade.	115
Quadro 10 - Pontos positivos e negativos sobre a inserção da FMC no currículo do EM.....	116

LISTA DE TABELA

Tabela 1- Respostas dos alunos às perguntas das situações-problema.	99
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Abordagem dos tópicos de FMC nas aulas de Física.....	68
Gráfico 2 - Percentual de alunos que gostariam de ter mais conhecimento de FMC.	68
Gráfico 3 - Cientistas mais citados nas aulas de Física.....	69
Gráfico 4 - Estratégias e Recursos didáticos utilizados nas aulas de Física.	69
Gráfico 5 - Número de alunos correspondente às categorias.	84
Gráfico 6 - Média da avaliação dos alunos sobre os subtópicos estudados.	107
Gráfico 7 - Estratégias e recursos de ensino com os quais os alunos mais se identificaram.	108
Gráfico 8 - Princípios da TAS considerados pelos professores em suas aulas.	120

LISTA DE SIGLAS

FMC – Física Moderna e Contemporânea
UEPS – Unidades de Ensino Potencialmente Significativas
EM – Ensino Médio
MNPEF – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física
TAS – Teoria da Aprendizagem Significativa
LDB – Lei de Diretrizes e Bases da Educação
PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais
FC – Física Clássica
PNLDEM – Plano Nacional do Livro Didático do Ensino Médio
SEEDUC – Secretaria de Estado de Educação
BDTD – Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFES – Universidade Federal do Espírito Santo
UFSCAR – Universidade Federal de São Carlos
UFABC – Universidade Federal do ABC
UFMS – Universidade Federal de Santa Maria
UNB – Universidade de Brasília
UEL – Universidade Estadual de Londrina
UFG – Universidade Federal de Goiás
UCS – Universidade de Caxias do Sul
UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UENF – Universidade Estadual do Norte Fluminense
PIBID – Programa de Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência
IF FLUMINENSE – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Trabalhos relacionados.....	19
2.1.1 Física Moderna e Contemporânea (FMC).....	19
2.1.2 Unidades de Ensino Potencialmente Significativas.....	22
2.2 Fundamentação Teórica.....	25
2.2.1 Epistemologia da prática docente.....	26
2.2.2 Modelo de Ensino de Gowin.....	27
2.2.3 Conhecimentos prévios, organizadores prévios, diferenciação progressiva e reconciliação integradora.....	29
2.2.4 Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS).....	30
2.3 Conteúdos de Física das UEPS.....	32
2.3.1 Cosmologia.....	32
3 METODOLOGIA	62
3.1 A Pesquisa.....	62
3.2 Sujeitos.....	62
3.3 Instrumentos e análise dos dados.....	63
4 DESCRIÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	65
4.1 Conteúdos abordados.....	65
4.1.1 Cosmologia.....	65
4.1.2 Radioatividade.....	66
4.2 Contexto da aplicação das UEPS.....	67
4.3 Relato descritivo da implementação das UEPS.....	70
4.3.1 UEPS Cosmologia.....	70
4.3.2 UEPS Radioatividade.....	75
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	83
5.1 Desenvolvimento e implementação das UEPS em sala de aula e sua análise.....	83
5.1.1 UEPS sobre Cosmologia.....	83
5.1.2 UEPS sobre Radioatividade.....	95
5.2 Levantamento e análise sobre o ensino de FMC no âmbito da pesquisa.....	109
5.2.1 Caracterização dos participantes.....	109
5.2.2 Definição das categorias de respostas à entrevista.....	113
5.2.3 Análise das respostas com base nos trabalhos de Maurice Tardif.....	117
6 CONCLUSÃO	125
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127
APÊNDICE A – Questionário <i>on line</i> aplicado aos alunos	135
APÊNDICE B – Entrevista com os professores de Física	136
APÊNDICE C – UEPS Cosmologia	138
APÊNDICE D – UEPS Radioatividade	141
APÊNDICE E – Questionário avaliativo das UEPS pelos professores	145
APÊNDICE F– Estudo de caso: Origem do universo	147
APÊNDICE G – Lista de exercícios	148
APÊNDICE H– Avaliação de Cosmologia	149
APÊNDICE I – Estudo de caso: Radioatividade	150
APÊNDICE J – Questionário sobre o vídeo “Radioatividade, um organizador prévio”	151
APÊNDICE K – Lista de exercícios	152
APÊNDICE L– Avaliação de Radioatividade	153
APÊNDICE M – Questionário de avaliação da UEPS pelos alunos	154

APÊNDICE N – Produto Educacional..... 155

1 INTRODUÇÃO

As competências específicas para o indivíduo obter o conhecimento científico relacionado à compreensão de fenômenos naturais e tecnológicos podem ser adquiridas no âmbito do estudo da Física Moderna. Esta afirmação tem se tornado um consenso em pesquisas sobre a inserção de conteúdos mais atuais da Física no nível médio de ensino como pretende-se apresentar. Fenômenos presentes no cotidiano, no comportamento de partículas e também do universo são explicados a partir de princípios, leis e modelos construídos cientificamente.

A construção de uma visão da Física voltada para o indivíduo que vive imerso às tecnologias e que seja capaz de relacionar o conteúdo estudado na sala de aula com sua vivência é prerrogativa das diretrizes apresentadas nos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (BRASIL, 2002, p. 59). Para isso, alguns autores vêm apontando a necessidade de se incluírem tópicos da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no currículo de Física do Ensino Médio (OSTERMANN; MOREIRA, 2001; OSTERMANN; MOREIRA, 2000; OFUGI; PIETROCOLA, 2000; PEREIRA; OSTERMANN, 2009; TERRAZZAN, 1992).

Trabalhos têm sido desenvolvidos (ARAÚJO; ABIB, 2003; CANATO JUNIOR, 2003; MARQUES; CALUZI, 2005; SILVA, 2012) com o objetivo de auxiliar professores no ensino da FMC, por meio de diferentes enfoques e estratégias como: história da ciência, experimentação e tecnologias. Por exemplo, Ostermann (1998) elaborou um texto dirigido ao professor de Ensino Médio, o qual inclui um breve histórico do desenvolvimento de tópicos da FMC como *átomo, descobertas do início do século XX, leis de conservação, interações fundamentais, modelo padrão atual, partículas elementares*, finalizado com exercícios e sugestões de atividades.

É visível o empenho de pesquisadores na área de Ensino de Física em tornar mais eficaz a abordagem da FMC em nível médio. Entretanto, foi observado por Aline D'Agostin (2008) em pesquisa de mestrado, que investigou como os professores de Física respondem à solicitação dos documentos oficiais e da Secretaria de Educação sobre o ensino dos conteúdos de FMC no Ensino Médio (EM), que a física ensinada na maioria das instituições desse nível de escolaridade se resume a Física Clássica. Fatores como a insegurança para ensinar conteúdos de FMC devido a falta de conhecimento apontam para a realidade de uma formação inadequada tanto nos cursos de Licenciatura quanto nas oportunidades de formação continuada.

Na perspectiva de se capacitar professores de física, o Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) tem como um dos objetivos, “a melhoria da qualificação profissional de professores de Física em exercício na Educação Básica visando tanto ao desempenho do professor no exercício de sua profissão como ao desenvolvimento de técnicas e produtos para a aprendizagem de Física” (SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA, 2015, p. 1).

Novas abordagens de ensino também têm surgido na tentativa de minimizar as dificuldades dos professores e despertar maior interesse dos alunos para o estudo da física de forma geral. Dentre elas destacam-se as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), sequências didáticas elaboradas com base na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de David Ausubel (MOREIRA, 2011, p. 43), a qual têm se demonstrado eficiente também na abordagem da FMC em nível médio (SCHITTLER; MOREIRA, 2014, p. 265).

Diante desse quadro se apoiou a questão central da presente pesquisa de mestrado: **Em que medida uma intervenção didática sobre temas da FMC, por meio de unidades de ensino potencialmente significativas (UEPS) possui relevância para o ensino de Física em nível médio?**

O questionamento acima constitui a base para a hipótese de que a utilização de UEPS no estudo da FMC em nível médio poderá facilitar o ensino do professor, bem como ajudá-lo a desmistificar o pensamento de incapacidade didática para abordar a FMC nesse nível. Neste sentido a pesquisa ora desenvolvida privilegia o ensino, os saberes docentes e a prática docente como pontuado por Tardif (2002, p. 255), ao enfatizar ser a epistemologia da prática docente “o estudo do conjunto dos saberes utilizados realmente pelos profissionais em seu espaço de trabalho cotidiano para desempenhar todas as suas tarefas”.

O objetivo geral se encerra na investigação das potencialidades das UEPS para a facilitação do ensino de conteúdos de FMC em nível médio. Mais especificamente, objetivou-se elaborar um produto educacional constituído por duas UEPS para o estudo dos temas Cosmologia e Radioatividade e analisar os resultados da sua aplicação, assim como sua potencialidade na perspectiva de outros professores de física.

Já os objetivos específicos são (i) Desenvolver e analisar a implementação das UEPS do ponto de vista da professora pesquisadora, e (ii) analisar a percepção de outros professores, não sobre os resultados de implementação, mas das UEPS elaboradas.

Na composição das UEPS de Cosmologia (Apêndice D) e de Radioatividade (Apêndice E) se valeu de estratégias diferenciadas como textos, vídeos, experimentos,

simulações computacionais, mapas conceituais, para auxiliar o docente na exposição dos temas em sala de aula.

O produto educacional (Apêndice N) como um todo foi pensado e elaborado com foco no compartilhamento de significados, proposto na relação triádica professor-material educativo-aluno da Teoria de Gowin (1981), a qual defende que em uma situação de ensino, o professor, utilizando materiais educativos do currículo, atua de maneira intencional para mudar significados da experiência do aluno (GOWIN 1981 *apud* MOREIRA, 2008, p. 7).

Desta forma, além do modelo de ensino proposto na Teoria de Gowin, o referencial teórico que norteou a pesquisa se apoia na discussão dos Saberes Docentes elencados pela Epistemologia da Prática Docente e nos princípios da TAS presentes na elaboração das UEPS. Serviram de ponto de partida para as reflexões do trabalho, as principais pesquisas que tratam do ensino de temas da FMC e trabalhos relacionados às UEPS como material de ensino. No segundo capítulo dessa dissertação será dado destaque a cada um desses tópicos.

O capítulo três apresenta a metodologia da pesquisa qualitativa na visão de Moreira (2009, p. 22), cuja análise está centrada na participação dos sujeitos, na observação comportamental e nas concepções interpretativas. Os instrumentos de avaliação, questionários e entrevistas, considerarão as impressões dos professores em sua análise do produto educacional.

No capítulo quatro encontram-se os relatos da implementação das UEPS que compõem o produto educacional.

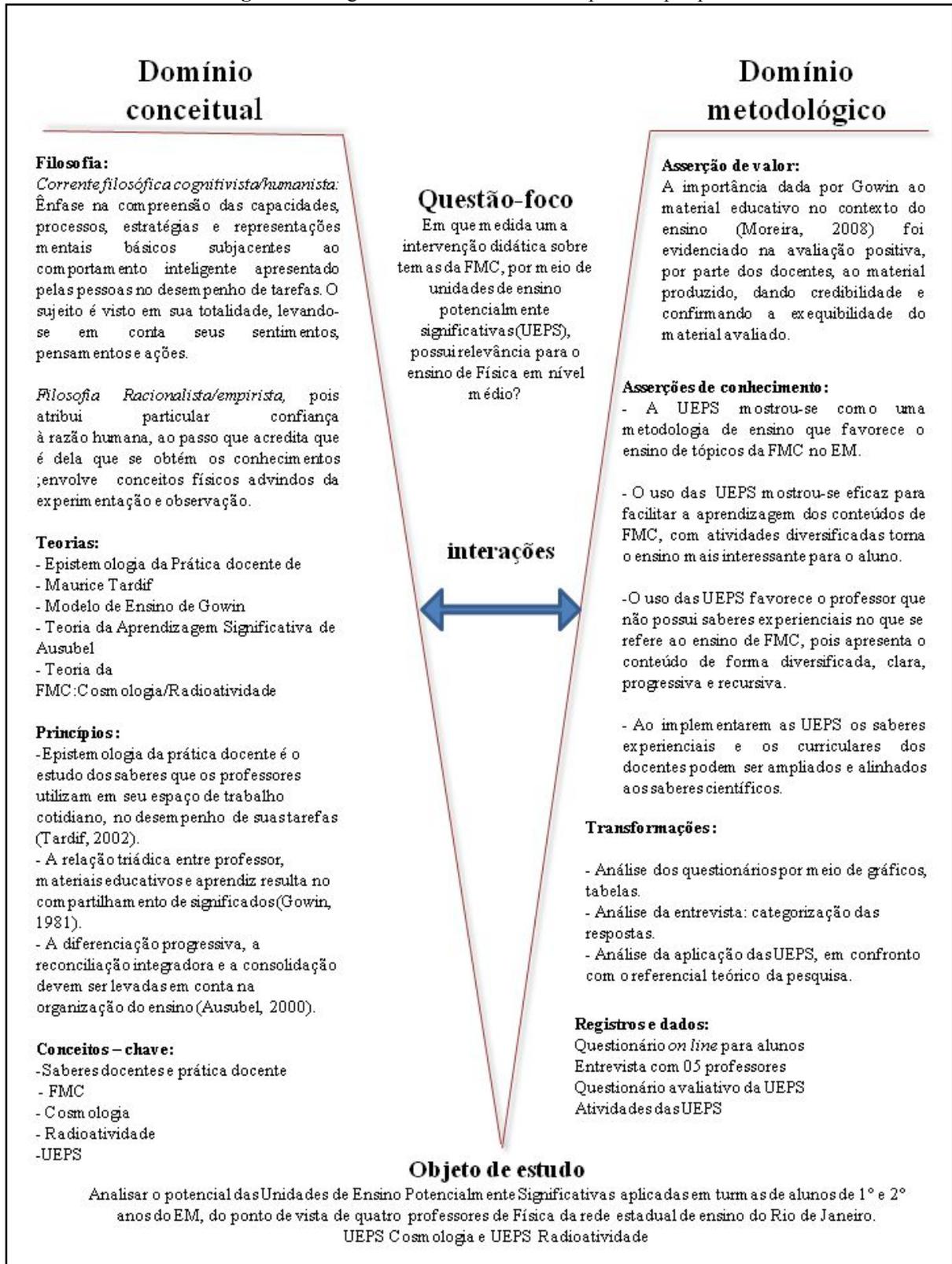
Resultados serão apresentados e discutidos no capítulo cinco e no último capítulo serão apresentadas as conclusões do presente trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta o levantamento bibliográfico de trabalhos sobre o ensino da FMC em nível médio, com destaque para a Cosmologia e a Radioatividade, e a utilização das UEPS no ensino de Física. Apresenta também a fundamentação teórica na qual este trabalho se apoia. Para isso, foram utilizadas como fontes de pesquisa, periódicos, dissertações e teses, bem como sítios virtuais e livros.

Com o objetivo de facilitar o entendimento da pesquisa realizada, a Figura 1 apresenta o Diagrama Vê com o problema de pesquisa abordado na dissertação sob a perspectiva da pesquisadora.

Figura 1 - Diagrama Vê de Gowin sobre a presente pesquisa.



Fonte: a autora (2015)

2.1 Trabalhos relacionados

2.1.1 Física Moderna e Contemporânea (FMC)

Alguns trabalhos se destacam na tentativa de atualizar o currículo com a inserção de tópicos de FMC. Terrazzan (1992) pontua que a atualização do currículo de Física se fez necessária devido a crescente influência dos conteúdos contemporâneos a partir do séc. XX, haja vista o melhor entendimento do universo criado pelo mundo atual, bem como a necessidade de formar um cidadão participativo e consciente que atue nesse ambiente.

Ostermann e Moreira (2000) apresentam uma revisão bibliográfica sobre FMC em nível médio, na qual destacam existir grande concentração de publicações em forma de divulgação científica ou como bibliografia de consulta para professores.

Pode-se constatar também na presente revisão da literatura que alguns trabalhos (SILVA e ASSIS, 2012; MARQUES e CALUZI, 2005; CANATO JUNIOR, 2003) propõem abordagens dos conteúdos de FMC por meio de experimentos com materiais de baixo custo, uso da História da Ciência, de Tecnologias como simulações computacionais e objetos de aprendizagem, dentre outros. Essas abordagens têm se mostrado eficazes no ensino e aprendizagem desses conteúdos, pois podem ser facilmente utilizadas pelo professor e, ao mesmo tempo, são motivadoras para os alunos.

Do ponto de vista dos documentos oficiais, mudanças apontadas em pesquisas da área e alguns aspectos da Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB) de 1996, regulamentada em 1998 pelas diretrizes do Conselho Nacional de Educação, foram destacadas na constituição dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN). Tais parâmetros têm como objetivo difundir e orientar professores quanto aos princípios da reforma curricular na busca de novas estratégias de ensino. Em concordância com as diretrizes das Orientações curriculares para o Ensino Médio, a inclusão de teorias da Física do século XX e o uso de novas tecnologias são dois aspectos que merecem atenção especial pelos professores no planejamento de suas aulas (BRASIL, 2006).

A atualização dos conteúdos, contemplando a FMC, também foi verificada nos livros didáticos segundo Domingui (2012), que em pesquisa sobre a análise de como a FMC está inserida nos livros didáticos do Programa Nacional do Livro Didático do Ensino Médio (PNLDEM), concluiu que os livros atribuem importâncias distintas a inserção desse tema. Enquanto alguns livros trazem capítulos exclusivos sobre o assunto, outros simplesmente ignoram a temática. Há também aqueles que apresentam a FMC em conjunto com a Física Clássica (FC), sendo esta última predominante na maioria dos livros.

No contexto estadual, a Secretaria de Estado de Educação (SEEDUC) reformulou o currículo do estado do Rio de Janeiro e no ano de 2012 disponibilizou o Currículo Mínimo de Física (RIO DE JANEIRO, 2012) para os professores. Este documento consiste em uma referência para as escolas públicas, apresentando competências e habilidades básicas exigidas na elaboração de planos de curso e aulas. Apresenta os temas modernos de forma integrada aos tópicos da física clássica.

Ressalta-se, portanto, que as alterações nos documentos oficiais que norteiam e orientam o ensino de Física, os quais incluem a FMC, permitem a discussão sobre como tratar tais tópicos no EM e como o tema deve ser tratado na formação inicial dos professores de Física.

Nessa perspectiva, do ensino direcionado à formação inicial de professores de Física, Henrique (2011) desenvolveu uma pesquisa que resultou na sua dissertação de mestrado, em que teve como objetivo fornecer subsídios para se ensinar a Cosmologia com uma abordagem histórico-filosófica. Para isso, foi escolhido como episódio histórico a controvérsia entre a Teoria do *Big Bang* e a do Estado Estacionário, que ocorreu a partir da segunda metade do século XX. Após o estudo teórico, foi aplicada e avaliada uma sequência didática durante a disciplina História da Ciência do curso de Licenciatura em Ciências Exatas da Universidade de São Paulo, *campus* São Carlos. Após a aplicação, avaliou-se a viabilidade do uso de episódios históricos na discussão sobre a natureza da ciência. Os resultados mostraram que as atividades propostas se constituem em uma boa forma não só de aprender Cosmologia, como refletir sobre diferenças e semelhanças entre a ciência e outras formas de ver o mundo.

Seguindo a mesma estratégia de ensino por meio da controvérsia histórica, no contexto da formação de professores, Jardim e Guerra (2014) apresentam uma proposta de discussão do tema “Universo em Expansão” por se inserir no modelo cosmológico mais aceito atualmente (Modelo do *Big Bang*). Nesse trabalho foram interpretados os dados obtidos por Edwin Hubble pelo fato de muitas vezes serem apresentados como evidências diretas e inquestionáveis de que o Universo estaria se expandindo. Como suporte à discussão proposta aos alunos de Licenciatura, uma atividade de análise de áudio foi contextualizada utilizando um *software* de computador que permitiu trabalhar o conceito de Onda e, mais especificamente, o Efeito *Doppler*. A proposta se mostrou eficaz, indicando dessa maneira, a viabilidade e necessidade de reavaliar as práticas e estratégias pedagógicas por parte dos professores. Outra questão a ser reavaliada, apontada na proposta, foi o processo de formação dos professores, uma vez que, mesmo cursando as últimas cadeiras da licenciatura em Física, se mostraram despreparados para trabalhar temas de FMC no ensino básico.

Outro trabalho desenvolvido com futuros professores de Física foi realizado por Longhini (2009), no qual relatou uma atividade de introdução ao estudo da Astronomia, que teve como meta privilegiar noções de espacialidade, as concepções alternativas dos participantes e o processo de interação entre pares e constou da representação, em um espaço tridimensional, dos modelos de universo que os participantes possuíam. Os resultados, que foram categorizados em “Universo Miscelânea”, “Geocêntrico”, “Heliocêntrico” e “Acêntrico”. Analisados qualitativamente mostraram que atividades deste tipo, além de favorecerem ao professor um panorama sobre o conhecimento que seus alunos possuem também se revelam como um momento fértil de exposição e debates de ideias, de participação efetiva dos futuros professores, algo que se deseja em sua futura prática profissional, e que os cursos de formação docente nem sempre têm desenvolvido de forma efetiva.

Sobre o tema Radioatividade, Garcia (2009) investigou possíveis formas de seleção e organização curricular de conhecimentos de FMC, visando intervenções no EM. Assim, foram apresentadas e discutidas duas propostas centradas na relação $E=mc^2$ e em aspectos da Física Nuclear, propondo seis atividades sobre energia nuclear. O trabalho verificou que os livros didáticos de EM apresentam versões simplificadas ou resumidas ao mesmo tempo em que propostas temáticas pontuais encontram dificuldades em articular conhecimentos aplicados que possuem aspectos científicos mais estruturados. Os resultados obtidos revelaram que é necessária a articulação de aspectos científicos, tecnológicos e sociais em torno de temas específicos por meio de estratégias que envolvem atividades concretas.

Nesse contexto, Batista (2015) também investigou como desenvolver e implementar propostas inovadoras no sentido de alcançar a melhoria do processo de ensino-aprendizagem com seguintes objetivos: buscar na literatura justificativas que levassem a escolha do tópico da FMC; avaliar por meio da teoria da Transposição Didática as potencialidades de sobrevivências do tópico radioatividade e elaborar uma sequência de ensino-aprendizagem de Física por meio da *Teaching-Learning Sequence*, com a inclusão de recursos diferenciados e participação ativa dos estudantes. Após elaboração, implementação e avaliação da sequência didática concluiu que: esse tipo de proposta permite aos professores trabalhar os conceitos envolvidos em um tópico da FMC (radioatividade) de forma mais abrangente do que no ensino tradicional; as concepções espontâneas dos estudantes (subsunçores) e ideias informais podem ser tomadas como referências primárias para a aprendizagem significativa dos conteúdos; permite observar que, o tripé professor-saber-estudante ganha outra dimensão para o ensino de Ciências, quando o papel e peculiaridades de cada um dos protagonistas desse tripé é reconhecido.

Pelo histórico de iniciativas relatado nota-se um movimento não só no campo da pesquisa, mas também no âmbito governamental no sentido de tornar realidade o estudo da FMC em nível médio. É nesse sentido que se reforça a importância de trabalhos que incluam tópicos de FMC e que apresentem propostas de ensino que possam ser efetivas para auxiliar os professores de Física na inserção desses conteúdos.

2.1.2 Unidades de Ensino Potencialmente Significativas

A pesquisa bibliográfica buscou também teses e dissertações defendidas, nas quais o critério a ser observado foi a utilização de UEPS no ensino de Física. Como esta é uma metodologia de ensino recente, datando o ano de 2011 no qual o Professor Marco Antônio Moreira publicou o seu trabalho, a pesquisa foi realizada a partir do ano de 2012 na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD).

No Quadro 1 foram relacionados vinte e quatro trabalhos, sendo três teses de doutorado e vinte e uma dissertações de mestrado que utilizam UEPS para o ensino de conteúdos de física. Dos 24 trabalhos relacionados apenas 7 tratam de temas relacionados à FMC, dos quais somente um apresenta uma proposta didática com o tópico Cosmologia, tema de uma das UEPS da presente dissertação. Em se tratando da Radioatividade, a busca bibliográfica com o critério adotado não encontrou nenhum trabalho sobre o tema.

Quadro 1 - Pesquisas que utilizaram UEPS no ensino de física.

Universidade	Ano	Nível	Autor	Título
UFRGS	2015	Doutorado	Schittler, Daniela	Laser de rubi: uma abordagem em Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS).
UFRGS	2015	Doutorado	Parisoto, Mara Fernanda	Ensino de termodinâmica a partir de situações da engenharia: integrando as metodologias de projetos e as unidades de ensino potencialmente significativas.
UFRGS	2015	Doutorado	Pantoja, Glauco Cohen Ferreira	Unidades de ensino potencialmente significativas em teoria eletromagnética: influências na aprendizagem de alunos de graduação e uma proposta inicial de um campo conceitual para o conceito de campo eletromagnético.
UFRGS	2014	Mestrado	Pradella, Marcos	Estudo de conceitos da termodinâmica no ensino médio por meio de UEPS.
UFRGS	2014	Mestrado	Tonelli, Luís Galileu Gall	Uma proposta para a introdução dos plasmas no estudo dos estados físicos da matéria no ensino médio.
UFRGS	2012	Mestrado	Griebeler, Adriane	Inserção de tópicos de física quântica no ensino médio através de uma unidade de ensino potencialmente significativa.
UFES	2016	Mestrado	Pereira, Vanessa de Oliveira	Elaboração e Avaliação de um Material Instrucional Baseado na Teoria da Aprendizagem Significativa Pra o Ensino das

				Leis de Newton e de Tópicos de Cinemática no Ensino Médio.
UFES	2015	Mestrado	Santos, Graziely Ameixa Siqueira	Desenvolvimento de uma Unidade de Ensino Potencialmente significativa para o Ensino do Conceito de Ondas.
UFES	2015	Mestrado	Rocha, Marcio Oliveira	O Conceito de Campo no Eletromagnetismo: uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa.
UFES	2014	Mestrado	Lopes, Ricardo Rodrigo Silva	Conceitos de Eletricidade e suas Aplicações Tecnológicas: Uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa.
UFES	2014	Mestrado	Silva, Clayton Vieira	Uma investigação sobre a elaboração e utilização de um material instrucional baseado na teoria da aprendizagem significativa para o estudo de um tópico de mecânica no contexto rural.
UFSCAR	2016	Mestrado	Silva, Renato Peron	Conservação de energia mecânica: uma sequência didática inspirada na ideia de UEPS.
UFSCAR	2015	Mestrado	Moreira, Raphael Henrique	Proposta de uma sequência didática com o uso de recursos diversificados para o ensino e aprendizagem de tópicos específicos de astronomia.
UFSCAR	2015	Mestrado	Pinheiro, Ederson Donizeti de Sante	A física no esporte - o desenvolvimento e análise de uma unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS).
UFABC	2016	Mestrado	Lopes, Arivaldo	Sequência de aulas para o ensino de Fenômenos Ondulatórios no Ensino Médio com a perspectiva de Unidades de Ensino Potencialmente Significativo.
UFABC	2016	Mestrado	Oliveira, Ismerindo Laube de	A constante de Hubble: uma proposta didática para discutir a cosmologia em sala de aula no Ensino Médio.
UFMS	2016	Mestrado	Calheiro, Lisiane Barcellos	Inserção de tópicos de física de partículas de forma integrada aos conteúdos tradicionalmente abordados no Ensino Médio.
UFMS	2015	Mestrado	Faccin, Franciele	Implementação de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas sobre Física Térmica para alunos do 2º ano do Ensino Médio.
UNB	2016	Mestrado	Barros, Petrus Marcelino	Construção de uma unidade de ensino potencialmente significativa sobre conceitos da eletrodinâmica.
UNB	2016	Mestrado	Coelho, Jorge Luís de Araújo	Utilização de vídeos e softwares para o ensino de movimento harmônico simples, interferência em ondas e efeito Doppler.
UEL	2014	Mestrado	Saviski, Samuel de Oliveira Fajardo	Uma abordagem didática com enfoque na história da física do plasma por meio da aprendizagem significativa.
UCS	2015	Mestrado	Pellenz, Daiana	Astronomia no ensino de ciências: uma proposta potencialmente significativa.
UFG	2016	Mestrado	Coelho, Thiago Sebastião de Oliveira	Proposta de unidade didática para a aprendizagem significativa de conceitos de física moderna e contemporânea.
UTFPR	2016	Mestrado	Folquenim, Sênita	Um estudo sobre a utilização do trilho multifuncional no ensino de Física a partir de unidades de ensino potencialmente significativas.

Fonte: A autora (2017)

O Quadro 2 apresenta uma breve descrição das pesquisas e as conclusões relevantes, na perspectiva dos autores, de trabalhos afins à presente dissertação. As categorias se referem aos critérios que foram adotados pela autora para a realização da busca dos trabalhos.

Quadro 2 - Resumo dos trabalhos relevantes para a presente dissertação.

Categoria	Autor (ano)	Descrição da pesquisa	Conclusões relevantes
FMC	Schittler, D. (2015)	Pesquisa aplicada com o tema Laser de Rubi no 1º ano do EM por meio de uma UEPS.	As metodologias e abordagens diversificadas utilizadas na UEPS promoveram a predisposição dos alunos em aprender o conteúdo, já que a UEPS tem o objetivo de tornar os materiais potencialmente significativos.
FMC	Coelho, T. S. O. (2016)	Proposta de inserção de tópicos FMC no ensino com aplicações em diferentes áreas do saber, como medicina, engenharia, computação e arte.	Além de colaborar com a expansão intelectual de professores e alunos, esta proposta lhes permite estar em contato contínuo com pesquisas científicas recentes.
FMC	Griebeler, A. (2012)	Elaboração e aplicação de uma UEPS sobre tópicos de Física Quântica com a intenção de estimular o interesse e a curiosidade do aluno.	A análise feita a partir dos resultados obtidos forneceu indícios de aprendizagem significativa, que é o objetivo de uma UEPS. Os comentários dos alunos indicaram a boa receptividade da proposta, encorajando novas aplicações.
FMC	Tonelli, L. G. G. (2014)	Relato de experiência da aplicação de uma UEPS, numa turma de 2º ano do EM sobre os Estados Físicos da Matéria em especial focando o estudo dos plasmas.	Os resultados obtidos através da aplicação das UEPS permitiram observar uma evolução nos significados atribuídos aos conceitos envolvidos em relação aos que os alunos apresentavam anteriormente ao trabalho.
FMC	Calheiro, L. B. (2016)	Elaboração, aplicação e avaliação de duas UEPS sobre física de partículas, implementadas em uma turma de 3º ano do EM.	A pesquisa evidenciou que a inclusão dos tópicos de física de partículas por meio de UEPS trouxe resultados satisfatórios na aprendizagem dos estudantes e a análise dos resultados demonstrou indícios de aprendizagem significativa.
FMC	Saviski, S. O. F. (2014)	Estudo realizado com o 3º na de EM com a intenção de encontrar possíveis relações de uma síntese histórica da Física do Plasma com a Aprendizagem Significativa Crítica, por meio das UEPS e dos Mapas Conceituais.	Conteúdos de FMC, unidos a uma abordagem interdisciplinar, contemplando episódios históricos relevantes podem contribuir para a aprendizagem significativa crítica.
FMC/ Cosmologia	Oliveira, I. L. (2016)	Proposta para discutir a cosmologia em sala de aula no EM, com foco na constante de Hubble. Buscou-se compreender como a Cosmologia é apresentada nos livros didáticos desse nível escolar e discutir as	Apesar do impacto positivo entre os estudantes, a falta da abordagem do tema cosmologia ou astronomia nos currículos dos cursos de formação de professores, o reduzido número de espaços de visitação como divulgação do tema

		dificuldades do ensino desse tema.	e a falta da concretização da formação continuada de professores foram as principais dificuldades encontradas.
Prática docente	Folquenim, S. (2016)	Desenvolvimento de atividades experimentais a partir de um material didático chamado de Trilho Multifuncional (GOYA e HALIBI, 2011), com o objetivo de enfrentar alguns dos problemas referentes à aplicação de atividades experimentais no EM. Para isso, foi realizado um curso com alunos e um curso com professores.	Os resultados mostraram que as atividades experimentais proporcionaram aos alunos melhorias no sentido de aprendizagem. Junto aos docentes, os resultados confirmaram que as práticas experimentais são ainda pouco utilizadas no EM, e mostraram que os professores ficaram motivados a trabalhar com o trilho devido a sua praticidade, baixo custo e aplicabilidade.
Formação de professores	Pellenz, D. (2015)	Desenvolvimento e aplicação de um curso de astronomia como parte de um curso de formação de professores de séries iniciais, em nível médio. Foi abordado conceitos e fenômenos relacionados à Terra como corpo cósmico.	Constatou-se, ao final do trabalho, que houve uma evolução conceitual significativa por parte dos futuros professores quanto aos conceitos abordados, indicando que a abordagem e as estratégias adotadas colaboraram, em alguma medida, na construção de um modelo de Terra cósmica que se aproxima da visão cientificamente aceita.

Fonte: A autora (2017).

Na perspectiva do ensino, o Quadro 2 mostra que apenas as dissertações de Folquenim (2016) e de Pellenz (2015) apresentam propostas, nas quais professores e futuros professores são investigados. Os outros 22 trabalhos tratam de avaliar a aplicação das UEPS e verificar os resultados de aprendizagem dos alunos.

De forma geral, verificou-se na presente revisão bibliográfica que a maioria das UEPS aplicadas em sala de aula apresentou resultados favoráveis como: boa receptividade dos alunos, promovendo a predisposição dos mesmos em aprender, indícios da ocorrência de aprendizagem significativa, entre outros. Contudo, devido ao fato da pesquisa ora desenvolvida voltar-se para a inserção de FMC no contexto da atuação de professores, acredita-se que os resultados encorajam novas aplicações das UEPS.

2.2 Fundamentação Teórica

O presente trabalho se fundamenta na perspectiva da epistemologia da prática docente (TARDIF, 2002), no modelo de ensino de Gowin (GOWIN, 1981 *apud* MOREIRA, 2008) e está baseado nas Unidades de Ensino Potencialmente Significativas - UEPS (MOREIRA, 2011).

2.2.1 Epistemologia da prática docente

Os trabalhos desenvolvidos por Maurice Tardif se alinham às pretensões desta pesquisa, pela definição dada por Tardif (2002, p. 255) de epistemologia da prática docente como “o estudo dos saberes que os profissionais realmente utilizam em seu espaço de trabalho cotidiano, desempenhando suas tarefas”. O objetivo é entender como o professor incorpora e modifica os saberes utilizados em sala de aula em função do contexto de trabalho. Visto que a presente pesquisa aponta para a breve construção de uma epistemologia dos saberes docentes, por meio da identificação dos saberes mobilizados e construídos pelos professores no momento de introduzirem metodologias inovadoras em sala de aula, como por exemplo, a utilização das UEPS no ensino de FMC.

Segundo Ribeiro (2015, p. 16), há um consenso entre estudiosos como Shulman (1987), Perrenoud (1993), Gauthier (1998) e Meirieu (1998) de que os professores utilizam diversos conhecimentos, adquiridos na formação universitária, na prática de sala de aula e devido à vivência como alunos. Tais conhecimentos são denominados na literatura como saberes docentes.

Em Tardif (2002, p. 36) encontra-se a definição de saber docente: “(...) um saber plural, formado pela amálgama mais ou menos coerente, de saberes oriundos da formação profissional e de saberes disciplinares, curriculares e experienciais”.

Assim Tardif (2002, p. 36) chama de *saberes profissionais* o conjunto de saberes transmitidos pelas instituições de formação de professores. Nesse sentido, o objeto de saber para as ciências humanas e da educação é constituído pelo professor e pelo ensino. Essas ciências procuram incorporar os conhecimentos à prática do professor, estes se transformam em saberes destinados à formação científica e erudita dos professores.

Já os *saberes disciplinares*, segundo Tardif (2002, p. 37) correspondem aos vários campos do conhecimento, que no caso desta pesquisa é a Física. Tais conhecimentos, desenvolvidos pelos próprios pesquisadores, são incorporados à formação dos professores em forma de disciplinas, durante a formação inicial ou continuada.

Ao longo de suas carreiras, o professor deve apropriar-se também dos *saberes curriculares*. Tardif (2002, p. 38) afirma que os saberes curriculares correspondem aos elementos em que se fundamentam os currículos (discursos, objetivos, conteúdos, métodos), a partir dos quais a instituição escolar categoriza e apresenta os saberes sociais por ela definidos e selecionados como modelos da cultura erudita e que os professores devem aprender a aplicar.

Por último apresenta os *saberes experienciais*, que são saberes específicos, desenvolvidos pelos professores e que são baseados em seu trabalho cotidiano e no conhecimento do meio. “Eles incorporam-se à experiência individual e coletiva sob a forma de *habitus* e de habilidades de saber-fazer e saber-ser” (TARDIF, 2002, p. 38).

Nesse trabalho, o conhecimento desses saberes é fundamental, uma vez que estes se relacionam de forma direta com o processo de ensino de tópicos, no caso de FMC, em sala de aula. O docente deve conhecer o conteúdo específico, confrontando esse conhecimento com suas experiências e vivências, para então, desenvolvê-lo de forma heurística para seus alunos. Acredita-se, portanto, que para ser possível ensinar um conteúdo de FMC, deve ficar claro a sua importância para a formação do indivíduo e os mecanismos pelos quais este conteúdo se torne compreensível para os alunos. Nessa perspectiva, a Teoria de Gowin (1981) lança mão de um modelo de ensino triádico.

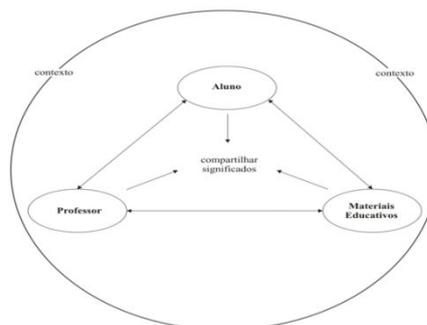
2.2.2 Modelo de Ensino de Gowin

D. B. Gowin é mais conhecido pelo instrumento heurístico que desenvolveu para analisar a estrutura do processo de produção do conhecimento, o chamado “Vê de Gowin” ou “Vê epistemológico” (MOREIRA, 1993c).

No entanto, ele também apresenta uma teoria de educação, com destaque no chamado “modelo de ensino de Gowin”, o qual se assemelha muito a abordagem vygostkyana, mas se baseia na TAS, no que se refere às condições para a ocorrência de uma aprendizagem significativa: o material potencialmente significativo e a pré disposição do aprendiz para aprender

Em sua teoria de ensino, Gowin vê uma relação triádica entre professor, materiais educativos e aprendiz, cujo objetivo é o compartilhamento de significados (MOREIRA, 2008, p. 7). A Figura 2 apresenta uma representação dessa relação triádica.

Figura 2 - Modelo de Ensino de Gowin.



Fonte: adaptado de Moreira (1993)

Gowin (1981) propõe que usando materiais educativos do currículo, aluno e professor busquem congruência de significados. Em uma situação de ensino, o professor atua de maneira intencional para mudar significados da experiência do aluno. Se o aluno manifesta uma disposição para aprender, o professor também atua intencionalmente para captar o significado dos materiais educativos. O objetivo é compartilhar significados. É um processo que perdura até que os significados dos materiais educativos do currículo que o aluno capta são aqueles que o professor pretende que eles tenham. Nesse momento, segundo Gowin, se consuma um episódio de ensino (MOREIRA, 2008).

Ferracioli (2005) dá ênfase à heurística de trabalho na produção de conhecimento no contexto educacional segundo a teoria de Gowin, a partir de eventos, fatos e conceitos. Nessa ótica, o aprendiz parte da observação de um evento que ocorre na natureza ou é provocado pelo observador, para se levantarem hipóteses e se utiliza de regras de ação (que podem ser inferências, esquemas, etc), para propor soluções para a explicação desse evento. Nessa perspectiva o instrumento heurístico elaborado por Gowin (1981), chamado Vê Epistemológico ou Vê de Gowin, foi elaborado para auxiliar a compreensão de todo o processo investigativo.

A importância dada por Gowin aos materiais educativos no contexto do ensino é salientada por Moreira (2008) em congruência com a TAS, a qual destaca que o material deve ser potencialmente significativo, ou seja, um material que tenha significado lógico e que o aprendiz tenha os subsunçores¹ adequados em sua estrutura cognitiva para utilizá-lo. Neste aspecto, acredita-se que a implementação da UEPS como um material potencialmente significativo vem corroborar com um dos objetivos dessa pesquisa que é disponibilizar um material de apoio para ser utilizado pelos professores de Física.

Dois pontos podem ser analisados pelo professor ao se deparar com o material resultante da presente pesquisa. Primeiramente, se o material tem potencial significativo para o aluno, i. e., se fornece condições para que o aluno aprenda significativamente. E segundo, se o material expressa a visão heurística proposta por Gowin, i. e., se deixa implícito tanto para o professor como para o aluno que tudo (conceitos, conhecimentos, etc) é construção humana, é invenção do homem. Ou seja, que o conhecimento humano é construído (Ibid, 2008).

¹ “Em termos simples, subsunçor é o nome que se dá a um conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto” (MOREIRA, 2010, p. 2).

2.2.3 Conhecimentos prévios, organizadores prévios, diferenciação progressiva e reconciliação integradora

Os conceitos acima são destacados como fundamentos na teoria da aprendizagem significativa (TAS) de David Ausubel (1963, 1968, 1978). Esta teoria caracteriza-se pela interação cognitiva entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio. Nesse processo, ideias expressas simbolicamente são relacionadas de uma maneira não-arbitrária e não-literal com aquilo que o aprendiz já sabe, ou seja, com algum aspecto existente, e especificamente relevante, de sua estrutura cognitiva preexistente. Este aspecto já existente na estrutura cognitiva, ou seja, um conhecimento específico, com pelo menos alguma clareza, estabilidade e diferenciação é o que se chama de subsunçor (MOREIRA, 2016, p. 32).

Sabe-se, também, que o conhecimento prévio é, isoladamente, a variável que mais influencia a aprendizagem. Em última análise, só se pode aprender a partir daquilo que já se conhece. Assim, Ausubel dizia que para promover a aprendizagem significativa é preciso averiguar esse conhecimento prévio e ensinar de acordo (VALADARES e MOREIRA, 2009).

Além de saber o que é aprendizagem significativa, são conhecidos também os princípios programáticos facilitadores dessa aprendizagem, como a diferenciação progressiva, a reconciliação integradora, a organização sequencial e a consolidação (AUSUBEL *et al.* 1978, 1980, 1983 *apud* MOREIRA, 2010) e algumas estratégias facilitadoras, como os organizadores prévios, os mapas conceituais e os diagramas V (NOVAK e GOWIN, 1984, 1988, 1996 *apud* MOREIRA, 2010).

Esses conceitos foram considerados em todo o processo de elaboração das UEPS da presente pesquisa, com o objetivo de construir um material potencialmente significativo, que segue os princípios da *diferenciação progressiva* – que reconhece a natureza hierárquica da dinâmica da estrutura cognitiva, da retenção e da organização dos conteúdos; e da *reconciliação integradora* – que é a retomada das unidades conceituais de forma a relacionar ideias, explicitando semelhanças e diferenças entre as novas informações e os subsunçores, podendo ser facilitada se o professor antecipar aos alunos aspectos gerais dos conteúdos a serem trabalhados.

No contexto da TAS, organizadores prévios são materiais introdutórios apresentados antes do material de aprendizagem em si mesmo, em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade, para servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que deveria saber para que esse material fosse potencialmente significativo ou, mais importante, para mostrar a relação entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio. Para facilitar uma

aprendizagem dessa natureza, pode-se recorrer também a instrumentos que já se mostraram eficazes como o mapa conceitual (MOREIRA, 2010, p. 6).

Mapas conceituais (Moreira, 2006, p. 9) são diagramas que indicam relações entre conceitos (apenas conceitos) e procuram refletir a estrutura conceitual de um certo conhecimento. Mais especificamente, podem ser vistos como diagramas conceituais hierárquicos. Construí-los, apresentá-los, refazê-los, são processos altamente facilitadores de uma aprendizagem significativa.

Outro aspecto fundamental da TAS, também de nosso conhecimento, é que o aprendiz deve apresentar uma pré-disposição para aprender. Ou seja, para aprender significativamente, o aluno tem que manifestar uma disposição para relacionar, de maneira não-arbitrária e não-literal, à sua estrutura cognitiva, os significados que capta dos materiais educativos, potencialmente significativos, do currículo (GOWIN, 1981 *apud* MOREIRA, 2010).

2.2.4 Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)

Proposta por Moreira (2011), a UEPS é uma sequência didática fundamentada nas teorias da aprendizagem significativa na qual são sugeridos passos para sua construção. Estas unidades de ensino podem estimular a pesquisa aplicada em ensino, ou seja, aquela voltada à sala de aula.

Princípios já abordados são bem marcantes nas UEPS, como o conhecimento prévio do aluno, as situações-problema como organizadores prévios e a utilização de recursos diversificados na introdução de um tema que se pretende ensinar.

Neste trabalho foram elaboradas duas UEPS e aplicadas como metodologia de ensino. Em termos gerais uma UEPS é desenvolvida conforme os passos propostos por Moreira (2011, p. 45-46):

1. Criar/propor situação(ões) de ensino, como (ex: discussão, questionário, mapa conceitual, mapa mental, situação-problema, etc), para levar o aluno a explicitar seu conhecimento prévio.
2. Propor situações-problema, em nível bem introdutório, levando em conta o conhecimento prévio do aluno, a fim de preparar a estrutura cognitiva do aluno para o novo conhecimento a ser ensinado. Tais situações podem funcionar como organizador prévio; são as situações que

dão sentido aos novos conhecimentos, mas, para isso, o aluno deve percebê-las como problemas e deve ser capaz de modelá-las mentalmente;

3. O novo conhecimento deve ser ensinado/aprendido levando em conta a *diferenciação progressiva*, i.e., começando com aspectos mais gerais, inclusivos e aos poucos introduzindo conceitos mais específicos da matéria ensinada. Por exemplo, iniciar com uma breve exposição oral seguida de atividade colaborativa em pequenos grupos que, por sua vez, deve ser seguida de atividade de apresentação ou discussão em grande grupo;

4. Em uma nova apresentação, retomar os aspectos mais gerais, estruturantes (i.e., aquilo que efetivamente se pretende ensinar), do conteúdo da unidade de ensino (que pode ser através de outra breve exposição oral, de um recurso computacional, de um texto, etc.), em nível mais alto de complexidade em relação à primeira apresentação. Nesse estágio do ensino, as situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade, por meio de novos exemplos que destaquem semelhanças e diferenças relativas às situações e exemplos já trabalhados, ou seja, que promovam a *reconciliação integradora*. O autor sugere que após esta segunda apresentação seja proposta alguma atividade colaborativa que leve os alunos a interagir socialmente, negociando significados, tendo o professor como mediador. Por exemplo: a resolução de problemas, a construção de um mapa conceitual ou um diagrama V, um experimento de laboratório, um pequeno projeto, etc., mas deve, necessariamente, envolver negociação de significados e mediação docente;

5. Dando prosseguimento ao processo de diferenciação progressiva deve-se concluir o ensino, retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, numa perspectiva integradora, ou seja, buscando a reconciliação integrativa por meio de uma nova apresentação dos significados (breve exposição oral, a leitura de um texto, o uso de um recurso computacional, um audiovisual, etc.), seguidas sempre de novas situações-problema com níveis mais altos de complexidade em relação às situações anteriores, sendo resolvidas em atividades colaborativas e depois apresentadas e/ou discutidas em grande grupo, sempre com a mediação do docente;

6. No que se refere à avaliação da aprendizagem através da UEPS, o autor enfatiza a necessidade de se avaliar o aluno de forma somativa e formativa durante todas as etapas da sequência didática, registrando tudo que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado. Destaca a necessidade de uma avaliação somativa individual após o sexto passo, na qual deverão ser propostas questões/situações que impliquem compreensão, que evidenciem captação de significados e, idealmente, alguma capacidade de transferência e que a avaliação do desempenho do aluno na UEPS deverá estar

baseada, em pé de igualdade, tanto na avaliação formativa (situações, tarefas resolvidas colaborativamente, registros do professor) como na avaliação somativa;

7. Do ponto de vista do ensino, a UEPS será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa (captação de significados, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema). E como prevê Ausubel (2000), o conhecimento não se dá de uma vez; é progressivo; por isso, a ênfase em evidências, não em comportamentos finais.

2.3 Conteúdos de Física das UEPS

2.3.1 Cosmologia

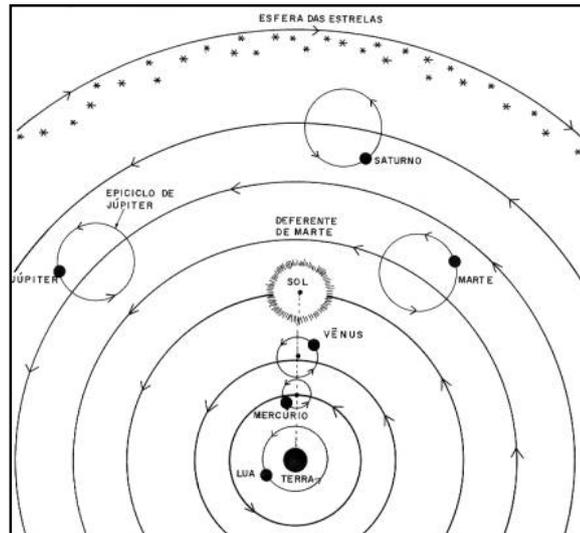
Universo geocêntrico

Aos poucos, o ser humano constatou que havia certa regularidade em alguns fenômenos da natureza. O Sol aparecia incansavelmente um dia após o outro; depois do inverno tinha-se a primavera; depois da seca retornava o período das chuvas, e assim por diante. Isso permite pensar que desde muito cedo o ser humano demonstrou consciência de que sua sobrevivência dependia do conhecimento da ordem do Universo.

Apesar da dificuldade de compreender e explicar o movimento observado dos planetas do ponto de vista geocêntrico (a Terra no centro do Universo), o geocentrismo foi uma ideia dominante na Astronomia durante toda a Antiguidade e Idade Média. O sistema geocêntrico também é conhecido como sistema ptolomaico, pois foi Cláudio Ptolomeu, o último dos grandes astrônomos gregos (150 d.C.), quem construiu o modelo geocêntrico mais completo e eficiente. Ptolomeu explicou o movimento dos planetas através de uma combinação de círculos: o planeta se move ao longo de um pequeno círculo chamado epiciclo, cujo centro se move em um círculo maior chamado deferente. A Terra fica numa posição um pouco afastada do centro do deferente (portanto o deferente é um círculo excêntrico em relação à Terra). Para dar conta do movimento não uniforme dos planetas, Ptolomeu introduziu ainda o equante, que é um ponto ao lado do centro do deferente oposto à posição da Terra, em relação ao qual o centro do epiciclo se move a uma taxa uniforme.

A Figura 3 representa o modelo de Ptolomeu.

Figura 3 - Modelo geocêntrico de Ptolomeu.



Fonte: <<http://www.ghtc.usp.br/server/Sites-HF/Geraldo/ptolemaico.htm>>. Acesso em: 12 jun. 2017.

O objetivo de Ptolomeu era produzir um modelo que permitisse prever a posição dos planetas de forma correta, e nesse ponto ele foi razoavelmente bem sucedido. Por essa razão esse modelo continuou sendo usado sem mudança substancial por 1300 anos.

Universo Heliocêntrico de Copérnico

Em 1492 termina a ocupação árabe (mouras) da península ibérica, que se iniciou em 711, e começa a Renascença. Inicia-se a tradução dos textos árabes e gregos, trazendo para a Europa os conhecimentos clássicos de Astronomia, Matemática, Biologia e Medicina.

Nicolau Copérnico representou o Renascimento na Astronomia. Copérnico (1473-1543) foi um astrônomo polonês com grande inclinação para a matemática. Estudando na Itália, ele leu sobre a hipótese heliocêntrica proposta (e não aceita) por Aristarco (300 a.C.), e achou que o Sol no centro do Universo era muito mais razoável do que a Terra. Copérnico registrou suas ideias num livro - *De Revolutionibus*- publicado no ano de sua morte.

Os conceitos mais importantes colocados por Copérnico foram:

- introduzir o conceito de que a Terra é apenas um dos seis planetas (então conhecidos) girando em torno do Sol
- colocar os planetas em ordem de distância ao Sol: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno (Urano, Netuno e o planeta anão Plutão).
- determinar as distâncias dos planetas ao Sol, em termos da distância Terra-Sol.

- deduzir que quanto mais perto do Sol está o planeta, maior é sua velocidade orbital. Dessa forma, o movimento retrógrado dos planetas foi facilmente explicado sem necessidade de epiciclos.

Figura 4 - Modelo de Copérnico.



Fonte: <<http://www.ghc.usp.br/server/Sites-HF/Jose-Tarcisio-Costa/copernico.htm>>. Acesso em: 12 jun.2017

Copérnico manteve a ideia de que as órbitas dos planetas eram circulares, e embora o movimento dos planetas ficasse simples de entender no seu sistema, as posições previstas para os planetas não eram em nada melhores do que as posições previstas no sistema de Ptolomeu.

Em 1609, Galileu começou a observar o céu noturno com um telescópio, que acabara de ser inventado. Ele descobriu, ao examinar o planeta Júpiter, que este era acompanhado por vários pequenos satélites, ou luas, que giravam em torno dele. Isso significava que nem tudo precisava orbitar diretamente ao redor da Terra, como pensavam Aristóteles e Ptolomeu. Ao mesmo tempo, Kepler aperfeiçoou a teoria de Copérnico, sugerindo que os planetas se moviam não em círculos, mas em elipses. Com essa alteração, as previsões da teoria coincidiram com as observações. (HAWKING; MLODINOW, 2008, p. 14).

Embora as órbitas elípticas melhorassem o modelo de Copérnico, no que dizia respeito a Kepler eram apenas um artifício usado para formular a hipótese. Isso porque Kepler tinha ideias preconcebidas sobre a natureza que não se baseavam em observação alguma: assim como Aristóteles, ele simplesmente acreditava que as elipses eram menos perfeitas do que os círculos. (HAWKING; MLODINOW, 2008, p. 14).

Outra coisa que incomodava Kepler era não conseguir tornar as órbitas elípticas compatíveis com sua ideia de que seriam as forças magnéticas que faziam os planetas orbitarem o Sol. Embora estivesse errado sobre as forças magnéticas serem a razão das órbitas

dos planetas, é dado a ele o crédito de supor que deveria existir uma força responsável pelo movimento. A verdadeira explicação do motivo pelo qual os planetas orbitam o Sol só foi oferecida muito mais tarde, em 1687, por Isaac Newton publicou sua obra *Principia Mathematica*. (HAWKING; MLODINOW, 2008, p. 14).

Nos *Principia*, Newton apresentou uma lei de acordo com a qual todos os objetos em repouso permanecem naturalmente em repouso, a menos que uma força aja sobre eles, e descreveu como os efeitos da força fazem um objeto mover-se ou alteram seu movimento. Newton também afirmou que as órbitas elípticas dos planetas eram resultantes da mesma força que fazia os objetos caírem na Terra. Ele chamou essa força de gravidade (até então a palavra *gravidade* significava apenas um humor sério ou uma qualidade de peso). Ele também formulou a expressão que demonstra numericamente como os objetos reagem quando uma força, como a da gravidade, age sobre eles e resolveu as equações resultantes (HAWKING; MLODINOW, 2008, p. 14).

Dessa maneira, Newton foi capaz de mostrar, assim como Kepler previu, que devido à gravidade do Sol, a Terra e outros planetas deveriam mover-se numa elipse e afirmou que suas leis se aplicavam a tudo no universo, de uma maçã em queda às estrelas e planetas. (HAWKING; MLODINOW, 2008, p. 14).

Sem o conceito de esferas de Ptolomeu, não havia mais motivo algum para pressupor que o universo tivesse um limite natural, a esfera mais externa. Além do mais, já que as estrelas pareciam não alterar suas posições, a não ser por uma rotação através do céu causada pela Terra girando em seu próprio eixo, tornou-se natural supor que as estrelas eram objetos como o Sol, mas muitíssimo mais distantes. Não apenas a ideia de que a Terra é o centro do universo, fora abandonada, mas até a ideia de que o Sol, e talvez o Sistema Solar, fossem figurantes singulares do cosmos. Essa mudança na visão de mundo representou uma profunda transição no pensamento humano: o início do moderno conhecimento científico do universo (HAWKING; MLODINOW, 2008, p. 15).

A obra de Copérnico, que havia se baseado em dados obtidos na antiguidade, trouxe um novo impulso para a astronomia de observação. As primeiras observações novas de grande valor foram feitas no final do século XVI, pelo dinamarquês Tycho Brahe.

Tycho dedicou toda sua vida a coleta de dados sobre o movimento dos planetas, conseguindo atingir uma precisão pelo menos duas vezes superior a das melhores observações da antiguidade. Assim, ele propôs o modelo intermediário entre os de Ptolomeu e Copérnico, em que todos os planetas, com exceção da terra, se moveriam em torno do sol, mas o sol se moveria em redor da terra (NUSSENZVEIG, 2002, p. 193).

Johannes Kepler, assistente de Tycho, foi uma personalidade extremamente curiosa, motivado por uma firme convicção, de que o universo é constituído de acordo com o plano matemático, cuja estrutura pode ser deduzida por argumentos de perfeita harmonia das esferas. Assim foi guiado por uma ideia fantástica, de que os raios das órbitas planetárias deviam ter alguma explicação geométrica mística em torno de figuras perfeitas. Entre os seis planetas então conhecidos, havia cinco distâncias a explicar, número igual ao dos sólidos regulares ou perfeitos: tetraedro, cubo, octaedro, dodecaedro, e isoedro. Construir um modelo utilizando os cinco sólidos regulares inscritos e circunscritos, procurando mostrar que as proporções assim obtidas seriam as mesmas que aquelas entre os raios das órbitas planetárias obtidas por Copérnico (NUSSENZVEIG, 2002, p. 193).

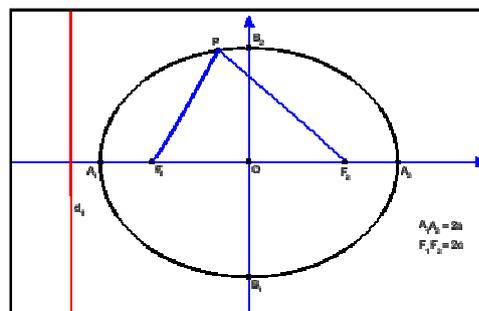
Para tentar salvar o modelo dos seus sólidos regulares, se perguntou então se o centro das órbitas planetárias seria realmente o centro da órbita da Terra em torno do Sol, este ocupando uma posição excêntrica, ou se o centro estaria no Sol. Foi para resolver esta questão que ele resolveu tornar-se assistente de Brahe, a fim de obter dados mais precisos sobre a órbita da Terra e dos demais planetas (NUSSENZVEIG, 2002, p. 193).

Após quatro anos de trabalho Kepler conseguiu mostrar que corrigindo a teoria de Copérnico, no sentido de dar ao Sol a posição central, obtinha-se melhor acordo com experiência (NUSSENZVEIG, 2002, p. 193).

Leis de Kepler

Em primeiro lugar, Kepler descobriu que cada planeta gira ao redor do Sol em uma curva chamada *elipse*, com o Sol em um dos focos da elipse, que matematicamente, é o lugar geométrico de todos os pontos fixos (os focos). A elipse também pode ser considerada um círculo encurtado (Figura 5) (NUSSENZVEIG, 2002, p. 194).

Figura 5 - Uma elipse.

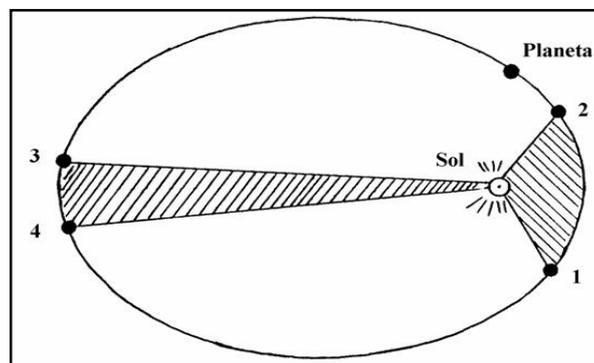


Fonte: <<http://www.sato.prof.ufu.br/LeisKepler/node3.html>>
Acesso em: 12 jun. 2017

A segunda observação de Kepler foi que os planetas não giram ao redor do Sol com velocidade uniforme, porém mais rápido quando mais próximos do Sol (periélio) e mais devagar quando mais longe dele (afélio) (NUSSENZVEIG, 2002, p. 194).

Suponha um planeta observado em dois momentos sucessivos quaisquer, com uma diferença de uma semana, e que se trace o raio vetor até o planeta para cada posição observada. O arco orbital percorrido pelo planeta durante a semana e os dois raios vetores delimitam certa área plana, a área sombreada mostrada na Figura 6 (NUSSENZVEIG, 2002, p. 194).

Figura 6 - Lei das áreas de Kepler.



Fonte: <<http://www.gea.org.br/historia/2003postilaleituradoceu.htm>>. Acesso em: 12 jun. 2017.

Caso sejam realizadas duas observações semelhantes com uma semana de intervalo em uma parte da órbita mais distante do Sol (onde o planeta se desloca mais lentamente), a área igualmente delimitada será exatamente igual à do primeiro caso. Assim, de acordo com a segunda lei, a velocidade orbital de cada planeta é tal que o raio varre áreas iguais em períodos iguais (NUSSENZVEIG, 2002, p. 194).

Finalmente, uma terceira lei foi descoberta por Kepler muito depois; é uma lei de categoria diferente das outras duas, por lidar não apenas com um planeta individual, mas relacionar um planeta a outro. Essa lei reza que, quando se comparam o período orbital e o tamanho da órbita de dois planetas quaisquer, os períodos são proporcionais à $3/2$ da potência do tamanho da órbita (NUSSENZVEIG, 2002, p. 195).

Nesta afirmação, o período é o intervalo de tempo que um planeta leva para percorrer completamente sua órbita e o tamanho é medido pelo comprimento do maior diâmetro da órbita elíptica, tecnicamente conhecido como o eixo maior. Mas simplesmente, se os planetas girassem em círculos, como quase fazem, o tempo necessário para percorrer o círculo seria proporcional à $3/2$ da potência do diâmetro (ou raio). Destarte, as três leis de Kepler são:

- I. Cada planeta desloca-se ao redor do Sol em uma elipse, com o Sol em um dos focos.
- II. O raio vetor do Sol ao planeta percorre áreas iguais em intervalos de tempo iguais.

III. Os quadrados dos períodos de dois planetas quaisquer são proporcionais aos cubos dos semi eixos maiores de suas respectivas órbitas: $T \sim a^{3/2}$ (NUSSENZVEIG, 2002, p. 195).

Lei da Gravitação Universal

Em 1665, Isaac Newton, prestou uma contribuição fundamental à Física ao demonstrar que não existe diferença entre a força que mantém a Lua em órbita e a força responsável pela queda de uma maçã. Hoje em dia esta ideia é tão familiar que temos dificuldades em compreender a antiga crença de que os movimentos dos corpos terrestres e dos corpos celestes eram diferentes e obedeciam a um conjunto diferente de leis (NUSSENZVEIG, 2002, p. 197).

Newton chegou à conclusão de que nem só a Terra atrai as maçãs e a Lua, mas cada corpo do universo atrai todos os demais; essa tendência dos corpos de se atraírem mutuamente é chamada de gravitação. A universalidade da gravitação não é óbvia porque a força de atração que a Terra exerce sobre os corpos próximos é muito maior que a força de atração que os corpos exercem uns sobre os outros (NUSSENZVEIG, 2002, p. 197).

Newton propôs uma lei para a força de gravitação, que é chamada de lei da gravitação de Newton: toda partícula do universo atrai as outras partículas com uma força gravitacional cujo módulo é dado por

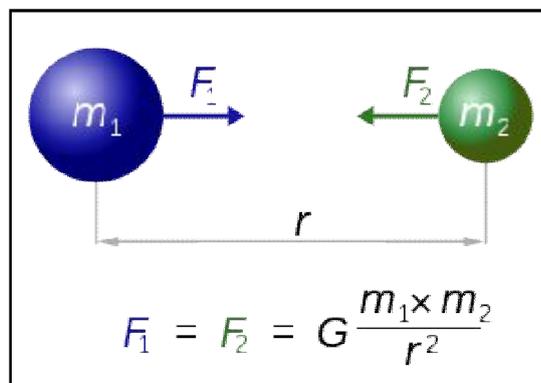
$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \text{ (Lei da gravitação de Newton). (1)}$$

Onde m_1 e m_2 são as massas das partículas, r é a distância entre elas e G é uma constante, conhecida como constante gravitacional, cujo valor é

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2.$$

Na Figura 7, F_1 é a força gravitacional que a massa m_2 exerce sobre a massa m_1 e F_2 é a força gravitacional que m_1 exerce sobre m_2 .

Figura 7 - Força gravitacional.



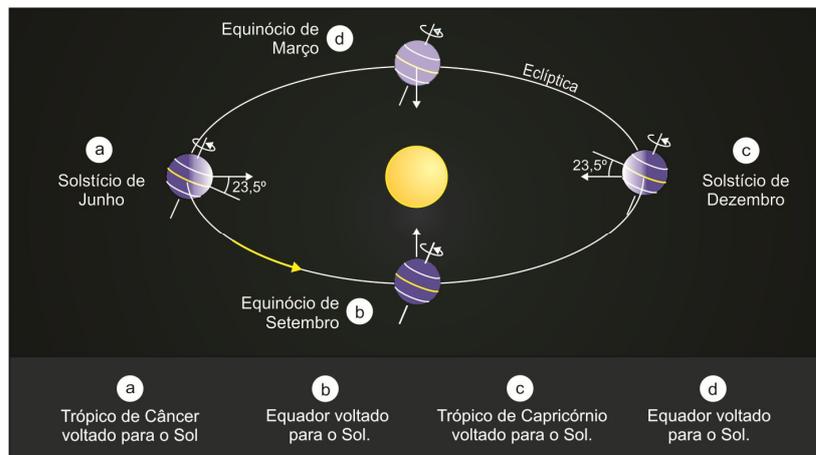
Fenômenos Astronômicos

Estações do Ano

Devido ao movimento de translação da Terra em torno do Sol, o Sol aparentemente se move entre as estrelas, ao longo do ano, descrevendo uma trajetória na esfera celeste chamada eclíptica. A eclíptica é um círculo máximo que tem uma inclinação de $23^{\circ}27'$ em relação ao Equador Celeste. É esta inclinação que causa as Estações do ano (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004, p. 33).

Embora a órbita da Terra em torno do Sol seja uma elipse, e não um círculo, a distância da Terra ao Sol varia somente 3%, sendo que a Terra está mais próxima do Sol entre 4 a 7 de janeiro de cada ano, dependendo do ano bissexto. Mas é fácil lembrar que o hemisfério norte da Terra também está mais próximo do Sol em janeiro e é inverno lá, enquanto é verão no hemisfério sul. O afélio ocorre entre 4 e 7 de julho de cada ano (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004, p. 33)

Figura 8 - Estações do ano.



Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/tempo/estacoes1_escuro.jpg>. Acesso: 12 jun. 2012.

O que causa as estações é o fato de a Terra orbitar o Sol com o eixo de rotação inclinado, e não perpendicular ao plano orbital. O ângulo entre o plano do equador e o plano orbital da Terra é chamado obliquidade da eclíptica e vale $23^{\circ}27'$. Também pode-se definir a obliquidade como a inclinação do eixo de rotação da Terra em relação ao eixo perpendicular à eclíptica (plano orbital da Terra) (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004, p. 33).

Devido a essa inclinação, à medida que a Terra orbita em torno do Sol, os raios solares incidem mais diretamente em um hemisfério ou outro, proporcionando mais horas com luz

durante o dia a um hemisfério ou outro e, portanto, aquecendo mais um hemisfério ou outro (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004, p. 33).

No Equador todas as estações são muito parecidas: todos os dias do ano o Sol fica 12 horas acima do horizonte e 12 horas abaixo do horizonte; a única diferença é a máxima altura que ele atinge. No equador, nos equinócios, o Sol faz a passagem meridiana pelo zênite, atingindo a altura de 90° no meio-dia verdadeiro. Nas outras datas do ano o Sol passa o meridiano do norte do zênite, entre os equinócios de março e de setembro, ou ao sul do zênite, entre os equinócios de setembro e de março (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004, p. 33).

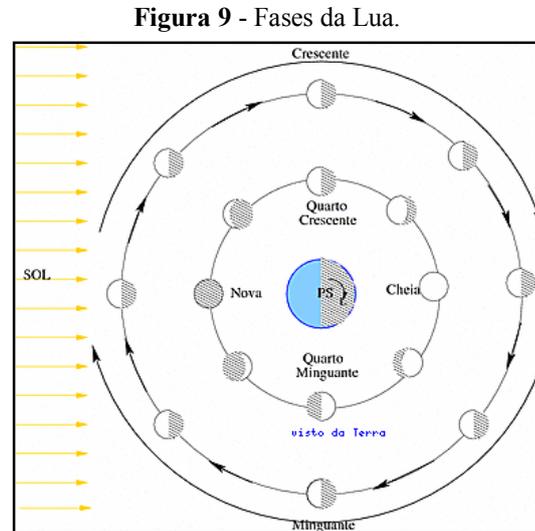
As menores alturas do Sol na passagem meridiana são de $66,5^\circ$ e acontecem nas datas dos solstícios. Portanto a altura do Sol ao meio-dia no Equador não muda muito ao longo do ano e, conseqüentemente, nessa região não existe muita diferença entre inverno, verão, primavera e outono. À medida que se afasta do Equador, as estações ficam mais acentuadas. A diferenciação entre elas torna-se máxima nos polos (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004, p. 33).

Fases da Lua

À medida que a Lua viaja ao redor da Terra ao longo do mês, ela passa por um ciclo de fases, durante o qual sua forma parece variar gradualmente. O ciclo completo dura aproximadamente 29,5 dias. Esse fenômeno é bem compreendido desde a Antiguidade. Acredita-se que o grego Anaxágoras (430 a.C.), já conhecia sua causa, e Aristóteles (384 - 322 a.C.) registrou a explicação correta do fenômeno: as fases da Lua resultam do fato de que ela não é um corpo luminoso, e sim um corpo iluminado pela luz do Sol (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004, p. 40)

A face iluminada da Lua é aquela que está voltada para o Sol. A fase da lua representa o quanto dessa face iluminada pelo Sol está voltada também para a Terra. Durante metade do ciclo essa porção está aumentando (lua crescente) e durante a outra metade ela está diminuindo (lua minguante). Tradicionalmente apenas as quatro fases mais características do ciclo - Lua Nova, Quarto-Crescente, Lua Cheia e Quarto-Minguante - recebem nomes, mas a porção que vemos iluminada da Lua, que é a sua fase, varia de dia para dia. Por essa razão os astrônomos definem a fase da Lua em termos de número de dias decorridos desde a Lua Nova (de 0 a 29,5) e em termos de fração iluminada da face visível (0% a 100%) (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004, p. 40).

A Figura 9 mostra o sistema Sol-Terra-Lua como seria visto por um observador externo olhando diretamente para o polo sul da Terra (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004, p. 40).



Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/lua/fasesdalu_2.gif>.
Acesso em: 12 jun. 2017.

O círculo externo mostra a Lua em diferentes posições relativas em relação à linha Sol-Terra, assumidas à medida que ela orbita a Terra de oeste para leste (sentido horário para um observador olhando para o polo sul). O círculo interno mostra as formas aparentes da Lua, em cada situação, para um observador no hemisfério sul da Terra (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004, p. 40).

As quatro fases principais do ciclo são:

Lua Nova:

- Lua e Sol, vistos da Terra, estão na mesma direção
- A Lua nasce $\approx 6h$ e se põe $\approx 18h$.

A Lua Nova acontece quando a face visível da Lua não recebe luz do Sol, pois os dois astros estão na mesma direção. Nessa fase, a Lua está no céu durante o dia, nascendo e se pondo aproximadamente junto com o Sol. Durante os dias subsequentes, a Lua vai ficando cada vez mais a leste do Sol e, portanto, a face visível vai ficando crescentemente mais iluminada a partir da borda que aponta para o oeste, até que aproximadamente uma semana depois tem-se o Quarto-Crescente, com 50% da face iluminada.

Lua Quarto-Crescente:

- Lua e Sol, vistos da Terra, estão separados de 90° .

- a Lua está a leste do Sol e, portanto, sua parte iluminada tem a convexidade para o oeste.
- a Lua nasce \approx meio-dia e se põe \approx meia-noite

A Lua tem a forma de um semi-círculo com a parte convexa voltada para o oeste. Lua e Sol, vistos da Terra, estão separados de aproximadamente 90° . Após esse dia, a fração iluminada da face visível continua a crescer pelo lado voltado para o oeste, até que atinge a fase Cheia.

Lua Cheia:

- Lua e Sol, vistos da Terra, estão em direções opostas, separados de 180° , ou 12h.
- a Lua nasce \approx 18h e se põe \approx 6h do dia seguinte.

Na fase cheia 100% da face visível está iluminada. A Lua está no céu durante toda a noite, nasce quando o Sol se põe e se põe no nascer do Sol. Lua e Sol, vistos da Terra, estão em direções opostas, separados de aproximadamente 180° , ou 12h. Nos dias subsequentes a porção da face iluminada passa a ficar cada vez menor à medida que a Lua fica cada vez mais a oeste do Sol; o disco lunar vai dia a dia perdendo um pedaço maior da sua borda voltada para o oeste. Aproximadamente 7 dias depois, a fração iluminada já se reduziu a 50%, e temos o Quarto-Minguante.

Lua Quarto-Minguante:

- a Lua está a oeste do Sol, que ilumina seu lado voltado para o leste
- a Lua nasce \approx meia-noite e se põe \approx meio-dia

A Lua está aproximadamente 90° a oeste do Sol, e tem a forma de um semi-círculo com a convexidade apontando para o leste. Nos dias subsequentes a Lua continua a minguar, até atingir o dia zero do novo ciclo.

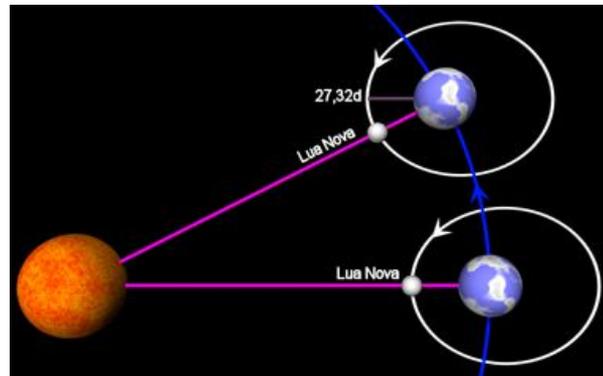
O intervalo de tempo médio entre duas fases iguais consecutivas é de 29d 12h 44m 2.9s (29,5 dias). Esse período é chamado mês sinódico, ou lunação, ou período sinódico da Lua.

O período sideral da Lua, ou mês sideral é o tempo necessário para a Lua completar uma volta em torno da Terra, em relação a uma estrela. Sua duração média é de 27d 7h 43m 11s, sendo portanto \approx 2,25 dias mais curto do que o mês sinódico.

O período sinódico da Lua, com duração de aproximadamente 29,5 dias (variando entre 29,26 e 29,80 dias), é, em média, 2,25 dias maior do que o período sideral da Lua porque nos 27,32 dias em que a Lua faz uma volta completa em relação às estrelas (o período sideral da Lua), o Sol se desloca [$360^\circ/(365,25 \text{ dias})$] aproximadamente $27^\circ=(27 \text{ dias} \times 1^\circ/\text{dia})$ para

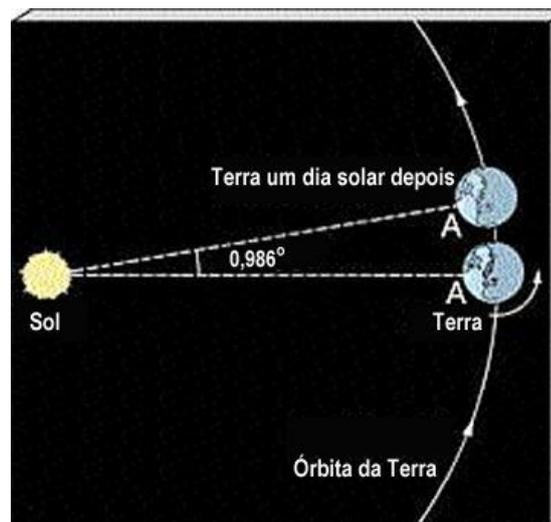
leste e, portanto, é necessário mais 2 dias [$27^\circ/(360^\circ/27,32 \text{ dias})$] para a Lua se deslocar estes 27° e estar na mesma posição em relação ao Sol, que define a fase (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004, p. 40).

Figura 10 – Período sideral da Lua.



Fonte: <<http://astro.if.ufrgs.br/lua/mes.png>>. Acesso em: 12 jun. 2017.

Figura 11 – Dia lunar.



Fonte: <<http://astro.if.ufrgs.br/umgrau.jpg>>. Acesso em: 12 jun. 2017.

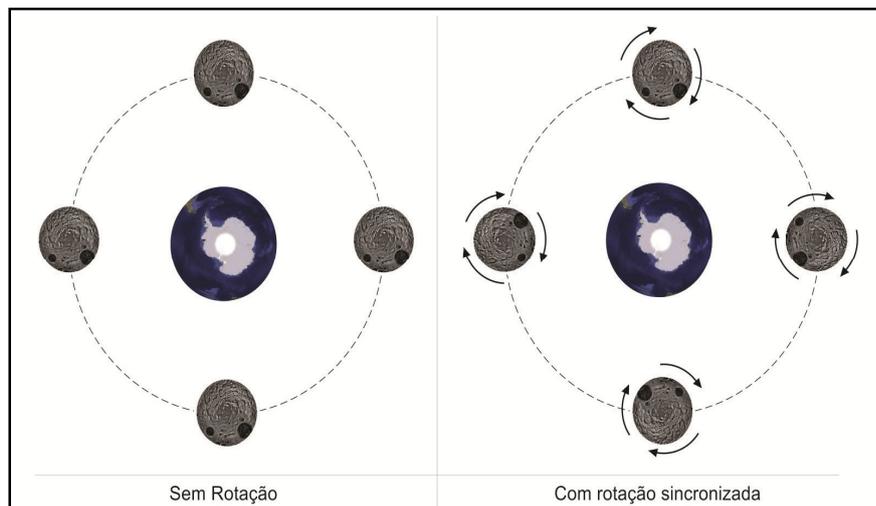
Dia Lunar:

Tendo em vista que o período sideral da Lua é de 27,32166 dias, isto é, que ela se move 360° em relação às estrelas para leste a cada 27,32 dias, deduz-se que ela se desloca para leste 13° por dia ($360^\circ/27,32$), em relação às estrelas. Levando-se em conta que a Terra gira 360° em 24 horas, e que o Sol se desloca 1° para leste por dia, deduzimos que a Lua se atrasa 48 minutos por dia [$(12^\circ/360^\circ) \times (24\text{h} \times 60\text{m})$], isto é, a Lua nasce cerca de 48 minutos mais tarde a cada dia (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004, p. 40).

Recapitulando, a Lua se move cerca de 13° para leste, por dia, em relação às estrelas. Esse movimento é um reflexo da translação da Lua em torno da Terra, completada em 27,32 dias (mês sideral). O Sol também se move cerca de 1° por dia para leste, refletindo a translação da Terra em torno do Sol, completada em 365,2564 dias (ano sideral). Portanto, a Lua se move cerca de 12° por dia em relação ao Sol, e a cada dia a Lua cruza o meridiano local aproximadamente 48 min mais tarde do que no dia anterior. O dia lunar, portanto, tem 24^h48^m . (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004, p. 40)

Rotação da Lua

Figura 12 - Rotação da Lua



Fonte: <<http://astro.if.ufrgs.br/lua/rot-sinc-lua3.jpg>>.
Acesso em: 12 jun. 2017.

À medida que a Lua orbita em torno da Terra, completando seu ciclo de fases, ela mantém sempre a mesma face voltada para a Terra. Isso indica que o seu período de translação é igual ao período de rotação em torno de seu próprio eixo. Portanto, a Lua tem rotação sincronizada com a translação (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004, p. 41)

É muito improvável que essa sincronização seja casual. Acredita-se que ela tenha acontecido como resultado das grandes forças de maré exercidas pela Terra na Lua no tempo em que a Lua era jovem e mais elástica. As deformações tipo bojos causadas na superfície da Lua pelas marés teriam freado a sua rotação até ela ficar com o bojo sempre voltado para a Terra e, portanto, com período de rotação igual ao de translação. Essa perda de rotação teria em consequência, provocado o afastamento maior entre Lua e Terra (para conservar o momentum angular). Atualmente a Lua continua afastando-se da Terra, a uma taxa de 4 cm/ano (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004, p. 41).

Note que como a Lua mantém a mesma face voltada para a Terra, um astronauta na Lua não vê a Terra nascer ou se pôr. Se ele está na face voltada para a Terra, a Terra estará sempre visível. Se ele estiver na face oculta da Lua, nunca verá a Terra. Como o sistema Terra-Lua sofre influência gravitacional do Sol e dos planetas, a Terra e a Lua não são esféricas e as marés provocam fricção dentro da Terra e da Lua, a órbita não é regular, precisando de mais de cem termos para ser calculada com precisão (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004, p. 41).

Ordem de Grandeza

Em algumas situações, não é preciso conhecer com precisão o valor das grandezas físicas. Nesses casos, é comum estimar uma medida com base na potência de 10 que mais se aproxima dela. Essa potência é chamada de ordem de grandeza.

Veja a seguir a ordem de grandeza dos valores de dimensão, tempo e massa de alguns fenômenos ou corpos do Universo.

Quadro 3 - Comparação de diversas dimensões.

Dimensão (em metros)	Tempo (em segundos)	Massa (em quilogramas)
10^{-10} – Raio atômico	10^{-22} – Duração de uma colisão nuclear	10^{-30} – Massa do elétron
10^6 – Diâmetro da Lua	10^9 – Tempo que os raios X levam para atravessar uma mão	10^{-27} – Massa do próton
10^7 – Diâmetro da Terra	10^3 – Tempo que a luz leva para percorrer a distância entre o Sol e a Terra	10^{-9} – Massa de uma partícula de poeira
10^{11} – Distância da Terra ao Sol	10^4 – Uma hora	10^2 – Massa do ser humano
10^{16} – Distância da estrela mais próxima do Sol (próxima Centauro)	10^7 – Um ano	10^{30} – Massa do Sol
10^{21} – Diâmetro da Via Láctea	10^{18} – Idade do Universo	10^{42} – Massa da Via Láctea

Fonte: adaptado de Halliday; Resnick; Walker, 2012.

Movimento Circular Uniforme

Se uma partícula descreve uma circunferência ou arco de circunferência de raio r com velocidade constante v , trata-se de um movimento circular uniforme. Nesse caso, a partícula possui uma aceleração \vec{a} cujo módulo é dado por

$$a = \frac{v^2}{r} \quad (2)$$

Esta aceleração se deve a uma força centrípeta \vec{F} cujo módulo é dado por

$$F = \frac{mv^2}{r} \quad (3)$$

O vetor \vec{a} aponta para o centro da circunferência e é chamado de aceleração centrípeta. O tempo que a partícula leva para descrever uma circunferência completa é dado por

$$T = \frac{2\pi r}{v}. \quad (4)$$

O parâmetro T é chamado de período de revolução ou, simplesmente, período (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012, p.73).

Relatividade do Movimento

A velocidade de uma partícula depende do referencial de quem está observando ou medindo a velocidade. Um referencial é um objeto no qual está fixado um sistema de coordenadas (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012, p. 77).

Quando dois referenciais A e B estão se movendo um em relação ao outro com velocidade constante, a velocidade de uma partícula P, medida por um observador do referencial A, é em geral diferente da velocidade medida por um observador do referencial B. as duas velocidades estão relacionadas através da equação

$$\vec{v}_{PA} = \vec{v}_{PB} + \vec{v}_{BA}, \quad (5)$$

onde \vec{v}_{BA} é a velocidade de B em relação a A.

A aceleração de uma partícula medida por observadores em referenciais que se movem com velocidade constante um em relação ao outro é exatamente a mesma (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012, p. 77).

$$\vec{a}_{PA} = \vec{a}_{PB}. \quad (6)$$

O Big Bang

Em 1985, um físico comentou em um encontro científico:

É tão certo que o universo começou com um big bang, há cerca de 15 bilhões de anos, como é certo que a Terra gira em torno do Sol.

Essa declaração mostra a confiança que muitos cientistas depositam na teoria do *Big Bang*, proposta pela primeira vez pelo físico belga Georges Lemaître em 1927 (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.381).

É importante destacar que o *Big Bang* não foi algo como a explosão de uma bomba gigantesca, que alguém poderia, pelo menos em princípio, observar à distância. Para os cosmólogos, o *Big Bang* representa o começo do próprio espaço-tempo. Não existe um ponto no espaço atual para o qual os cientistas possam apontar e dizer: “O *Big Bang* aconteceu

aqui”. O *Big Bang* aconteceu em toda parte. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.382).

Além disso, não faz sentido falar do que existia “antes do *Big Bang*”, já que o tempo começou no instante do *Big Bang*. Nesse contexto, a palavra “antes” deixa de ter significado. Por outro lado, intervalos de tempos sucessivos após o *Big Bang*. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.382).

$t \approx 10^{-43} \text{s}$. Este é o primeiro instante no qual faz sentido falar a respeito da evolução do universo. Nesse momento os conceitos de espaço e tempo adquirem o significado atual, e as leis da física como se conhece podem ser aplicadas. Nesse instante o universo inteiro é muito menor que um próton, e a temperatura da ordem de 10^{32}K . Flutuações quânticas da estrutura do espaço-tempo são as sementes que mais tarde levam à formação de galáxias, aglomerados de galáxias e superaglomerados de galáxias (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.382).

$t \approx 10^{-34}$. Nesse instante o universo sofre uma inflação extremamente rápida, que multiplica seu tamanho por um fator de ordem de 10^{-30} , causando a formação de matéria com uma distribuição estabelecida pelas flutuações quânticas iniciais. O universo se torna uma mistura de fótons, quarks e léptons a uma temperatura de ordem de 10^{-27}K , alta demais para que prótons e nêutrons se formem. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.382).

$t \approx 10^{-4} \text{s}$. Os quarks se combinam para formar prótons, nêutrons e as antipartículas correspondentes. O universo já esfriou a tal ponto, por causa da expansão continuada (embora uma taxa muito menor que na fase de inflação), que os fótons não têm energia suficiente para desintegrar as partículas recém-formadas. Partículas de matéria e antimatéria colidem e se aniquilam mutuamente. Existe um pequeno excesso e sobrevive para dar origem ao mundo de matéria que se conhece hoje (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.382).

$t \approx 1 \text{ min}$. O universo esfriou o suficiente para que prótons e nêutrons, ao colidirem, possam formar os núclídeos leves ^2H , ^3He , $^4\text{He}^+$ e ^7Li . As abundâncias relativas previstas para esses núclídeos são as mesmas que se observa hoje em dia. Existe muita radiação presente, mas os fótons não conseguem percorrer distâncias apreciáveis sem interagir com o plasma constituído por íons positivos e elétrons livres; por essa razão, o universo é opaco (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.382).

$t \approx 379\,000$. A temperatura caiu para 2970 K, e elétrons se combinam com íons para formar átomos. Como a interação dos fótons com átomos neutros é muito menor que com

plasmas, a luz agora pode percorrer grandes distâncias sem interagir com a matéria. A radiação existente nessa época sobrevive para se tornar a radiação cósmica de fundo. Os átomos de hidrogênio e de hélio, por influência da gravidade, começam a se aglomerar, dando início à formação das estrelas e galáxias; até que isso aconteça, porém, o universo é relativamente escuro (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.383).

2.3.2 Radioatividade

A descoberta do Núcleo

Nos primeiros anos do século XX, praticamente, a única coisa que se sabia a respeito da estrutura dos átomos era que se tinham elétrons. O elétron tinha sido descoberto por J.J. Thomson, em 1897, mas sua massa era desconhecida. Assim não era possível dizer nem mesmo quantos elétrons (que por convenção eram conhecidos, negativamente carregados) que um átomo continha. Os físicos já sabiam que os átomos eram eletricamente neutros, e, portanto, tinham que conter também cargas positivas, mas ninguém sabia como eram essas cargas positivas. Em 1911, Ernest Rutherford sugeriu que a carga positiva estava concentrada no centro do átomo, formando o núcleo, e que, além disso, o núcleo era responsável pela maior parte da massa do átomo (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.304).

A sugestão de Rutherford não era uma simples especulação, mas se baseava nos resultados de um experimento proposto por ele e executado por mais dois colaboradores: Hans Geiger (o inventor do contador Geiger) e Ernest Marsden, um estudante de 20 anos que ainda não havia terminado o curso de graduação na época de Rutherford. Já se sabia que certos elementos ditos radioativos se transformam espontaneamente em outros elementos emitindo partículas no processo, um desses elementos é o gás radônio que emite partículas Alfa com uma energia de aproximadamente 5,5 MeV. Hoje sabe-se que as partículas são núcleos de átomos de hélio. A ideia de Rutherford era fazer as partículas Alfa incidirem em uma folha fina de metal e medir o desvio da trajetória das partículas ao passarem pelo material. As partículas Alfa cuja massa é cerca de 7300 vezes maior que a do elétron, tem uma carga de $+2e$. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.304).

A fonte de partículas Alfa era um tubo de vidro de paredes finas contendo radônio. O experimento consistia em medir o número de partículas Alfa em função do ângulo de espalhamento ϕ . O ângulo do espalhamento é pequeno para grande maioria das partículas, entretanto, esta foi a grande surpresa, pois poucas partículas apresentam ângulos de espalhamento extremamente elevados próximos de 180 graus. Nas palavras de Rutherford:

“Foi a coisa mais incrível que aconteceu em toda minha vida. É como se você desse um tiro de canhão em uma folha de papel e a bala ricocheteasse” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.304).

Por que Rutherford ficou tão surpreso? Na época em que o experimento foi realizado, a maioria dos físicos acreditava no poder do “pudim de passas” para o átomo, proposto por J.J. Thomson. De acordo com o modelo a carga positiva do átomo deve estar uniformemente distribuída em todo volume do átomo, os elétrons (“as passas” do modelo) vibravam em torno de posições fixas no interior dessa esfera de carga positiva “o pudim” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.304).

A força experimentada por uma partícula Alfa, ao passar por uma esfera de carga positiva do tamanho de um átomo, produziria uma deflexão menor que 1 grau. A deflexão esperada foi comparada por um pesquisador ao que aconteceria se alguém desse um tiro em um saco cheio de bolas de neve. Os elétrons do átomo praticamente não afetariam a partícula Alfa, muito mais pesada. Na verdade os elétrons é que seriam espalhados para todos os lados como uma nuvem de mosquitos atingida por uma pedra. Para sofrer uma deflexão de mais de 90 graus, raciocinou Rutherford, a partícula Alfa teria que ser submetida a uma força considerável, essa força poderia ser explicada se a carga positiva em vez de espalhar por todo átomo estivesse concentrada em uma pequena região central. Nesse caso, a partícula Alfa poderia se aproximar muito da carga positiva sem atravessá-la, e esta aproximação resultaria em uma força considerável.

A maioria das partículas não sofre nenhuma deflexão ou sofre apenas uma pequena deflexão, mas umas poucas (aquelas que por acaso passam nas proximidades de um núcleo) sofrem grandes de flexões. Analisando os dados, Rutherford chegou à conclusão de que o raio do núcleo era aproximadamente 10^4 vezes maior que a do átomo. Em outras palavras o átomo era composto praticamente de espaço vazio (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.305).

Descoberta da Radioatividade

Em 1896, Henri Becquerel estava trabalhando com compostos contendo o elemento urânio. Para sua surpresa, ele descobriu que placas fotográficas protegidas da luz ficavam veladas, ou parcialmente expostas, quando esses compostos de urânio eram mantidos nas proximidades das placas. Essa exposição sugeria que algum tipo de raio havia passado pela proteção das placas. Descobriu-se também que vários outros materiais além do urânio também emitiam esses raios penetrantes. Entre eles e estava um material

chamado radio e por isso, todos os materiais que emitiam esse tipo de radiação são chamados radiativos ou que sofrem o decaimento radiativo (NOTO, OTTO, 2000, p.2)

Em 1899 Ernest Rutherford descobriu que os compostos de urânio produzem três tipos diferentes de radiação. Ele separou as radiações de acordo com seu poder de penetração e chamou-as radiação alfa, beta e gama. A radiação alfa pode ser bloqueada por uma folha de papel. Posteriormente, Rutherford descobriu que a radiação alfa era constituída de núcleos de átomos de hélio (He) em alta velocidade. Partículas beta foram posteriormente identificadas como elétrons em alta velocidade. Cerca de 6 mm de alumínio são necessários para parar a maioria das partículas beta. Vários centímetros de chumbo podem ser necessários para bloquear os raios gama, que descobriu-se que são fótons de alta energia (NOTO, OTTO, 2000, p.2).

Massa e energia de ligação

As massas atômicas são frequentemente expressas em termos de excesso de massa

$$\Delta = M - A \quad (\text{excesso de massa}), (7)$$

onde M é a massa real do átomo em unidades de massa atômica e A é o número de massa do núcleo do átomo. A energia de ligação de um núcleo é a diferença

$$\Delta E_{el} = \Sigma(mc^2) - Mc^2 \quad (\text{energia de ligação}). (8)$$

A massa M de um núcleo é menor que a massa total Σm das partículas que o compõem. Isso significa que a energia de repouso Mc^2 de um núcleo é menor que a energia de repouso total (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.309).

Decaimento radioativo

A maioria dos núcleos conhecidos é radioativa. Os núcleos radioativos emitem espontaneamente uma ou mais partículas transformando-se em outro nuclídeo, que ocupam no lugar diferente na carta de nuclídeos. O decaimento radioativo foi a primeira indicação de que as leis que governam o mundo subatômico são estatísticas. Considere por exemplo uma amostra de 1 mg de Urânio. A amostra contém $2,5 \times 10^{18}$ átomos de radionuclídeo de longa vida ^{238}U . Os átomos presentes na amostra foram criados em supernovas, provavelmente muito antes da formação do sistema solar. Em um segundo apenas, 12 dos núcleos presentes na amostra se desintegram emitindo uma partícula Alfa para se transformar em núcleos de ^{234}Th (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.312).

Embora seja impossível prever quais serão os núcleos a decair pode-se dizer que se uma amostra contém N núcleos radioativos a taxa de decaimento dos núcleos, $-dN/dt = \lambda N$ é proporcional a N :

$$\frac{-dN}{dt} = \lambda N, (8)$$

onde λ , a constante de desintegração (ou constante de decaimento), tem um valor diferente para cada radionuclídeo. A unidade de λ no SI é o inverso do segundo (s^{-1}).

Para determinar N em função do tempo, separa-se as variáveis escrevendo,

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt, (9)$$

E integrando ambos os membros, obtendo

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_{t_0}^t dt, (10)$$

ou

$$\ln N - \ln N_0 = -\lambda(t - t_0), (11)$$

onde N_0 é o número de núcleos radioativos em um instante inicial arbitrário t_0 . fazendo $t_0 = 0$ e transformando a diferença de logaritmos no logaritmo de uma fração, temos:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t. (12)$$

Tomando a exponencial de ambos os membros (a função exponencial é a função inversa do logaritmo natural), obtemos:

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} (13)$$

ou

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \text{ (decaimento radioativo)}. (14)$$

Onde N_0 é o número de núcleos radioativos no instante $t = 0$ e N é o número de núcleos que restam na amostra em um instante $t > 0$. Ao derivar a equação acima obtém-se:

$$R = -\frac{dN}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t} (15)$$

ou

$$R = R_0 e^{-\lambda t} \text{ (decaimento radioativo)}, (16)$$

que pode ser considerada uma forma alternativa da lei do decaimento radioativo. Sendo R a taxa de decaimento têm-se:

$$R = \lambda N, (17)$$

onde R e N , o número de núcleos radioativos que ainda não decaíram devem ser calculados ou medidos para o mesmo valor de t (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.313).

A soma das taxas de decaimento R de todos os radionuclídeos presentes em uma amostra é chamada de atividade da amostra. A unidade de atividade no SI recebe o nome de becquerel em homenagem a Henri Becquerel, o descobridor da radioatividade:

$$1 \text{ becquerel} = 1 \text{ Bq} = 1 \text{ decaimento por segundo.}$$

Uma unidade mais antiga, o Curie, continua a ser usada até hoje:

$$1 \text{ curie} = 1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq.}$$

A atividade não leva em conta os radionuclídeos presentes (depois de funcionar durante algum tempo em um reator nuclear, uma barra de combustível contém uma grande variedade de núcleos radioativos), os valores das constantes de desintegração ou os produtos de decaimento (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.313).

Frequentemente uma amostra radioativa é colocada nas proximidades de um detector, que, por razões de geometria ou de falta de sensibilidade, não registra todas as desintegrações ocorridas na amostra. Nesse caso a leitura do detector é menor que a atividade da amostra, embora em muitos casos possa ser considerada proporcional atividade medidas desse tipo não são expressas em becquerels, e sim em contagem por unidade de tempo.

Existem duas medidas principais do tempo de sobrevivência de um tipo particular de radionuclídeo. Uma dessas medidas é a meia-vida $T_{1/2}$ de um radionuclídeo, que é o tempo necessário para que N e R caiam à metade do valor inicial; a outra metade é a vida média τ , que é o tempo necessário para que N e R caiam a $1/e$ do valor inicial (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.313).

Para determinar a relação entre $T_{1/2}$ e a constante de desintegração λ faz-se $R=R_0/2$ e substitui-se t por $T_{1/2}$, obtendo a seguinte equação:

$$\frac{1}{2}R_0 = R_0 e^{-\lambda T_{1/2}}. (18)$$

Tomando o logaritmo natural de ambos os membros e explicitando $T_{1/2}$, obtemos:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}. (19)$$

Da mesma forma, para relacionar τ a λ fazemos $R=R_0/e$ substituindo t por τ e explicitando τ , obtendo:

$$\tau = \frac{1}{\lambda}. (20)$$

Esses resultados podem ser resumidos da seguinte forma:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \tau \ln 2. \quad (21)$$

a) Decaimento Alfa

A emissão de uma partícula alfa, ou o núcleo de 4He é um processo chamado decaimento radiativo. Como partículas alfas contêm 2 prótons e 2 nêutrons, elas devem ser provenientes do núcleo do átomo. Após o decaimento de uma partícula alfa, o núcleo residual terá uma massa e uma carga diferente daquelas do núcleo original. A mudança na carga nuclear (diminuição em duas unidades) significa que o elemento inicial foi mudado em um outro, no que é chamado transmutação (NOTO, OTTO, 2000, p.3)

O velho sonho dos alquimistas, a transmutação, pode então ser realizada nesses processos de decaimento radiativo ou por reações nucleares. O número de massa A da partícula alfa é 4 e portanto o número de massa A do núcleo decaindo será reduzido de 4 unidades, assim como o número atômico é reduzido de 2 unidades. Isso pode ser escrito em uma equação, similar a uma reação química. Por exemplo, para o decaimento de um isótopo do elemento seaborgio, o ^{263}Sg :

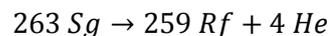
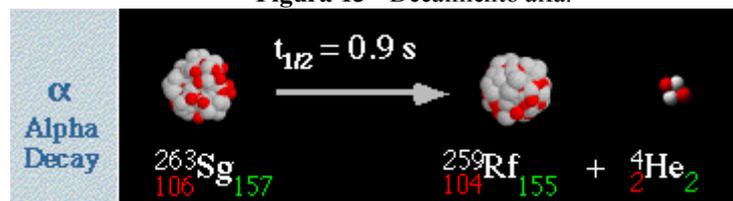


Figura 13 - Decaimento alfa.

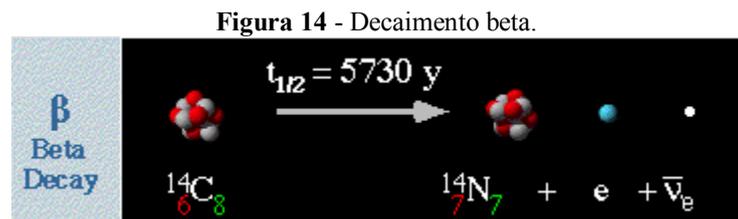


Fonte: <<http://portal.if.usp.br/fnc/pt-br/p%C3%A1gina-de-livro/livro-abc-da-f%C3%ADsica-nuclear>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

O número atômico do núcleo muda de 106 para 104, produzindo o rutherfordio, com massa atômica $263 - 4 = 259$. O decaimento alfa ocorre tipicamente em núcleos muito pesados, onde a repulsão eletrostática entre os prótons no núcleo é muito grande. Energia é liberada no decaimento alfa de um núcleo. Medidas cuidadosas mostram que a soma das massas do núcleo filho e a da partícula alfa é ligeiramente menor que a massa do núcleo pai. A famosa relação de Einstein, $E=mc^2$, que diz que a massa é equivalente a uma quantidade de energia explica o ocorrido, dizendo que a massa que desaparece no processo é convertida na energia cinética dos produtos da reação (NOTO, OTTO, 2000, p.2)

b) Decaimento Beta

Partículas beta são partículas carregadas negativamente (elétrons) emitidas pelo núcleo. Como a massa do elétron é uma pequeníssima fração de uma unidade de massa atômica, a massa do núcleo que sofre decaimento beta é alterada somente por uma quantidade muito pequena. O número de massa do núcleo não é alterado. O núcleo não contém elétrons. O elétron emitido no decaimento beta corresponde na verdade à transmutação de um nêutron em um próton, dentro do núcleo. Neste processo, é criado também uma outra partícula, o neutrino, que não tendo carga e interagindo muito fracamente com a matéria, passa normalmente despercebido. No decaimento beta, o número de prótons no núcleo é aumentado de uma unidade, enquanto que o de nêutrons diminui de uma unidade. Por exemplo, o isótopo de carbono, o ^{14}C é instável e emite uma partícula beta, transmutando-se no isótopo estável de nitrogênio, o ^{14}N :

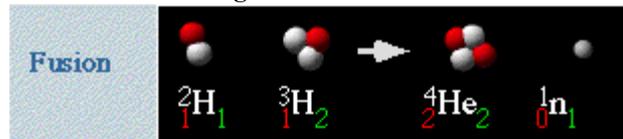


Fonte: <<http://portal.if.usp.br/fnc/pt-br/p%C3%A1gina-de-livro/livro-abc-da-f%C3%ADsica-nuclear>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

Num núcleo estável, o nêutron não decai. Um nêutron livre, ou um em um núcleo que tem muito mais nêutrons do que prótons, pode decair emitindo uma partícula beta e um neutrino. O neutrino, não tem carga e tem massa praticamente nula, mas carrega uma apreciável quantidade de energia e de momento. A pequena diminuição da massa atômica no decaimento é novamente a fonte de energia cinética das partículas emitidas (NOTO, OTTO, 2000, p.4).

Fusão Nuclear

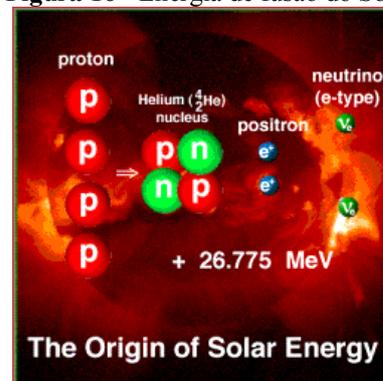
A fusão nuclear é um processo em que dois núcleos se combinam para formar um único núcleo, mais pesado. Um exemplo importante de reações de fusão é o processo de produção de energia no sol, e das bombas termonucleares (bomba de hidrogênio). Em futuros reatores de fusão nuclear a reação entre dois diferentes isótopos de hidrogênio produzindo hélio deverá ser utilizada para produção abundante de energia (NOTO, OTTO, 2000, p.8).

Figura 15 - Fusão Nuclear.

Fonte: <<http://portal.if.usp.br/fnc/pt-br/p%C3%A1gina-de-livro/livro-abc-da-f%C3%ADsica-nuclear>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

Esta reação libera uma quantidade de energia mais de um milhão de vezes maior que a que temos em uma típica reação química, como a queima de gás de cozinha. Esta enorme quantidade de energia é liberada nas reações de fusão porque quando dois núcleos leves se fundem, a massa do núcleo produzido é menor que a soma das massas dos núcleos iniciais. Mais uma vez, a equação de Einstein $E=mc^2$, explica que a massa perdida é convertida em energia, carregada pelo produto da fusão. Embora a fusão seja um processo energeticamente favorável (exotérmico) para núcleos leves, ele não ocorre naturalmente aqui na Terra, devido as dificuldades naturais para se aproximar os reagentes (devido a repulsão eletrostática entre os dois núcleos) para que as forças nucleares possam atuar (NOTO, OTTO, 2000, p.8).

Reações de fusão estão acontecendo por bilhões de anos no universo. De fato, as reações de fusão são responsáveis pela produção de energia na maioria das estrelas, incluindo o nosso sol. Cientistas na Terra foram capaz de produzir reações de fusão nuclear somente nos últimos 60 anos. Fusão entre núcleos mais pesados são produzidas, em pequenas quantidades, corriqueiramente em aceleradores de partículas. Podemos dizer que a fusão nuclear é a base de nossas vidas, uma vez que a energia solar, produzida por esse processo é indispensável para a manutenção da vida na Terra (NOTO, OTTO, 2000, p.8).

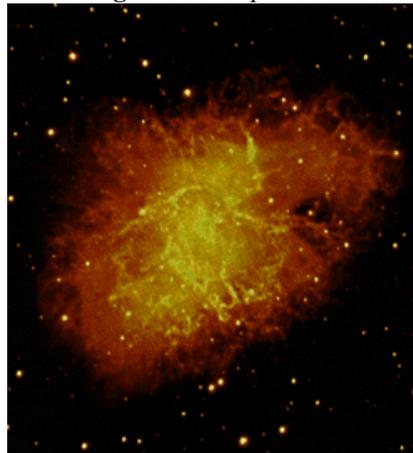
Figura 16 - Energia de fusão do Sol.

Fonte: <<http://portal.if.usp.br/fnc/pt-br/p%C3%A1gina-de-livro/livro-abc-da-f%C3%ADsica-nuclear>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

Quando uma estrela é formada, ela consiste inicialmente de hidrogênio e hélio criados no *Big Bang*, o processo que deu origem ao universo. Devido o enorme campo gravitacional, átomos de hidrogênio na estrela colidem e fundem formando núcleos de hélio. Posteriormente o hélio, colidindo com o hidrogênio e outros núcleos de hélio, vai dando origem aos elementos mais pesados. Essas reações continuam, até que o núcleo de ferro é formado (número de massa cerca de 60) (NOTO, OTTO, 2000, p.8).

A partir do Fe, não ocorre mais fusão na estrela, pois o processo passa a ser energeticamente desfavorável. Quando uma estrela converteu uma apreciável fração de seu hidrogênio e hélio em elementos mais pesados, ela passa para a etapa final de sua vida. Algumas estrelas passam a se contrair, numa bola constituída em grande parte de ferro. Entretanto, se a massa da estrela for suficientemente grande, uma tremenda, violenta e brilhante explosão pode ocorrer (NOTO, OTTO, 2000, p.8).

Figura 17 - Supernova.



Fonte: <<http://portal.if.usp.br/fnc/pt-br/p%C3%A1gina-de-livro/livro-abc-da-f%C3%ADsica-nuclear>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

A estrela subitamente se expande e produz, num pequeno intervalo de tempo, mais energia que o sol irá produzir em toda sua vida. Quando isso ocorre, dizemos que a estrela se tornou uma supernova. Quando a estrela está na fase supernova, muitas reações nucleares importantes acontecem (NOTO, OTTO, 2000, p.8).

Na explosão, os núcleos são acelerados a velocidades muito maiores que as que eles normalmente tinham na estrela. Na nova condição, os núcleos em alta velocidade colidem e podem agora fundir, produzindo os elementos com massa maior que a do ferro. A energia extra vinda da explosão é necessária para superar a enorme força repulsiva entre os núcleos devido a carga elétrica nuclear. Elementos como chumbo, ouro e prata encontrados na Terra foram antes restos da explosão de uma supernova. O ferro que

encontramos em grande parte da superfície da Terra, bem como em seu núcleo deriva-se tanto de restos de supernovas quanto de estrelas mortas (NOTO, OTTO, 2000, p.8).

Fissão do urânio: o processo básico

Figura 18 - Fissão nuclear.



Fonte: <<http://portal.if.usp.br/fnc/pt-br/p%C3%A1gina-de-livro/livro-abc-da-f%C3%ADsica-nuclear>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

Em 1932 o físico inglês James Chadwick, descobriu o nêutron, alguns anos mais tarde, o físico italiano Enrico Fermi, observou em Roma, que quando alguns elementos são bombardeados com nêutron, novos elementos são produzidos. Fermi havia previsto que um nêutron por não possuir carga elétrica, seria um projétil muito útil para estudar reações nucleares, já que ao contrário do próton e da partícula Alfa não seria repelido ao se aproximar de um núcleo. Mesmo os nêutrons térmicos que são nêutrons que se movem lentamente por estarem em equilíbrio com o meio que os rodeia, possuindo por isso uma energia cinética de 0,04 eV, à temperatura ambiente podem induzir reações nucleares (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.337).

No final da década de 1939, a física Lise Meitner, e os químicos Otto Hahn e Fritz Strassmann, trabalhando em Berlim, e continuando o trabalho de Fermi, com seus colaboradores expuseram soluções de sais de urânio a nêutrons térmicos, e descobriram que alguns produtos dessa interação eram radioativos. Em 1939, um dos radionuclídeos produzidos dessa forma foi identificado, sem sombra de dúvida, como sendo o bário. Como era possível que a reação do urânio com nêutrons pudesse produzir um elemento de massa moderada como o bário? (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.337).

Uma solução para o enigma foi encontrada algumas semanas mais tarde por Meitner, e o sobrinho Otto. Segundo os dois pesquisadores, o núcleo de urânio depois de absorver um nêutron térmico se dividir com liberação de energia em dois fragmentos aproximadamente iguais, um dos quais era o bário. A esse processo Frisch chamou de fissão (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.337).

O papel importante de Meitner na descoberta da fissão foi conhecido apenas recentemente através de Pesquisas históricas. Ela não dividiu com Hahn o prêmio Nobel de química que o químico alemão recebeu em 1944 pela descoberta, mas um elemento foi

batizado em sua homenagem, o meitnerio (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.337).

Os números de massa mais prováveis que estão presentes em cerca de 7% dos eventos são $A = 95$ e $A = 140$, curiosamente essa distribuição bimodal ainda não foi explicada teoricamente (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.304).

Como seria de se esperar os números de massa 140 e 94 fragmentos permanecem inalterados durante os processos de decaimento Beta, e os números atômicos que são iguais inicialmente 54 e 38 aumentam de uma unidade a cada decaimento (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.304).

Examinando a faixa de estabilidade da carta de nuclídeos, é possível ver porque os fragmentos da fissão são instáveis, a razão é aproximadamente a mesma nos fragmentos da fissão no caso dos elementos estáveis de massa intermediária, porém a razão entre o número de nêutrons e o número de prótons é menor da ordem de 1,3 a 1,4. Os fragmentos possui, portanto, um excesso de nêutrons, e tendem a ejetar imediatamente alguns desses prótons. Mesmo assim os fragmentos continuam acontecer, outros demais para serem estáveis. O decaimento Beta elimina o excesso de nêutrons dos fragmentos, transformando alguns nêutrons e prótons. Pode-se estimar a energia liberada pela função de um núcleo pesado calculando a energia de ligação por núcleo antes e depois da fissão. Para essa estimativa supõe-se que a função transforma um núcleo pesado em dois núcleos de massa intermediária com o mesmo número de nêutrons (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.304).

Energia Nuclear

Atualmente, o principal uso dado à energia nuclear é a geração de energia elétrica. As usinas de energia nuclear são responsáveis por fazer esse processo. Quase todas as usinas nucleares em produção usam a fissão nuclear, uma vez que a fusão nuclear, apesar de estar em desenvolvimento, atualmente é inviável (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.336).

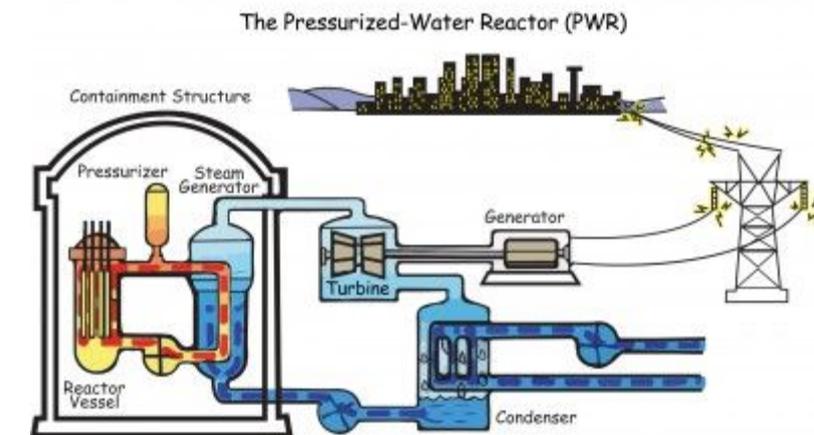
A operação de uma usina de energia nuclear é idêntica à operação de uma usina de energia termoeletrica que opera com carvão, petróleo ou gás, exceto no fornecimento de calor para a água para converter este em vapor. Nos reatores nucleares, este processo de produção de calor é feito pelas reações de fissão dos átomos de combustível (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.340).

90% dos reatores de energia nuclear no mundo, ou seja, reatores para produção de energia elétrica, são reatores de água leve (em água pressurizada ou versões de água fervente) (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.341).

Uma variedade de tipos de reatores nucleares está disponível para operar em uma usina de energia nuclear. No entanto, todos os tipos de reatores nucleares têm o mesmo objetivo: usar o calor das reações de fissão nuclear para dirigir as turbinas que irão gerar eletricidade (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.341).

De todos os tipos de reatores nucleares, dois destacam: o reator de água pressurizada nuclear (PWT) E o reator nuclear de água fervente (BWR). O reator de água pressurizada é o mais utilizado no mundo que será apresentado de forma simplificada em seguida.

Figura 19 - Operação de uma usina de energia nuclear.



Fonte: <<https://pt.energia-nuclear.net/como-funciona-a-energia-nuclear.html>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

O princípio básico da execução de uma usina de energia nuclear com um reator de água pressurizada pode ser simplificado nestes 4 passos:

- Obter energia térmica por fissão nuclear do núcleo de átomos de combustível nuclear.
- Gerar vapor no gerador de calor por meio da energia térmica obtida anteriormente.
- Operar um conjunto de turbinas usando o vapor obtido.
- Aproveitar a energia mecânica das turbinas para conduzir um gerador elétrico. Este gerador elétrico gerará eletricidade.

Do ponto de vista físico, observam-se várias mudanças de energia: inicialmente temos energia nuclear (que mantém os núcleos da coesão dos átomos), mais tarde, quando está quebrada, torna-se energia térmica. Parte da energia térmica é convertida em energia interna da água tornando-se vapor de acordo com os princípios da termodinâmica. A energia interna e

a energia térmica da água são transformadas em energia cinética quando a turbina é atuada. Finalmente, o gerador converte a energia cinética em energia elétrica (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.342).

Reator nuclear

O princípio básico do desempenho de uma usina de energia nuclear é baseado na obtenção de energia térmica através da fissão nuclear do núcleo dos átomos do combustível. Essa energia de calor, já sendo vapor, será convertida em energia mecânica por uma turbina e, no final, essa energia mecânica será convertida em energia elétrica por um gerador. O reator nuclear é responsável por aumentar e manipular essa fissão atômica que gera muito calor. Com este calor, o reator converte água em vapor a alta temperatura e pressão (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.343).

Geração de eletricidade

O vapor sai do edifício de contenção devido à alta pressão a que está sujeito, até atingir a turbina e o vapor faz girar a turbina. Neste momento, parte da energia térmica do vapor está sendo transformada em energia cinética. Esta turbina está conectada a um gerador elétrico pelo qual a energia cinética é transformada em energia elétrica (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.343).

Por outro lado, o vapor de água que saiu da turbina, embora tenha perdido energia calorífica, continua sendo em estado de gás e muito quente. Para reutilizar a água contida no vapor de água mencionado, é necessário refrigerá-lo antes de introduzir a água de volta ao circuito. Uma vez que está fora da turbina, o vapor passa para uma câmara de condensação onde esfria ao entrar em contato com oleodutos de água fria. O vapor de água torna-se líquido e usando uma bomba, a água é enviada de volta ao reator nuclear para que o ciclo possa começar de novo (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.344).

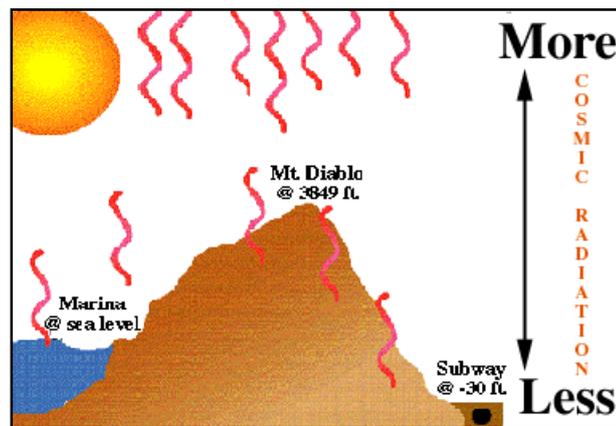
É por isso que as plantas nucleares são sempre instaladas perto de um abundante abastecimento de água fria (mar, rio, lago) para levar esta água para a câmara de condensação. A coluna de fumaça branca que pode ser vista emergindo de algumas plantas é o vapor levantado quando este troca de calor (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.344).

Raios cósmicos

Elétrons, prótons e núcleos complexos de alta energia podem ser produzidos em uma diversidade de ambientes astronômicos. Essas partículas viajam através do universo e

são chamadas raios cósmicos e muitas dessas partículas acabam alcançando nosso planeta. Quando esses objetos atingem a atmosfera terrestre, outras partículas chamadas píons e múons são produzidas. Essas partículas então são freadas por colisões com outros átomos na atmosfera. Devido a esse processo de freamento, quanto mais alto na atmosfera, mais radiação cósmica é encontrada. Ao escalar uma alta montanha ou viajando em aviões, recebe-se uma maior dose de radiação cósmica que permanecendo-se ao nível do mar (NOTO, OTTO, 2000, p.10).

Figura 20 - Raios Cósmicos.



Fonte: <http://portal.if.usp.br/fnc/pt-br/p%C3%A1gina-de-livro/livro-abc-da-f%C3%ADsica-nuclear>. Acesso em 31 jul. 2017.

A maioria dos raios cósmicos é muito energética podendo facilmente atravessar vários centímetros de chumbo. Como a radiação cósmica, atingindo organismos vivos pode causar alterações genéticas, muitos cientistas acreditam que essa radiação tem sido importante no processo evolutivo da vida em nosso planeta. Embora a radiação cósmica possa causar danos em indivíduos, ela deve ter tido também um papel importante no aparecimento da espécie humana. De qualquer forma, nossa atmosfera é uma proteção natural contra os raios cósmicos. Astronautas e viajantes espaciais em longas viagens deverão encontrar um modo eficiente para minimizar a exposição aos raios cósmicos (NOTO, OTTO, 2000, p.10).

Datação Radioativa

Os nuclídeos radioativos naturais podem ser usados para estimar as datas de eventos históricos e pré-históricos. Assim, por exemplo, muitas vezes é possível estimar a idade de uma substância orgânica medindo o teor de ^{14}C e datar rochas com o auxílio do isótopo radioativo ^{40}K (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.321).

3 METODOLOGIA

O objetivo deste capítulo é descrever a metodologia da pesquisa, sujeitos investigados, instrumentos de coleta de dados e procedimentos para análise dos resultados.

3.1 A Pesquisa

O trabalho se insere no contexto da pesquisa qualitativa, na perspectiva da investigação de Alves (1991, p. 55), quando destaca que “não se pode deixar de valorizar a imersão do pesquisador no contexto, em interação com os participantes”. Sendo assim, “é compreensível que o foco de estudo vá sendo progressivamente ajustado durante a investigação e que os dados dela resultantes sejam predominantemente descritivos” (ALVES, 1991, p.55).

O termo pesquisa qualitativa“ [...] tem sido usado alternativamente para designar várias abordagens à pesquisa em ensino, tais como *pesquisa etnográfica, participativa observacional, estudo de caso, fenomenológica construtivista, interpretativa, antropológica cognitiva*” (MOREIRA, 2009, p. 25).

Ao buscar identificação com tais abordagens, a qual também prevê a transformação de dados e eventualmente o uso de sumários, classificações e tabelas (MOREIRA, 2009, p. 27), a presente pesquisa teve como foco as impressões dos professores no que se refere a compreensão da abordagem progressiva, recursiva e heurística do material elaborado para o ensino de FMC em nível médio.

3.2 Sujeitos

O foco da investigação foram professores do Ensino Médio (EM). Inicialmente pretendia-se investigar o corpo docente do Colégio Estadual José Patrocínio, entretanto no decorrer da pesquisa, em virtude da escola possuir apenas um professor de Física, além da autora, optou-se por entrevistar professores de outras escolas também. Sendo assim, cinco professores participaram da investigação, todos da rede estadual de ensino, dos quais alguns lecionam também na rede particular.

Apesar da proposta de ensino com foco na formação de professores, optou-se por uma sondagem inicial que considerasse também alunos, a fim de levantar aspectos presentes no cotidiano escolar que indicassem suas concepções sobre o ensino da Física Moderna e

Contemporânea (FMC) no contexto do terceiro ano do EM do Colégio Estadual José do Patrocínio, cidade de Campos dos Goytacazes – RJ.

3.3 Instrumentos e análise dos dados

Foram utilizados como instrumentos para coleta de dados questionário *on line* aplicado a alunos do terceiro ano (Apêndice A), entrevista com os cinco professores de Física (Apêndice B), elaboração e aplicação das UEPS em turmas do Ensino Médio (Apêndice C e D) e, por último, aplicação de um questionário (Apêndice E) para a avaliação das UEPS pelos professores.

a) Questionário *on line* aplicado aos alunos

O objetivo do questionário² aplicado aos alunos (Apêndice A) foi realizar uma sondagem inicial sobre o ensino da FMC com os alunos de terceiro ano do EM do Colégio Estadual José do Patrocínio, escola na qual foram aplicadas as UEPS.

Foram elaboradas questões objetivas, em formatos variados e em cada uma delas, os alunos puderam *mostrar as impressões que eles têm do ensino dos tópicos da FMC pelos professores, das estratégias utilizadas*, além de responderem a algumas perguntas sobre temas relacionados ao *conteúdo de FMC, à ciência e à tecnologia*.

b) Entrevista com os professores de Física

Para traçar o perfil destes docentes foi realizada uma entrevista com os seguintes objetivos: *Verificar a trajetória profissional, aspectos da formação universitária e a atuação docente; Investigar a ocorrência ou não do ensino da Física Moderna e Contemporânea (FMC), mais especificamente, os tópicos constantes nas UEPS; Identificar estratégias de ensino, formas de avaliar os conteúdos; Identificar as dificuldades enfrentadas para o ensino de FMC*.

Da base teórica de Tardif (2002) buscou-se identificar aspectos que demonstrem como o professor incorpora e modifica os saberes utilizados em sala de aula em função do contexto de trabalho, e quais saberes são construídos pelos professores no momento que introduzem metodologias inovadoras em sala de aula, neste caso, a utilização das UEPS no ensino de

² Para que este questionário chegasse à maior parte dos alunos, o mesmo foi elaborado em um formulário *on line* no *Google Drive*, que é uma “ferramenta que permite planejar eventos, enviar pesquisas, aplicar testes para alunos e colher informações, de forma direta” (GOOGLE, 2015). O formulário foi disponibilizado em endereço eletrônico e, ao ser preenchido pelos alunos, as respostas apareceram imediatamente na página do *Google Forms*, organizadas em uma tabela, o que facilitou a análise dos dados.

FMC. Para isso foram estabelecidas três categorias de análise: a) Trajetória profissional e acadêmica; b) Ensino de FMC; c) Dificuldades enfrentadas.

c) Questionário de avaliação das UEPS aplicado aos professores

Este questionário foi aplicado aos professores ao final das intervenções, por meio das UEPS realizadas em sala de aula. O objetivo foi *avaliar se o professor conseguiu compreender a ênfase progressiva, recursiva e heurística dada às atividades propostas nas UEPS*.

Comparando com os pressupostos de Tardif (2002) e da teoria de Gowin (1981), foram analisadas as impressões dos professores ao avaliar o potencial da proposta, dar sugestões e utilizá-la em suas aulas, como foi o caso de um professor participante da pesquisa.

4 DESCRIÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

O cerne deste trabalho é a reunião de todo o material produzido durante a pesquisa que servirá de apoio aos professores de Física do Ensino Médio. Este trabalho não tem a pretensão de resolver o problema do ensino dos tópicos da FMC no EM e nem traz algo inédito, que professores não tenham utilizado em sua prática docente. Entretanto, pretende-se mostrar que a forma de organização dos recursos disponíveis (textos, vídeos, simulações, experimentos, etc...) por meio das UEPS pode se constituir em um material de grande potencial para auxiliar no ensino da FMC.

Sendo assim, o objetivo foi elaborar e aplicar sequências didáticas em duas séries do EM com o conteúdo referente àquele bimestre.

4.1 Conteúdos abordados

Os conteúdos abordados nas UEPS estão presentes no currículo mínimo de Física do estado do Rio de Janeiro (RIO DE JANEIRO, 2012) que contempla os temas de FMC em todas as séries do Ensino Médio, trazendo as competências e habilidades a serem desenvolvidas pelos alunos no decorrer do período de cada bimestre. Sendo assim, cada intervenção foi planejada para ser aplicada durante um bimestre.

Para tanto, os materiais utilizados como recursos foram cuidadosamente selecionados. Pois a finalidade é contribuir para a mudança, pelo menos em parte, da questão levantada neste trabalho. Ou seja, propiciar aos professores de Física um material que seja potencialmente significativo, e que os estimule a ensinar a FMC.

4.1.1 Cosmologia

O tópico de Cosmologia se insere no currículo do primeiro ano do EM sendo composto por um núcleo de competências, habilidades e conteúdos que os alunos devem desenvolver e aprender ao longo da primeira série, tendo em comum leis e princípios que se aplicam ao estudo do Movimento e da Astronomia. Sendo assim, as competências e habilidades propostas pelo Currículo Mínimo (RIO DE JANEIRO, 2012, p. 5) e que estão presentes na UEPS Cosmologia (Apêndice C) são:

- Comparar as ideias do Universo geoestático de Aristóteles-Ptolomeu e heliostático de Copérnico-Galileu-Kepler.
- Conhecer as relações entre os movimentos da Terra, da Lua e do Sol para a descrição de fenômenos astronômicos (duração do dia/noite, estações do ano, fases da lua, eclipses, marés, etc.).
- Reconhecer ordens de grandeza de medidas astronômicas. Compreender a relatividade do movimento.
- Compreender os conceitos de velocidade e aceleração associados ao movimento dos planetas.
- Apresentar os modelos cosmológicos modernos, em especial, a teoria do Big Bang como um modelo sofisticado para a evolução do Universo.

Partindo dessas competências e habilidades, as aulas contemplaram conteúdos que vão desde os modelos de universo geocêntrico e heliocêntrico até modelos cosmológicos modernos, com destaque para a teoria do Big Bang. No andamento das aulas, foram estudados também os fenômenos astronômicos, ordem de grandeza de medidas astronômicas, relatividade do movimento, conceitos de velocidade e aceleração associados ao movimento dos planetas e satélites, incluindo assim as Leis de Kepler e a Teoria da Gravitação Universal.

4.1.2 Radioatividade

O tópico que se refere à Radioatividade está presente no Currículo Mínimo do quarto bimestre da segunda série do Ensino Médio. As competências e habilidades (RIO DE JANEIRO, 2012, p. 8) a serem desenvolvidas pelos alunos são apresentadas a seguir:

- Conhecer a natureza das interações e a dimensão da energia envolvida nas transformações nucleares para explicar seu uso em, por exemplo, usinas nucleares, indústria, agricultura ou medicina;
- Compreender que a energia nuclear pode ser obtida por processos de fissão e fusão nuclear; Compreender as transformações nucleares que dão origem à radioatividade para reconhecer sua presença na natureza e em sistemas tecnológicos;
- Identificar que a energia solar é de origem nuclear;
- Analisar, argumentar e posicionar-se criticamente em relação a temas de ciência, tecnologia e sociedade.

Tendo como base as competências e habilidades acima indicadas, as quais estão interrelacionadas com conteúdos específicos no desenvolvimento do tema, as aulas abrangem a descoberta da radioatividade, os processos de fissão e fusão nuclear, as aplicações da radioatividade, obtenção da energia nuclear e usinas nucleares. A implementação das atividades ocorreu na ordem prevista na UEPS Radioatividade apresentada no Apêndice D.

4.2 Contexto da aplicação das UEPS

As UEPS elaboradas foram aplicadas em duas turmas do Ensino Médio do Colégio Estadual José do Patrocínio, situado na cidade de Campos dos Goytacazes/RJ, instituição na qual a autora deste trabalho atua como docente do quadro efetivo de Física desde 2012. A instituição pertence à rede estadual de Ensino, sob a direção da Secretaria de Estado de Educação (SEEDUC). A área de Física conta, atualmente, com quatro professores, sendo que apenas dois, possuem licenciatura em Física.

A escola possui apenas um laboratório de Ciências que era muito pouco utilizado pelos professores. Entretanto, no ano de 2014, passou por um processo de revitalização, graças ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID), com o qual a escola foi contemplada, por meio de três subprojetos (Biologia, Física e Química). A implementação do PIBID nas escolas tem por objetivo contribuir para a formação inicial dos futuros professores (CAPES, 2015). Nesse caso, a formação docente dos licenciandos do curso de Ciências da Natureza do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense *campus* Campos-centro (IF Fluminense).

Além do laboratório de Ciências, outros espaços passaram a ser mais utilizados pelos alunos, como o laboratório de informática, que por meio do PIBID, também adquiriu verbas para a realização de melhorias.

E, principalmente, o impacto positivo que o programa produziu na escola como um todo, desde a direção e professores, que estão sendo motivados e estimulados, até os alunos que estão sendo despertados para a vocação científica, evidenciando seus talentos potenciais em virtude dos variados projetos realizados pelos bolsistas na escola.

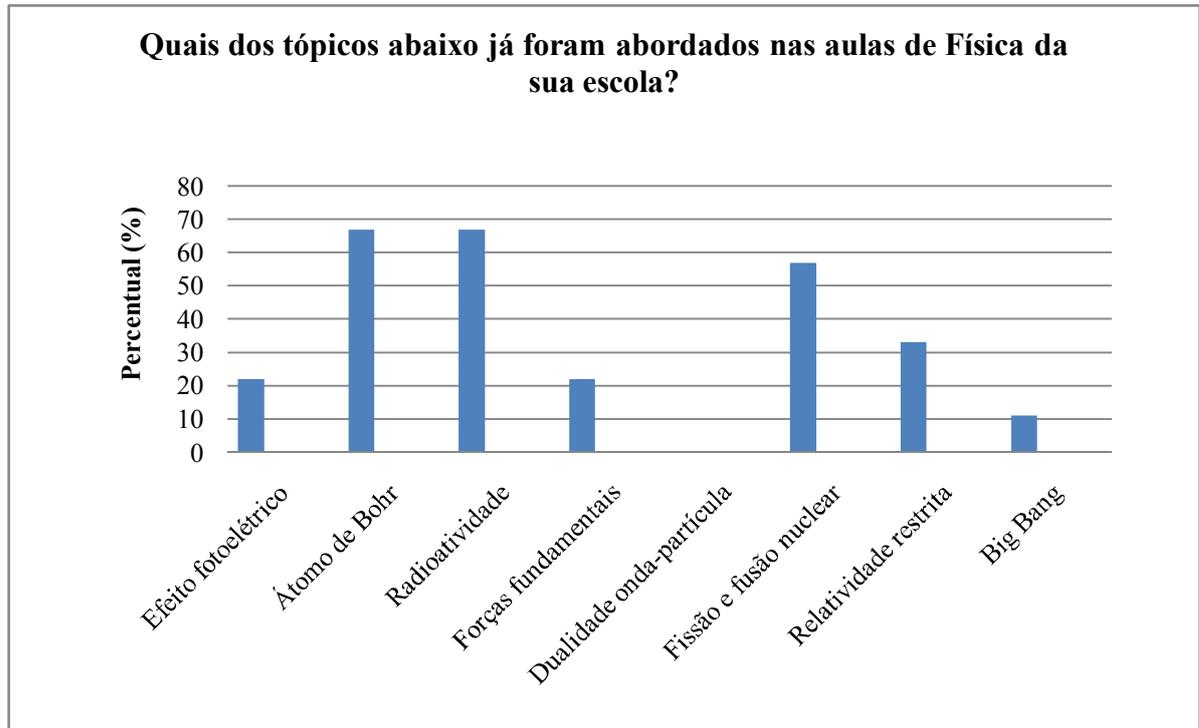
4.2.1 Panorama sobre o ensino de FMC na escola e sobre o uso de recursos diversificados

Questionário on line aplicado aos alunos

Como já salientado, o foco desta pesquisa é o ensino e, portanto, são os professores os sujeitos investigados. No entanto, por se tratar de uma sequência didática com potencial facilitador da aprendizagem, os resultados apresentados nesta subseção forneceram subsídios para a análise das respostas dos professores em sua avaliação do material produzido.

Três turmas de terceiro ano do EM participaram da pesquisa respondendo ao questionário *on line*. O Gráfico 1 apresenta a resposta dos alunos à primeira questão:

Gráfico 1 - Abordagem dos tópicos de FMC nas aulas de Física.

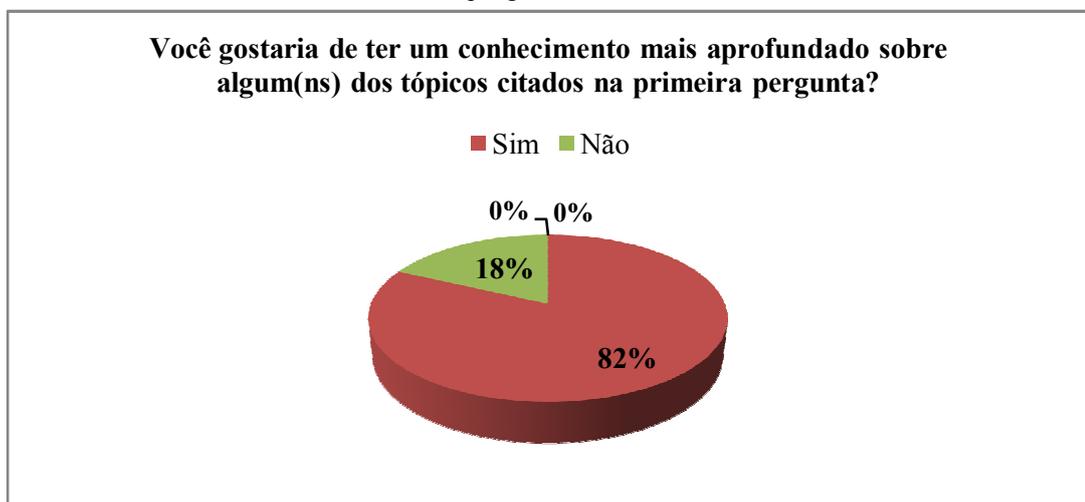


Fonte: A autora (2017)

Verificou-se que os tópicos mais citados pelos alunos são átomo de Bohr e radioatividade (cerca de 70% dos alunos). Enquanto o tópico dualidade onda-partícula não foi mencionado por nenhum dos alunos.

Com relação à segunda pergunta, o Gráfico 2 mostra que 82% dos alunos gostariam de obter um conhecimento mais aprofundado sobre um dos temas da pergunta anterior:

Gráfico 2 - Percentual de alunos que gostariam de ter mais conhecimento de FMC.

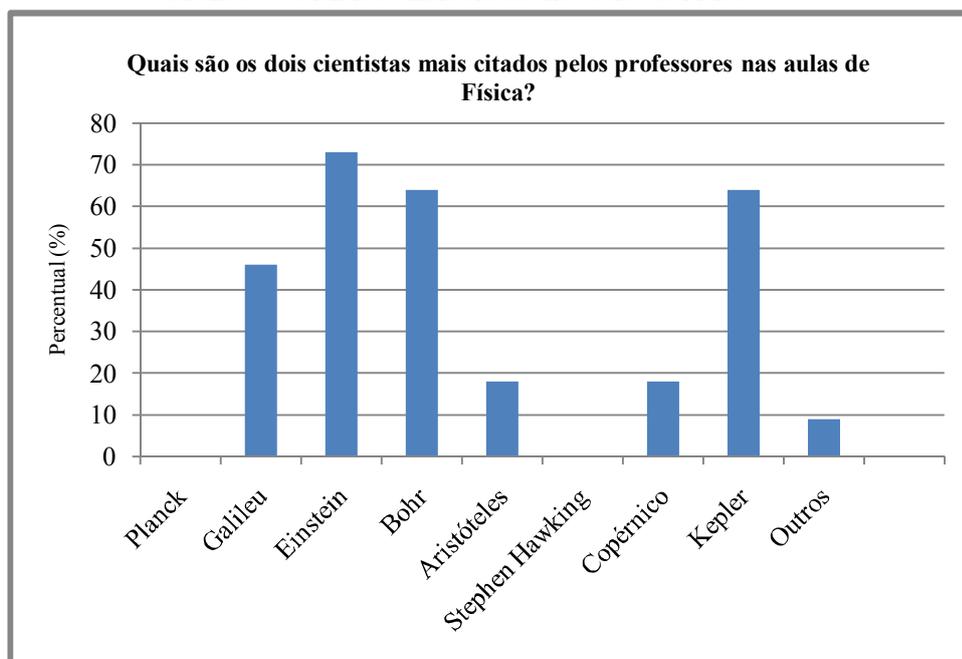


Fonte: A autora (2017)

Ainda sobre a segunda pergunta, dos alunos que responderam positivamente, 33% dos alunos escolheram *Big Bang* e Radioatividade como temas para um estudo mais aprofundado.

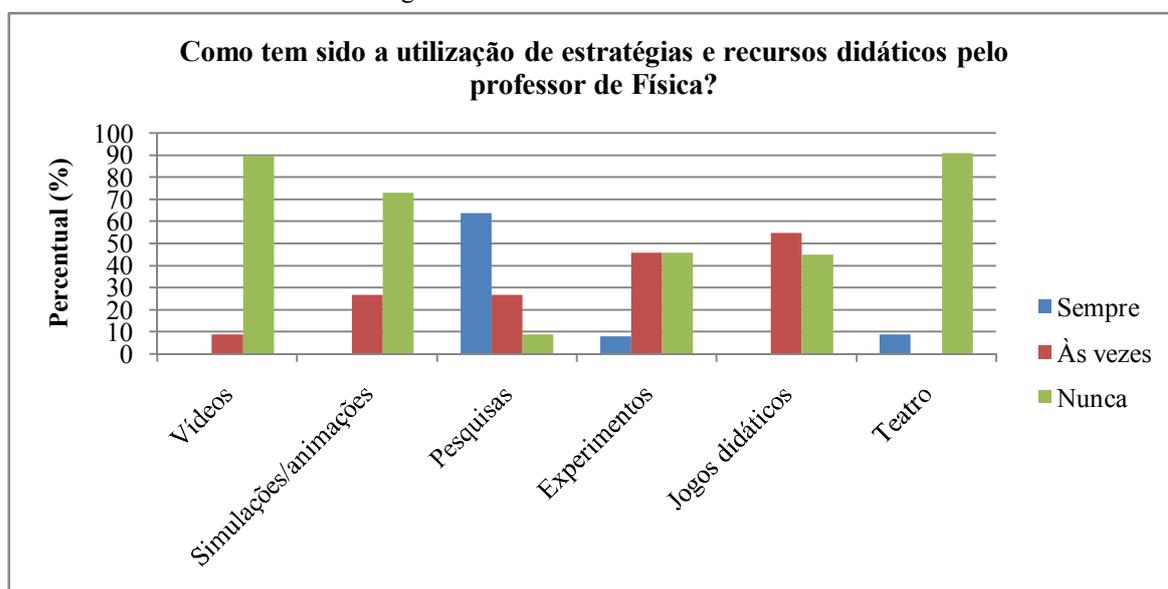
Em contrapartida, nenhum aluno mencionou efeito fotoelétrico, forças fundamentais e fissão e fusão nuclear.

Gráfico 3 - Cientistas mais citados nas aulas de Física.



Verifica-se por meio do Gráfico 3 que os cientistas mais citados pelos professores durante as aulas de física são Einstein e Bohr, enquanto Planck e Stephen Hawking não são mencionados pelos alunos.

Gráfico 4 – Estratégias e Recursos didáticos utilizados nas aulas de Física.



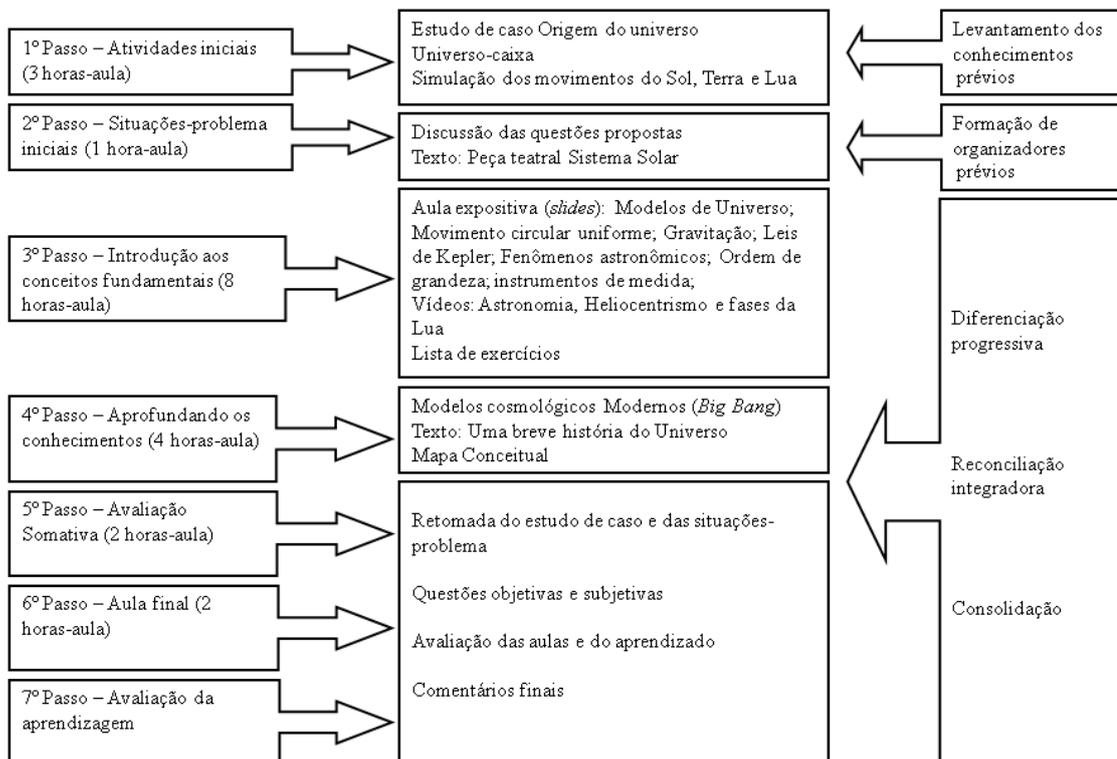
Pelo Gráfico 4 observa-se que o recurso didático predominante nas aulas de Física é a pesquisa, pois 64% dos alunos afirmaram que os professores sempre a utilizam. Entretanto, cerca de 90% dos alunos responderam que recursos como vídeo e teatro nunca foram utilizados nas aulas. Além disso, 73% dos alunos afirmaram que simulações/animações nunca foram utilizadas pelos professores.

4.3 Relato descritivo da implementação das UEPS

4.3.1 UEPS Cosmologia

As atividades propostas e a estrutura básica da UEPS Cosmologia estão representadas na figura 21.

Figura 21 - Estrutura básica da UEPS Cosmologia.



Fonte: A autora (2017)

Atividades iniciais

Inicialmente a professora explicou para os alunos que estaria desenvolvendo uma pesquisa sobre Cosmologia e que durante o bimestre eles estariam realizando atividades sobre o assunto. Em seguida, foi distribuído o texto com o estudo de caso: Origem do Universo (Apêndice F) e juntamente com os alunos, a professora fez a leitura oral do texto. Na sequência, pediu para que os estudantes respondessem os questionamentos presentes no final

do texto sem a preocupação de responder corretamente. Ao término, eles entregaram as respostas à professora.

Na sequência, a turma foi dividida em cinco grupos para que recebessem alguns materiais: caixa de papelão vazada, com furos nas laterais das arestas, fio de *nylon*, tesoura e papéis coloridos, conforme mostra a figura 22.

Figura 22 – Materiais para a confecção do universo-caixa.



Fonte: A autora (2016)

A professora pediu aos alunos para reproduzir o Universo que eles conhecem. Eles ficaram livres para confeccionar os astros e os fixar nas posições em que desejaram. Ao final, cada grupo apresentou brevemente o modelo de Universo construído.

Em continuidade, no segundo dia de aplicação da UEPS, os alunos foram novamente divididos em grupos e foi-lhes entregue um *kit* (figura 23). A professora orientou os alunos a respeito da atividade, na qual eles deveriam realizar uma simulação dos movimentos da Terra, do Sol e da Lua e as consequências destes movimentos. Então os grupos, realizaram as simulações fora da sala de aula, as quais foram gravadas em vídeo. Esse procedimento foi adotado para que fossem verificados os reais conhecimentos prévios dos alunos sem que as apresentações iniciais influenciassem as explicações dos grupos posteriores.

Figura 23 – Kit para simulação dos movimentos do Sol, Terra e Lua.



Fonte: A autora (2016)

Estas atividades foram realizadas em três horas/aula.

Situações-problema iniciais

Em seguida, os alunos receberam as situações-problema iniciais por escrito. Estas questões foram discutidas, respondidas e entregues à professora. Os alunos foram orientados a responder a atividade individualmente sem realizar pesquisas na *internet*.

Esta atividade foi realizada em uma hora/aula.

Introdução aos conceitos fundamentais

Nesta aula, a professora apresentou, de forma introdutória, o conteúdo proposto, buscando formar organizadores prévios e aguçar a curiosidade dos alunos. Para isso foram exibidos os vídeos da série ABC da Astronomia: *Astronomia e Heliocentrismo*. As figuras 24 e 25 trazem as telas capturadas dos vídeos.

Figura 24 - *Print screen* da tela do vídeo Astronomia.



Fonte: <<https://www.youtube.com/watch?v=0JfksHOJX5U>>.
Acesso em: 10 out. 2016.

Figura 25 - *Print screen* da tela do vídeo Heliocentrismo.



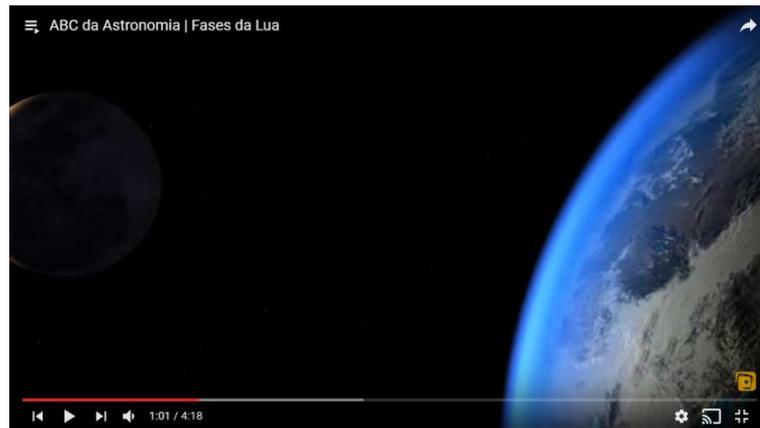
Fonte: <<https://www.youtube.com/watch?v=ZzSEIdjwOE4>>.
Acesso em: 14 nov. 2016.

Em seguida a professora ministrou uma aula expositiva com apresentação de *slides* abordando desde os mitos de criação, passando pelos modelos geocêntrico e heliocêntrico até o *Big Bang*. Em seguida, o texto da peça teatral: O SISTEMA SOLAR de Lopes (2015), foi distribuído para que os alunos lessem e fora da classe, em grupos, elaborassem um texto teatral sobre um dos tópicos da Cosmologia para ser apresentado futuramente para os colegas.

Na aula seguinte, a professora apresentou aos alunos conceitos referentes ao movimento circular uniforme, como velocidade, aceleração e força centrípeta a partir do movimento dos planetas e satélites. Além disso, foi apresentada a lei da gravitação universal e as leis de Kepler. Foi discutida a importância da Ordem de grandeza das medidas astronômicas e alguns instrumentos que são utilizados para realizar tais medidas. Os alunos resolveram alguns exercícios (Apêndice G) sobre os conceitos estudados.

Nesta aula, a professora discutiu com os alunos os fenômenos astronômicos relacionados aos movimentos da Terra e da Lua, como: dia/noite, estações do ano, fases da Lua, eclipses e marés. A professora utilizou o vídeo *Fases da Lua*, também da série ABC da Astronomia. A figura 26 mostra a captura de tela do referido vídeo.

Figura 26 - *Print screen* da tela do vídeo Fases da Lua.



Fonte: <<https://www.youtube.com/watch?v=N2wTtaJEtNY>>.
Acesso em: 14 nov. 2016.

Em seguida, foram retomados os materiais que os alunos utilizaram para simular os movimentos da Terra, Sol e Lua para a verificação da evolução da aprendizagem dos alunos sobre tais movimentos.

Estas atividades foram desenvolvidas em oito horas/aula.

Aprofundando conhecimentos

Nessa aula, a professora apresentou os modelos cosmológicos modernos numa apresentação de *slides* e foi retomada a teoria do *Big Bang* como um modelo sofisticado para explicar a evolução do Universo e o tema espaço-tempo, abordando a teoria da Relatividade.

Na aula seguinte, foi realizada a leitura e discussão do texto “Uma breve história do Universo” de Nogueira (2009, p. 48-52). Os alunos receberam uma parte do texto de Moreira (2012, p. 14) com orientações de como construir um mapa conceitual. Como tarefa de casa eles deveriam construir um Mapa Conceitual com os conceitos abordados no texto.

Estas atividades foram realizadas em quatro horas/aula.

Avaliação somativa

Os alunos foram informados com antecedência de que haveria uma avaliação individual com a finalidade de permitir que eles mostrassem sua compreensão dos conceitos da unidade. Esta avaliação (Apêndice H) foi composta por quatro questões, incluindo questões objetivas nas quais eles responderam perguntas e realizaram cálculos, bem como questões subjetivas, solicitando ao aluno a escrita de um texto sobre o *Big Bang*, e uma questão em que eles avaliaram as estratégias de ensino utilizadas e o seu aprendizado no decorrer da UEPS.

Aula final e avaliação da aprendizagem

Os alunos deveriam apresentar nessa aula, a peça teatral que preparariam durante o bimestre, mas infelizmente eles não realizaram a atividade, alegando que não conseguiram se organizar para isso. Foram retomadas as questões do estudo de caso e as situações-problema iniciais.

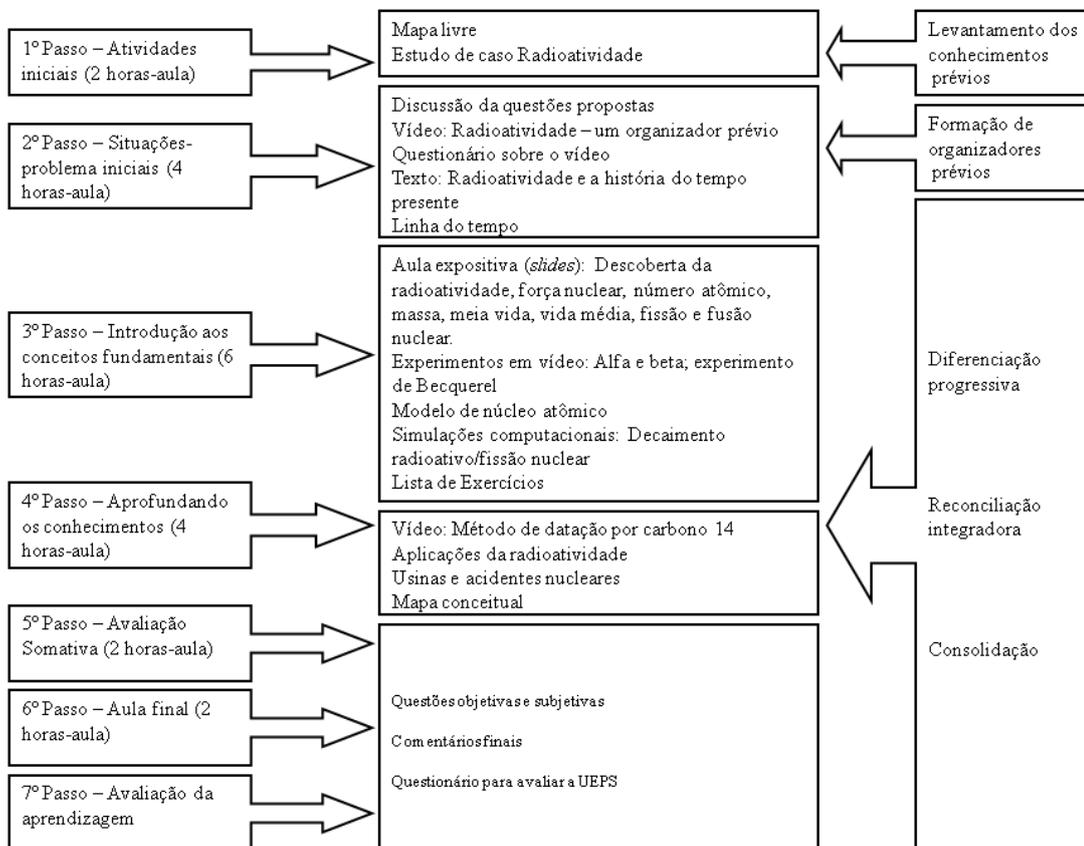
Alguns alunos fizeram comentários sobre o tema abordado e destacaram os pontos marcantes para eles.

Avaliação da UEPS Cosmologia

Para finalizar a professora fez uma análise qualitativa, sobre as evidências que percebeu, ou não, de aprendizagem significativa dos conceitos da unidade, em função dos resultados de aprendizagem obtidos e das observações dos alunos.

4.3.2 UEPS Radioatividade

Figura 27 - Estrutura básica da UEPS Radioatividade.



Atividades iniciais

Após a definição do tema e objetivo, o primeiro passo sugerido por Moreira (2011) na elaboração da UEPS é a criação de uma situação-problema inicial que leve o aluno a externalizar seu conhecimento prévio. Neste caso, os alunos, em grupos, foram incentivados a elaborar um Mapa Livre, que no trabalho de Schitter (2015) foi assim denominado diagramas nos quais os alunos associam livremente as palavras dadas com qualquer outras segundo critérios de quem os faz. Para isso, os alunos tiveram a liberdade para fazer associações entre seus conhecimentos e suas representações a partir de palavras-chaves distribuídas pela professora como: Radioatividade – núcleos atômicos – aplicações – usinas nucleares – indústrias – agricultura – medicina – fissão nuclear – fusão nuclear – energia elétrica – decaimento radioativo – conservação de alimentos – arqueologia – usinas nucleares – bombas atômicas. Como o objetivo desta etapa é sondar os conhecimentos prévios, as palavras selecionadas estão relacionadas ou são tópicos de Física que seriam estudados futuramente.

Em seguida os alunos receberam um texto com uma estória, tratada nesse contexto como um caso (Apêndice I), do qual fizeram a leitura e apresentaram soluções por escrito para os problemas propostos.

Os mapas livres e as respostas das questões do caso foram entregues à professora para análise posterior.

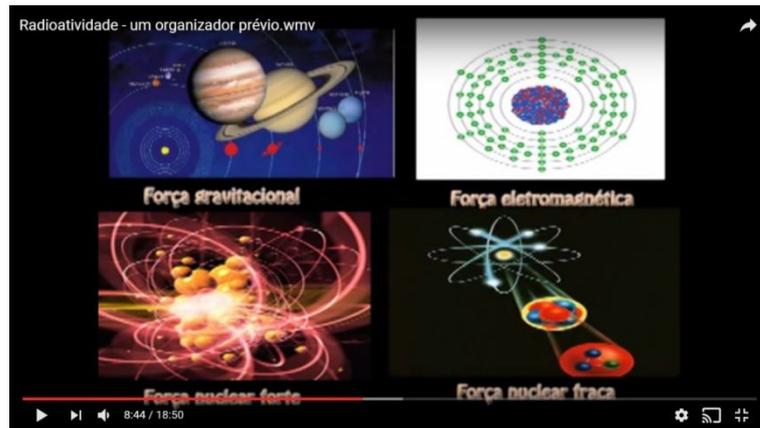
As atividades envolveram duas horas/aula.

Situações-problema iniciais

Nesse momento, foram propostas situações-problema, em nível introdutório, preparando o terreno para a introdução dos temas que serão ensinados. Essas questões foram baseadas nos conhecimentos prévios dos alunos e nas dificuldades já apontadas em pesquisas (SANTOS, et al, 2010) sobre o tema Radioatividade. As questões foram discutidas em grupo e os alunos explicitaram as suas ideias e entregaram as respostas à professora.

Em seguida, os alunos assistiram o vídeo *Radioatividade – um organizador prévio*. A figura 28 Apresenta a tela capturada do vídeo.

Figura 28 – *Print screen* da tela do vídeo Radioatividade – um organizador prévio.



Fonte: <<https://www.youtube.com/watch?v=ZMEMNuTUUa0>>.
Acesso em: 14 nov. 2016.

Na sequência, receberam um questionário (Apêndice J) com algumas perguntas sobre o vídeo, que foram discutidas entre os alunos e professora. O questionário respondido foi entregue para avaliação.

Nesta etapa, os alunos receberam cópias individuais do texto *A radioatividade e a história do tempo presente* (MERÇON; QUADRAT, 2004 p.27-30). Foi feita uma leitura coletiva do texto e, logo após, em pequenos grupos (dois ou três participantes), os alunos discutiram o texto e fizeram um esquema com a linha do tempo. Nesta, os alunos foram destacando os pontos mais importantes da história da radioatividade.

O objetivo desta atividade é a formação de organizadores prévios, já que nela são apresentados de forma introdutória alguns conceitos de Radioatividade.

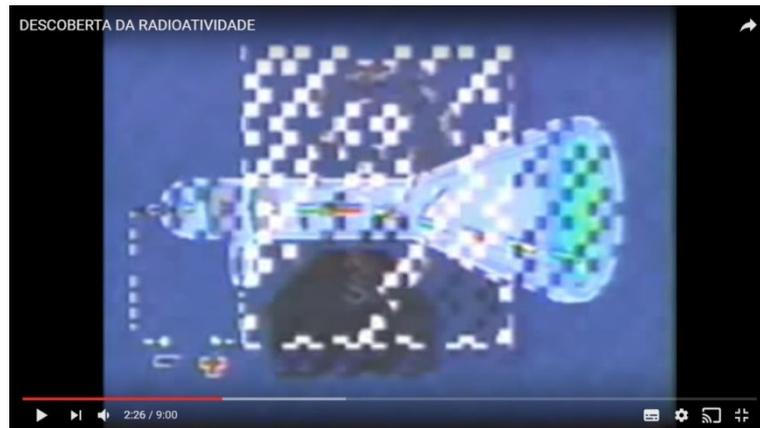
As situações-problema iniciais envolveram quatro horas/aula.

Introdução aos conceitos fundamentais

Com os dados coletados das atividades anteriores, os conceitos propostos na UEPS foram trabalhados de forma ordenada e sistemática, por meio de vídeos, slides, simulações computacionais e aulas expositivas e dialogadas, sendo os alunos sempre estimulados a participar de todas as discussões. Foram destacadas as semelhanças e diferenças relativas às situações e exemplos já trabalhados, buscando promover a reconciliação integradora.

Para isso, uma aula expositiva destacou pontos importantes para discussão: descoberta da radioatividade por Henri Becquerel; substâncias fosforescentes ao ser expostas ao Sol; fenômeno da luminescência; descobertas de Madame Curie, que foi iniciada com a exibição do vídeo Descoberta da radioatividade.

Figura 29 - *Print screen* da tela do vídeo Descoberta da radioatividade.



Fonte: <<https://www.youtube.com/watch?v=XJyxvUz-qkk>>.
Acesso em: 14 nov. 2016.

E em seguida, foram introduzidos também os conceitos de força nuclear, número atômico, massa, meia-vida e vida média, fusão e fissão nuclear. Esses conteúdos foram apresentados em forma de *slides*.

Para concluir esta etapa, foram apresentados dois experimentos do canal Pontociência - *Alfa e beta: dois tipos de radiação* e o *Experimento de Becquerel*. As figuras 30 e 31 mostram as telas capturadas dos referidos vídeos:

Figura 30 - *Print screen* da tela do vídeo Pontociência – alfa e beta: dois tipos de radiação.



Fonte: <<http://www.youtube.com/watch?v=NOW0yGgvMmI>>.
Acesso em: 14 nov. 2016.

Figura 31 - *Print screen* da tela do vídeo Pontociência – o experimento de Becquerel.

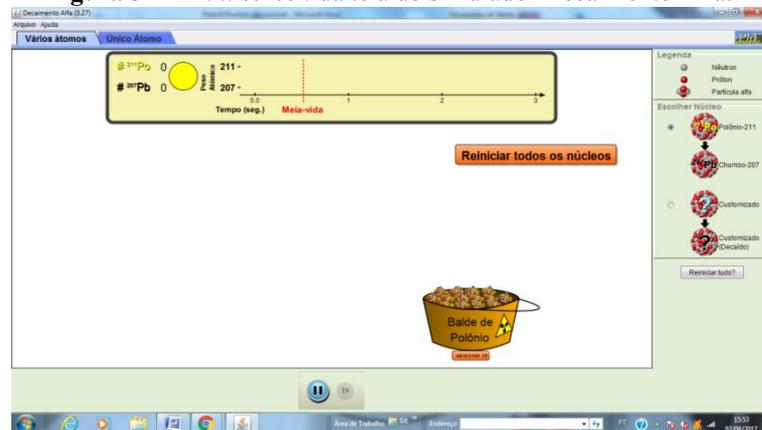


Fonte: <<https://www.youtube.com/watch?v=Do-p-GdWUc0>>.
Acesso em: 14 nov. 2016.

Como tarefa de casa, foi solicitado aos alunos que, em pequenos grupos, construíssem um modelo de núcleo atômico com materiais de baixo custo (PIETROCOLA, 2013, p. 255).

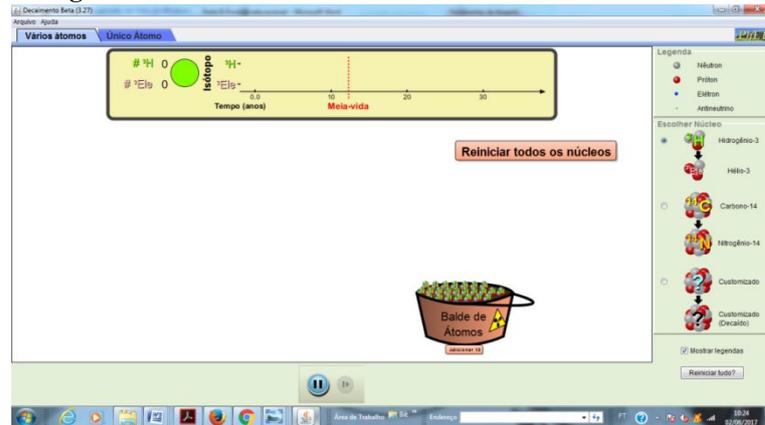
2) Nesse momento foram retomados os conceitos de fusão e fissão nuclear, meia-vida, decaimento radioativo e transformações nucleares. A professora utilizou o *datashow* para mostrar três simulações computacionais, desenvolvidos pelo PhET, sobre decaimento radioativo e fissão nuclear. As figuras 32, 33 e 34 mostram as telas das referidas simulações.

Figura 32 - *Print screen* da tela do simulador Decaimento Alfa.



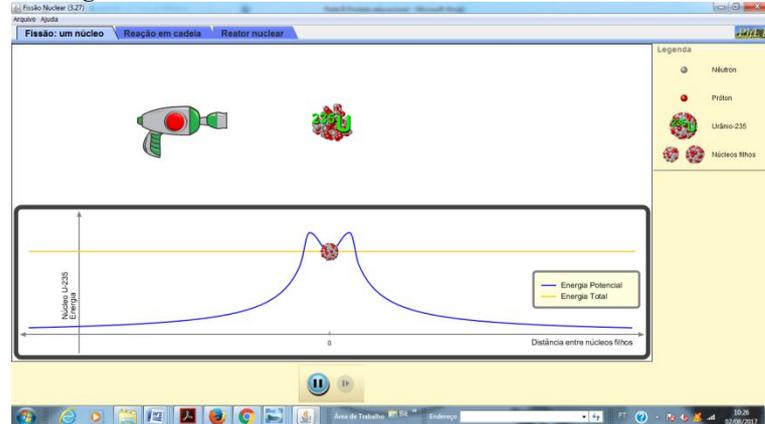
Fonte: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/alpha-decay>.
Acesso em: 14 nov. 2016.

Figura 33 - Print screen da tela do simulador Decaimento Beta.



Fonte: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/beta-decay>.
Acesso em: 14 nov. 2016.

Figura 34 - Print screen da tela do simulador Fissão Nuclear.



Fonte: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/nuclear-fission>.
Acesso em: 14 nov. 2016.

Para concluir, os alunos resolveram alguns exercícios relacionados aos temas estudados (Apêndice K)

Esta etapa da UEPS envolveu quatro horas/aula.

Aprofundando os conhecimentos

Neste momento foi apresentado um vídeo sobre o método de datação do carbono 14 com o objetivo de introduzir as diversas aplicações da radioatividade e suas implicações para a sociedade. A figura 35 mostra a captura de tela do vídeo.

Figura 35 - *Print screen* da tela do vídeo Método de datação por carbono 14.



Fonte: <<https://www.youtube.com/watch?v=UEAVXW-ZH-M>>.
Acesso em: 14 nov. 2016.

Em seguida, a turma foi dividida em quatro grupos. Cada grupo recebeu trechos do texto referente a uma das aplicações da energia nuclear (1 - Na pesquisa; 2 – Na saúde; 3 – Na indústria; 4 – Geração e segurança), após leitura e discussão, cada grupo fez a exposição de uma síntese a toda à turma como forma de socialização dos temas.

Na aula seguinte, a professora apresentou o funcionamento de um reator nuclear nas usinas e os acidentes nucleares em forma de *slides*. Em seguida, a professora e os alunos destacaram algumas implicações do assunto para a ciência, tecnologia, sociedade e ambiente. Os alunos receberam parte do texto de Moreira (2012, p.14) sobre a elaboração de um mapa conceitual, do qual fizeram a leitura e discussão com a professora.

Na sequência os alunos, em pequenos grupos, construíram um mapa conceitual sobre Radioatividade que foram apresentados ao grande grupo e entregues à professora para avaliação qualitativa.

Essas atividades envolveram quatro horas/aula.

Avaliação somativa individual

Os alunos foram avisados com antecedência e lhes foram propostas as questões abertas da avaliação somativa individual apresentada no Apêndice L. Esta etapa teve o objetivo principal de evidenciar se houve ou não indícios de aprendizagem significativa para cada aluno.

Esta etapa envolveu duas horas/aula.

Aula expositiva dialogada integradora final

A avaliação da aprendizagem foi baseada nos trabalhos feitos pelos alunos, nas observações feitas em sala de aula, na avaliação individual e comentários finais integradores sobre o assunto abordado.

Os alunos também receberam um questionário (Apêndice M) para avaliação das estratégias de ensino utilizadas e sobre seu aprendizado.

Avaliação da UEPS Radioatividade

Para finalizar a professora fez uma análise qualitativa, sobre as evidências que percebeu, ou não, de aprendizagem significativa dos conceitos da unidade, em função dos resultados de aprendizagem obtidos e das observações dos alunos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Desenvolvimento e implementação das UEPS em sala de aula e sua análise

Os resultados que serão descritos a seguir, referem-se à aplicação das duas UEPS como metodologia de ensino dos conteúdos já elencados no referencial teórico. No entanto, tais resultados não serão analisados para efeitos da pesquisa, em virtude desta estar direcionada ao ensino e, portanto, ao professor. Sendo assim, a análise dos resultados do ponto de vista da aprendizagem dos alunos não cabe nesta pesquisa.

Entretanto, como se trata de um material para o professor, os resultados têm o objetivo de mostrar aos professores como os alunos que participaram da implementação, responderam às atividades propostas nas UEPS.

Antes, porém, vale destacar alguns fatores que influenciaram diretamente na aplicação da proposta. A saber, o ano de 2016, período de implementação das UEPS, foi marcado por uma greve dos professores da rede estadual do Rio de Janeiro, com duração de quatro meses. Primeiramente observou-se que após esse período, os alunos retornaram mais desmotivados, além das razões pertinentes à realidade da escola pública. Em segundo lugar, em função da reposição de greve, os alunos ficaram sobrecarregados de tarefas, trabalhos e avaliações. Assim, a aplicação das UEPS foi vista por grande parte dos alunos como mais uma dessas tarefas.

5.1.1 UEPS sobre Cosmologia

A turma 1005 na qual foram aplicadas as atividades da UEPS Cosmologia é composta por 24 alunos, porém ocorreram muitas faltas e por esse motivo em nenhuma das atividades realizadas verifica-se a participação do número total de estudantes. O turno funciona no período da tarde e, portanto, é uma turma considerada pequena se comparada com as turmas do turno da manhã, que em alguns casos chegam a comportar 40 alunos. Neste turno, a escola oferece apenas uma turma de cada série do Ensino Médio, então esta é a única turma de primeiro ano nesse período.

No **primeiro passo da UEPS** que são as *Atividades iniciais*, foram realizadas três atividades: estudo de caso, confecção do universo-caixa e simulação dos movimentos do Sol, da Terra e da Lua. Todas estas atividades tinham como objetivo fazer um levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos.

As respostas dos alunos para cada questão do estudo de caso *Origem do Universo* mostraram as concepções deles acerca do assunto. A atividade foi realizada por dezoito alunos. O Quadro 6 apresenta as categorias de respostas para cada questão do estudo de caso:

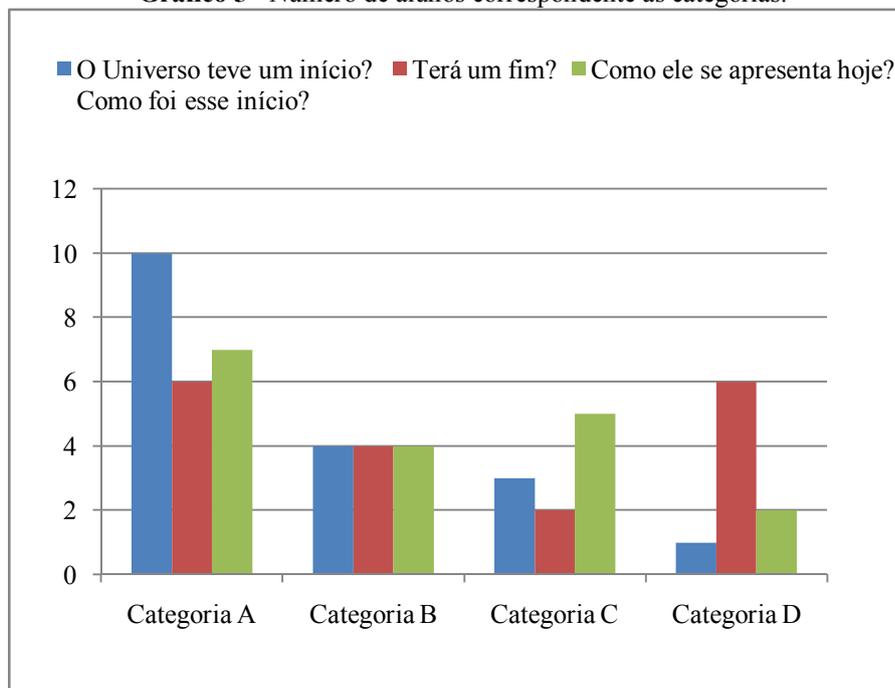
Quadro 4 - Categorias de respostas dos alunos às questões do estudo de caso.

Questões	Categoria A	Categoria B	Categoria C	Categoria D
<i>O Universo teve um início? Como foi esse início?</i>	Sim. Deus criou o Universo.	Sim. O Universo surgiu no <i>Big Bang</i> .	Sim. O Universo surgiu com pó e poeira.	Não souberam responder
<i>Terá um fim?</i>	Sim. Deus será responsável por esse fim.	Sim. Com o aquecimento global/ queda de um meteoro.	Sim. Mas não sabem como será esse fim.	Não terá fim.
<i>Como ele se apresenta hoje?</i>	Espaço infinito que o homem ainda não conseguiu medir.	Está aumentando/ diminuindo com o passar do tempo.	Poluído, violento, caótico, desmatado, etc...	Não souberam descrever.

Fonte: A autora (2017)

O Gráfico 5 mostra o número de alunos correspondente a cada categoria das respostas apresentada no quadro:

Gráfico 5 - Número de alunos correspondente às categorias.



Fonte: A autora (2017)

Os resultados apontaram que a crença religiosa se destaca como principal marco das concepções dos alunos acerca do Universo, pois eles atribuem a Deus o início e o fim do Universo, apesar de 22% deles citarem o *Big Bang* como o início do Universo. O comentário do aluno, a seguir, demonstra que ele acredita que Deus criou o Universo, mas menciona que existe a teoria do *Big Bang*:

Eu acredito na teoria criacionista, onde Deus criou todas as coisas. Mas há uma teoria chamada *Big Bang* na qual diz que o Universo surgiu de uma grande explosão, eu não acredito nisso.

Outro fato interessante é que 1/3 dos alunos responderam que o Universo não terá um fim. Observa-se também que os alunos apresentam dificuldades na distinção entre planeta e universo. Esse fato evidencia-se quando eles atribuem o fim do universo ao aquecimento global, à queda de um meteoro e ao tamanho do Sol e quando revelam que o universo se apresenta poluído, caótico e desmatado. As respostas da terceira questão foram muito confusas, no entanto 28% responderam que o Universo está aumentando ou diminuindo, verificou-se que, mesmo que de forma ingênua, apresentaram indícios da resposta correta.

Na segunda atividade, os alunos em grupos confeccionaram universos-caixa com os materiais que lhes foram entregues. Os elementos a serem considerados foram: a representação do planeta Terra e do Sol em relação ao restante do universo, assim como a distribuição e tamanho das estrelas em relação aos demais astros. As figuras a seguir mostram os grupos de alunos realizando a atividade:

Figura 36 - “Universo-caixa” do grupo 1.



Fonte: A autora (2016).

Figura 37 - "Universo-caixa" do grupo 2.



Fonte: a autora (2016)

Figura 38 - "Universo-caixa" do grupo 3.



Fonte: A autora (2016)

Figura 39 - "Universo-caixa" do grupo 4.



Fonte: A autora (2016)

Figura 40 - "Universo-caixa" do grupo 5.



Fonte: A autora (2016)

Verificou-se que os modelos obtidos de concepções de universo, apresentados pelas equipes, revelaram que os alunos possuem a concepção de universo, predominantemente heliocêntrica, pois o Sol tem certo destaque nas elaborações. Entretanto, observa-se que os astros inseridos aparecem soltos, sem relação de escala ou de distância, como se estivessem em um saco. Afonso López et al. (1995) e Rodríguez e Sahelices (2004) classificaram essa representação como universo “saco” ou miscelânea. Já o universo acêntrico (RODRÍGUEZ; SAHELICES, 2004), que seria a representação correta, correspondente às teorias cosmológicas modernas, nas quais o universo não tem um centro preferencial, a Terra não tem um *status* privilegiado e nem o Sol. Pois o universo está em permanente evolução, é homogêneo, tanto em velocidade de expansão quanto em distribuição de matéria. As formações fundamentais são as galáxias.

A terceira atividade consistiu em uma simulação dos movimentos do Sol, Terra e Lua, na qual os alunos apresentaram os movimentos e suas consequências, como mostra a Figura 41.

Figura 41 - Alunos realizando a simulação dos movimentos.



Fonte: A autora (2016).

As simulações foram realizadas pelos grupos e gravadas em vídeo. Cada grupo fez sua apresentação fora da classe para que os outros grupos não fossem influenciados.

Seguem alguns comentários que os alunos fizeram no momento das apresentações e as intervenções da professora:

Aluno 1: A Terra realiza dois movimentos: rotação e translação. Rotação é responsável pelo dia e a noite; translação é responsável pelas estações do ano.

Professora: E qual é a posição do Sol em relação a Terra, nas diferentes estações do ano?

Aluno 1: No verão, a Terra está mais próxima do Sol e no inverno, a Terra está mais longe.

Aluno 2: No eclipse solar, a Terra fica entre o Sol e a Lua. Já no eclipse lunar, é a Lua que fica entre o Sol e a Terra.

Professora: E as fases da Lua? Como elas acontecem?

Aluno 2: As fases da Lua mudam de acordo com o movimento da Terra e da própria Lua em relação ao Sol, são sombras que o Sol faz da Terra.

Professora: Você sabe dizer como são formadas as marés?

Aluno 3: Não. Nunca pensei nisso. Será que é porque a Terra gira?

Professora: E o Sol? Realiza algum movimento?

Aluno 3: Não. Ele fica parado o tempo todo.

Os comentários dos alunos confirmam o que as diversas pesquisas têm mostrado acerca das concepções prévias a respeito destes assuntos. O trabalho de Oliveira e Voelzke (2007) mostrou que alunos associam erroneamente as estações à variação de distância entre Terra e Sol. Embora a Terra translacione o Sol em uma órbita elíptica, esta pode ser considerada como circular, pois as diferenças entre o afélio e o periélio são desprezíveis.

Os resultados de outra pesquisa realizada por Iachel, Langhi e Scalvi (2008) mostraram que os alunos confundem o fenômeno da formação das fases da Lua com o fenômeno da formação dos eclipses lunares ou desconhecem o motivo do fenômeno.

Outro fato a ser considerado nas respostas dos alunos é acerca da formação das marés, pois o desconhecimento de que o fenômeno é devido à atração gravitacional da Lua e do Sol foi unânime. Além disso, em nenhum momento das apresentações os grupos mostraram o movimento do Sol, pois para todos os grupos, o Sol está sempre imóvel. Isso mostra que os alunos não visualizam as galáxias e o movimento delas no espaço.

Após todas as discussões, no segundo passo da UEPS, foram elaboradas as *situações-problema iniciais*, compostas de quatro perguntas em forma de questionário.

Com relação à primeira pergunta, foi possível separar as respostas em três categorias, conforme é mostrado no Quadro 5:

Quadro 5 - Se o Sol está parado, como o vemos realizar um movimento no céu?

Respostas	Número de alunos
O Sol está parado, mas devido ao movimento de rotação da Terra dá a impressão que ele está se movendo.	18
O Sol realiza um movimento.	1
O Sol se move, quando observado por instrumentos astronômicos.	1

Dos vinte alunos que participaram da aula, 90% responderam que o Sol está parado, mas devido ao movimento de rotação da Terra, dá a impressão de que ele se move. Isso mostra que as informações que os alunos recebem no ensino fundamental são determinantes para a formação da concepção de que é a Terra, que se move e não o Sol. A seguir foram transcritas algumas respostas dos alunos.

Aluno 1: Isso ocorre devido a Terra girar em torno de si mesma, dando a impressão de que quem se movimenta é o Sol, pois não conseguimos sentir a Terra se movendo.

Aluno 2: O Sol não está parado, pois há um movimento no céu que o Sol faz.

Aluno 3: Estudos astronômicos e observatórios com câmeras de alta resolução mostram que o Sol não está parado no céu, mas o movimento do Sol que é visto, é a rotação da Terra.

Em virtude da constatação de que a concepção heliocêntrica está bem presente nas respostas dos alunos, buscou-se negociar significados por meio da segunda pergunta, permitindo-lhes pensar sobre a possibilidade de que o Sol não seja o centro do Universo. Segue o Quadro 6 com as respostas dos alunos.

Quadro 6 - Se existem outras galáxias, todas elas têm como centro o Sol?

Respostas	Número de alunos
Não, cada galáxia tem o seu "sol".	10
Sim, o Sol é o centro de todas as galáxias.	4
Não existem outras galáxias.	4
Não responderam.	2

Observa-se que 50% dos alunos reconhecem que existem outras galáxias e que cada uma delas tem a sua estrela central, no entanto 20% ainda acreditam que o Sol é o centro das outras galáxias. Apesar da frequência com que são veiculadas na mídia as descobertas científicas, 20% dos alunos responderam que não existem outras galáxias e outros 20% não quiseram responder esta pergunta.

Quadro 7 - Se o Universo tiver um fim, o que existe além desse limite?

Respostas	Número de alunos
O Universo não terá fim e não existe nada além desse limite.	13
Há outra dimensão, outro universo, outros planetas, outras galáxias...	3
Se o Universo tiver fim, não existe nada além desse limite.	3
Atribuíram à crença religiosa a existência de algo além do limite do Universo.	1

Observa-se que treze alunos, portanto, maior parte deles, tem a ideia de um Universo infinito tanto no tempo quanto no espaço. Para os alunos, o fim do Universo significa acabar com tudo o que existe nele.

Quadro 8 - As galáxias estão realmente se afastando umas das outras, ou é o espaço que está sendo esticado pela expansão cósmica?

Respostas	Número de alunos
As galáxias estão se afastando	8
O espaço está sendo esticado.	10
Tanto as galáxias estão se afastando quanto o espaço está sendo esticado.	2

Verifica-se que mesmo sendo respostas intuitivas, metade dos alunos responderam corretamente, ou pelo menos a resposta concorda com a maioria dos cientistas, sobre a expansão do Universo. É o próprio espaço que está se expandindo. À medida que isso acontece, vê-se que as galáxias participam da expansão geral, mas elas mesmas não aumentam porque suas partes estão presas entre si pela força da gravidade. Muitas galáxias estão efetivamente se aproximando entre si, devido à atração gravitacional (Hawking, 2004).

No **terceiro passo** correspondente à *Diferenciação Progressiva*, os alunos participaram de maneira satisfatória da aula de introdução aos conceitos fundamentais, no entanto, a tarefa da qual foram incumbidos de realizar em casa, em que deveriam se reunir em grupos, escolher um dos temas tratados na aula e montar um pequeno texto de teatro para

apresentá-lo no final da UEPS, infelizmente não foi cumprida. A tentativa de dar autonomia aos alunos para a realização da atividade não funcionou, pois é possível que se a atividade fosse acompanhada mais de perto pela professora viesse a ser finalizada.

Em continuidade ao terceiro passo, buscou-se a *Reconciliação integradora* ao retomar os materiais que foram utilizados para simular os movimentos da Terra e da Lua no primeiro passo da UEPS. Verificou-se que houve uma evolução nas concepções dos alunos acerca dos fenômenos astronômicos, os comentários a seguir destacam esse momento com relação às estações do ano:

Professora: Pessoal, vamos retomar o *kit* e fazer novamente a simulação? Hoje nós já discutimos sobre os fenômenos decorrentes dos movimentos da Terra, da Lua... Então vamos lá! Estações do ano: Por que elas ocorrem? Vocês disseram que quando o Sol está perto da Terra, é verão... e quando está longe é inverno... certo?

Aluno 1: Mas professora, eu acho que não...

Professora: Por quê?

Aluno 1: Quando é verão aqui no Brasil, é inverno nos Estados Unidos...

Professora: E então?

Aluno 1: Teria que ser verão lá também...

Aluno 2: (*apontando a lanterna para a Terra*) Eu acho que o Sol ilumina mais aqui em baixo no Brasil, do que lá em cima nos Estados Unidos...

Professora: Mas como isso acontece?

Aluno 2: Se inclinar um pouco...

Professora: Isso aí! A Terra se afasta muito pouco do Sol... a órbita é quase um círculo... não é por estar perto ou longe do Sol que ocorre o verão ou o inverno na Terra...

Aluno 3: Ah então é por causa da inclinação?

Aluno 4: Outra coisa: se o Sol ficasse longe da Terra, ele ia mudar de tamanho... no verão ele ficaria maior e no inverno, menor.

Professora: Muito bem.

Com respeito à resolução dos exercícios, observou-se que os alunos se mostraram familiarizados com os conceitos envolvidos, porém com muitas dificuldades nos cálculos. Por isso, foi necessário que os problemas fossem resolvidos, no quadro, na aula seguinte.

No **quarto passo**, composto pelo *Aprofundamento dos conhecimentos*, notou-se que os alunos ficaram bem entusiasmados com o modelo de Universo do *Big Bang*, inclusive aqueles que inicialmente disseram não acreditar no modelo.

Verificou-se que esta postura dos alunos se deve às discussões sobre o modelo, no que diz respeito à criação do Universo no instante do *Big Bang*, conforme afirma Hawking (2004),

de que um Universo em expansão implica em razões de natureza física para um começo, podendo-se continuar a ideia de que Deus criou o Universo no instante do *Big Bang*, pois o Universo em expansão não exclui um Criador, apesar de impor limitações ao momento do desempenho da Criação.

Os conceitos referentes à Teoria do *Big Bang* foram organizados por meio de mapas conceituais, baseados no texto “*Uma breve história do Universo*” de Nogueira (2009).

Observou-se que grande maioria dos alunos teve inicialmente muita dificuldade em utilizar a estratégia dos mapas conceituais. Mesmo depois da aula explicativa sobre o que era um mapa e como construí-lo, muitos alunos demonstraram insegurança em começar seus mapas. Em virtude disso, verifica-se que os mapas não apresentam hierarquização dos conceitos (Moreira, 2006, p.2) em cada relação e sim frases ou trechos citados e relacionados. Também não é estabelecida nenhuma ligação transversal e apenas o mapa do grupo 5 apresenta palavras de ligação. Os grupos manifestaram compreensão parcial da ideia do texto e demonstraram pouco interesse na realização da tarefa.

Nas Figuras 42 a 44 estão os mapas que foram elaborados pelos grupos de alunos:

Figura 42 - Mapa conceitual realizado pelo grupo 1.

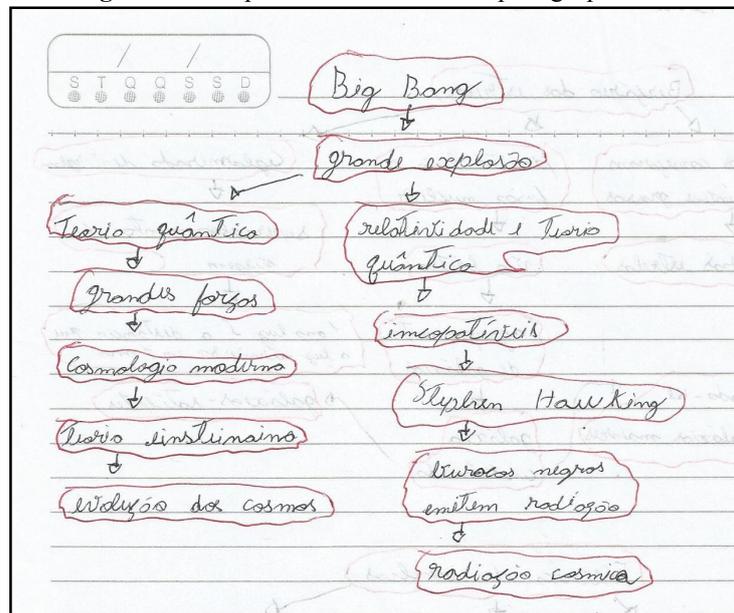


Figura 43 - Mapa conceitual realizado pelo grupo 2.

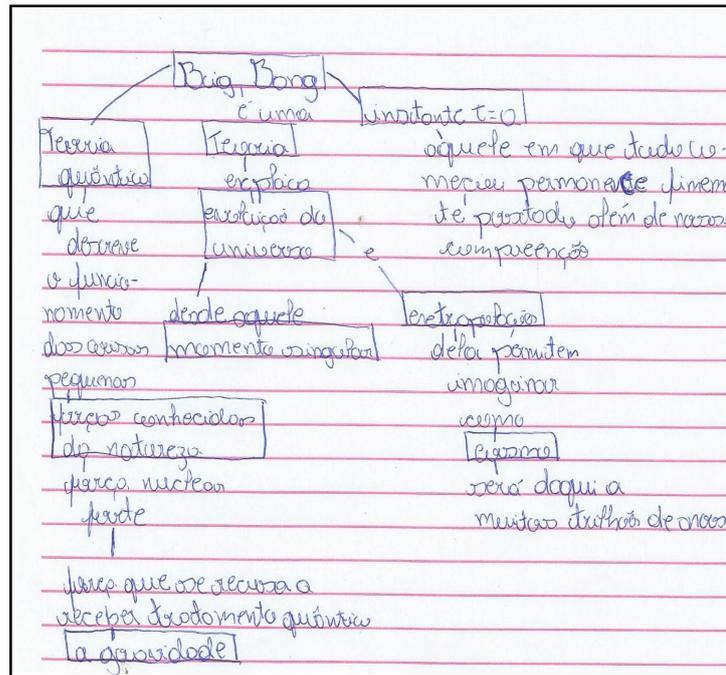
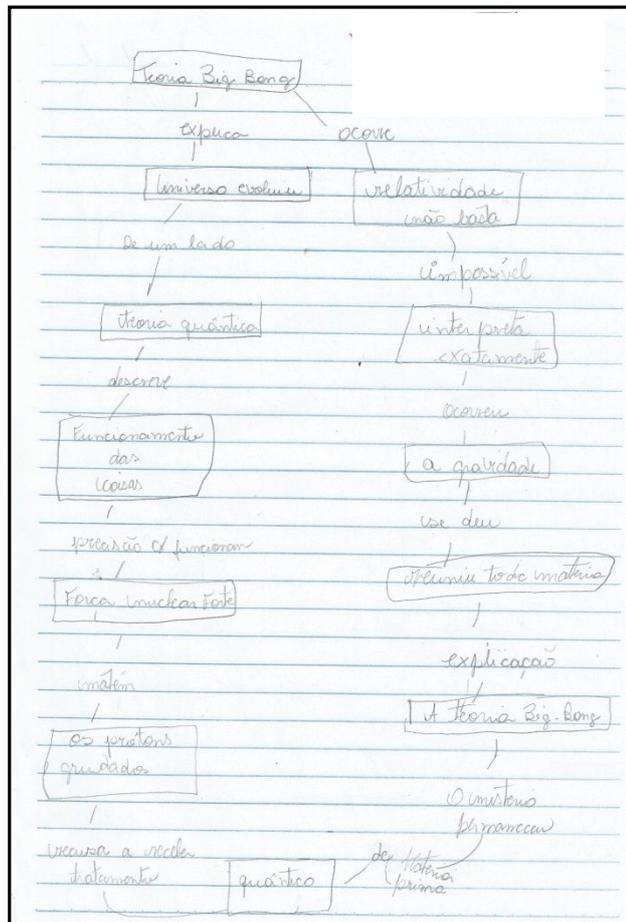


Figura 44 - Mapa conceitual realizado pelo grupo 3.



No **quinto passo da UEPS**, que corresponde à *Avaliação Somativa*, notou-se que os alunos estavam bem familiarizados com os conceitos relativos aos conteúdos da UEPS, mas tiveram dificuldades em trabalhar os cálculos referentes ao Movimento Circular e operações com notação científica. Na última questão os alunos avaliaram as aulas de Física e o aprendizado que tiveram no bimestre.

Observou-se que os textos produzidos sobre o *Big Bang* evidenciaram a deficiência que os alunos apresentam na escrita.

Porém, dos vinte e quatro alunos da turma, dezenove obtiveram nota igual ou superior à 50% nesta avaliação, alcançando assim os objetivos propostos para a avaliação, que estavam mais relacionados aos conceitos discutidos do que aos cálculos realizados.

O **sexto passo**, que consiste da *Aula final*, os alunos receberam de volta seus questionários respondidos no primeiro e segundo passos para que fossem retomados os questionamentos do estudo de caso *Origem do Universo* e as situações-problema iniciais com o processo de reconciliação integradora e diferenciação progressiva. Como forma de socialização dos conhecimentos, alguns alunos responderam oralmente as questões e assim, concluiu-se a aplicação da UEPS na turma 1005. Observou-se que nessa atividade os alunos envolveram-se bastante e nas respostas da última questão da avaliação, o retorno foi bem positivo, pois eles relataram que conseguiram “entender melhor” os conceitos e a teoria do *Big Bang*, mas disseram que ainda falta muita coisa para ser compreendida, a experiência positiva de saber mais sobre o Universo, o quanto foi bom trabalhar em grupo. Ainda acrescentaram explicações sempre demonstrando estarem motivados.

Na *Avaliação da aprendizagem* que corresponde ao **sétimo passo** da UEPS, considerou-se todas as atividades realizadas e a avaliação individual, bem como a participação dos alunos para avaliar a UEPS. Concluiu-se que os alunos obtiveram um bom rendimento e um ótimo envolvimento. Conforme já foi mencionado, percebeu-se que os alunos apresentaram dificuldades nos cálculos e na escrita e não realizaram a atividade correspondente à peça teatral. Presume-se que a razão da não realização da atividade se deve ao fato do elevado número de atividades e avaliações que os alunos estavam fazendo em virtude da reposição de greve. Porém se envolveram bastante nas atividades em grupo e foram bem participativos em sala de aula.

Não se têm evidências conclusivas de aprendizagem significativa, mas observou-se que com as atividades desenvolvidas na UEPS houve uma predisposição do aluno para aprender Física.

5.1.2 UEPS sobre Radioatividade

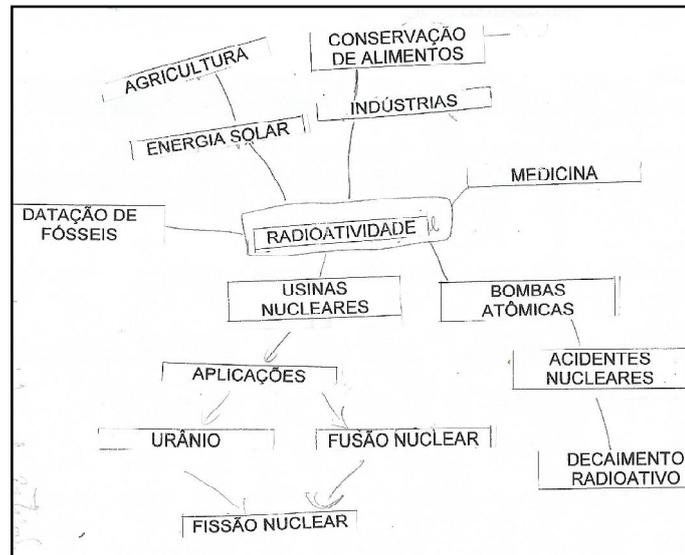
A turma na qual foram aplicadas as atividades da UEPS Radioatividade foi a turma 2005, composta por 25 alunos cujo turno de funcionamento é o período da tarde. Assim como ocorreu na aplicação da UEPS Cosmologia, também houve muitas dificuldades com respeito à assiduidade dos alunos nas aulas em que foram aplicadas as atividades.

No **primeiro passo da UEPS** que são as *Atividades iniciais*, foram realizadas duas atividades com objetivo de fazer o levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos: *Mapa Livre e o estudo de um Caso*³. A atividade do mapa livre foi realizada por 16 alunos, e como a atividade foi realizada em dupla, resultou em oito mapas.

Durante a elaboração dos mapas livres, observou-se que os alunos demonstraram muita dificuldade em construí-los por não saberem o significado de algumas palavras ou a relação entre elas. No entanto, eles realizaram-na com mais tranquilidade e de forma mais participativa ao serem informados de que a atividade não seria avaliada no sentido, de certo ou errado.

As Figuras 45 a 48 trazem alguns desses mapas, que foram selecionados por apresentarem algumas diferenças entre si.

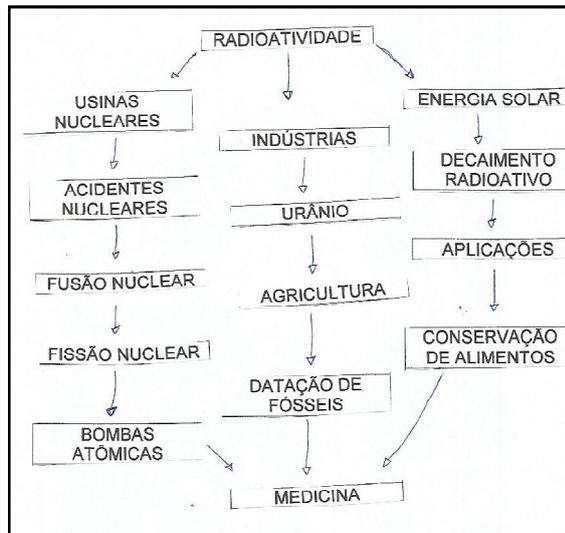
Figura 45 - Mapa livre elaborado pelo grupo 1.



Fonte: A autora (2016).

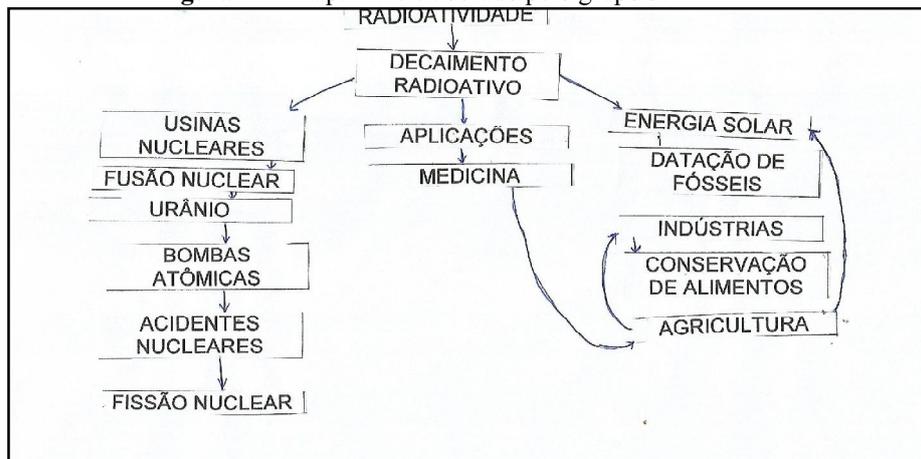
³ O conceito de Caso nesta pesquisa trata-se de uma pequena narrativa utilizada para provocar uma problematização. Este conceito apesar de ter origem nos pressupostos do método da problematização por Estudos de Caso na visão de Sá e Queiroz (2010) não foi aplicado com o compromisso de seguir os passos dessa metodologia de ensino.

ra 46 - Mapa livre elaborado pelo grupo 2.



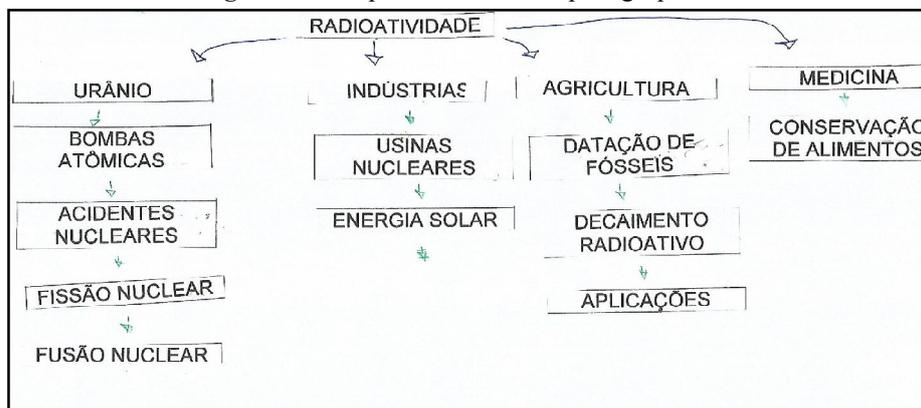
Fonte: A autora (2016).

Figura 47 - Mapa livre elaborado pelo grupo 3.



Fonte: A autora (2016).

Figura 48 - Mapa livre elaborado pelo grupo 4.



Fonte: A autora (2016).

Apesar de ser denominado Mapa Livre, atividade na qual os alunos associam livremente as palavras dadas segundo seus próprios critérios, esperava-se que as associações das palavras seguissem certa coerência. Porém, observou-se que a maioria das associações não apresentou esta característica. Talvez devido a pouca familiaridade com algumas palavras, as mesmas foram relacionadas de maneira inadequada.

No mapa 01, verificou-se que os alunos elaboraram um tipo de mapa mental (MOREIRA, 2006, p. 56) em que o conceito principal *Radioatividade* ficou no centro e os outros conceitos emergiram dele. Enquanto os outros mapas apresentam formatos parecidos com organogramas (MOREIRA, 2006, p. 51). Em geral, cada conceito estava relacionado a apenas uma palavra. Porém verificou-se no mapa 03 a tentativa de associar a palavra *agricultura* a mais de um conceito. Como já foi destacado anteriormente, os alunos não tiveram o devido cuidado com a associação das palavras, inserindo, por exemplo, a palavra *urânio* entre *indústrias* e *agricultura*. Também ficou evidenciado que os alunos desconheciam o significado de *fusão nuclear*, *fissão nuclear* e *decaimento radioativo*.

Na segunda atividade participaram 18 alunos, os quais receberam o texto para o estudo de um Caso, intitulado *Radioatividade*, para que pudessem ler e em seguida responder às três questões constantes na atividade.

Na primeira questão perguntou-se aos alunos *se os alimentos que são irradiados podem ficar contaminados*. Apenas seis alunos responderam que a irradiação não contamina os alimentos, afirmando que se a mesma é utilizada na conservação, logo não deve contaminá-los. Nas justificativas, o aluno 1 entendeu que essa irradiação é aquela advinda do Sol, enquanto que o aluno 2 citou o microondas como uma espécie de radiação:

Aluno 1: Não, porque a irradiação é transmitida através da energia solar.

Aluno 2: Não, pois o microondas é uma espécie de radiação, que muitos boatos corriam, o chamando de cancerígeno, mas todos foram derrubados.

Porém, 12 alunos responderam positivamente, ou seja, que a irradiação contamina os alimentos. Os depoimentos demonstraram a influência exercida pelo senso comum de que tudo que corresponde a radiação é perigoso e causa doença, sobretudo, o câncer. Cinco alunos responderam que a contaminação dos alimentos irradiados tem uma relação com a forma e com o tempo de exposição a esse procedimento. A seguir estão registradas as respostas dos alunos 3 e 4.

Aluno 3: Acho que sim. Depende da quantidade de tempo que o alimento ficará exposto.

Aluno 4: Sim, porque dependendo da forma que o alimento for plantado e se tiver exposto ao Sol, esta irradiação pode contaminar os alimentos.

Verifica-se, portanto, que o aluno 4 também atribui a irradiação à luz solar. Além disso, alguns alunos entenderam que o solo também fica contaminado, como expôs o aluno 5:

Aluno 5: Sim, podendo contaminar o solo, assim causa estragos significantes em diversos tipos de alimentos (contaminados por irradiação).

Sendo assim, as respostas mostraram que os alunos desconheciam completamente a técnica⁴.

Entretanto, apesar de demonstrarem desconhecimento quanto ao tipo de radiação utilizada na irradiação de alimentos, os alunos fazem menção ao tempo de exposição a essa radiação. Segundo Jay (2005), os órgãos regulamentadores determinaram que alimentos irradiados com até 10,0 kGy⁵ são incondicionalmente seguros. Além disso, nenhum resíduo de radioatividade permanece no solo ou no alimento, bem como não se observa efeito adverso na qualidade nutricional dos alimentos irradiados.

As respostas apresentadas pelos alunos confirmam pesquisa realizada por Silva et al (2010) com estudantes de nutrição que verificou o desconhecimento destes sobre o processo de irradiação, sobre a legislação e as finalidades da técnica. A pesquisa demonstrou também que os entrevistados consideravam que ao serem submetidos à irradiação os alimentos tornavam-se radioativos. Os autores do trabalho concluíram que a falta de conhecimento tem corroborado para a atitude negativa dos consumidores com relação à alimentos irradiados.

Com respeito à segunda questão, os alunos responderam sobre *o uso da radioatividade no tratamento de doenças e os possíveis danos ocasionados*. Apenas dois alunos responderam que a utilização de radioatividade não traz danos aos pacientes. Porém, os demais afirmaram que apesar de ser utilizada no tratamento de algumas doenças, a utilização da radioatividade apresenta alguns malefícios aos pacientes e profissionais da saúde. Os alunos, portanto, não souberam responder o porquê da radioatividade ser prejudicial.

Já a terceira questão trata dos *benefícios e malefícios das diversas aplicações da radioatividade*. Verificou-se que 1/3 dos alunos apresentaram respostas vagas para a pergunta,

⁴ A irradiação de alimentos é um processo físico de tratamento que consiste em submeter os produtos embalados ou a granel, a uma dose controlada de radiação ionizante, por um tempo predeterminado, com o intuito de melhorar a qualidade sanitária e aumentar validade comercial dos alimentos. (GCIIA, 1991; BRASIL, 2001)

⁵ kilogray - unidade de medida para quantidade de radiação absorvida

enquanto seis alunos responderam que os benefícios estão nos diagnósticos e tratamento de doenças. Os demais alunos relacionaram tais benefícios à energia solar. Com relação aos malefícios quatro alunos deram destaque para a bomba atômica, enquanto que os oito alunos restantes destacaram que o principal malefício causado pela radioatividade é a incidência de câncer.

Em seguida, o **segundo passo da UEPS**, foi baseado na pesquisa de Santos et al (2010) sobre conhecimentos prévios de estudantes a respeito da radioatividade, no qual elaborou-se as *Situações-problema iniciais*, que foram compostas de quatro perguntas em forma de questionário. Esta atividade foi realizada por 13 alunos. A seguir, a Tabela 1 apresenta o resumo das respostas dos alunos às perguntas.

Tabela 1- Respostas dos alunos às perguntas das situações-problema.

Perguntas	Resumo das Respostas	Número de alunos
a) Vários elementos são considerados radioativos, entre eles: césio, urânio e outros. Em sua opinião, o que faz um elemento químico ser radioativo?	A composição química	5
	O efeito causado (mutações/ degeneração celular/ danos/etc...)	6
	A estabilidade	2
b) Você acha que a radioatividade é prejudicial ao ser humano? Se acha que sim, como você explica o uso dela no tratamento de doenças?	Sim. Porque o uso é controlado.	9
	Não. Por isso é usada no tratamento de doenças.	3
	Não respondeu.	1
c) Você já ouviu falar sobre o uso de radiações para conservação de alimentos? Se os alimentos que são irradiados ficam contaminados, por que será que esse procedimento não foi abolido pelos órgãos competentes?	Sim. Porque nem sempre eles são contaminados pela radiação.	2
	Sim. Porque o procedimento é eficaz.	4
	Não. Porque o procedimento é controlado.	1
	Não.	6
d) Você considera que a construção de uma usina nuclear pode trazer benefícios para a sociedade? E problemas? Se uma usina nuclear pode trazer problemas para o local onde ela está instalada, por que ela é considerada uma forma de energia com pouco impacto ambiental?	Sim.	3
	Sim. Podem ocorrer acidentes nucleares (vazamentos radioativos). produzem pouca poluição do ar.	8
	Não. Pode trazer problemas à saúde. Porque não prejudica o meio ambiente.	2

Fonte: A autora (2017).

Verificou-se pelas respostas dadas, principalmente na primeira pergunta, que alguns alunos, apresentaram subsunções relevantes. No entanto, como a atividade tem por objetivo aguçar a curiosidade em relação ao tema, não houve preocupação em chegar a uma resposta correta e sim discutir as possíveis respostas para cada pergunta. Destacou-se também, a influência que os meios de comunicação exercem na formação de opiniões dos alunos,

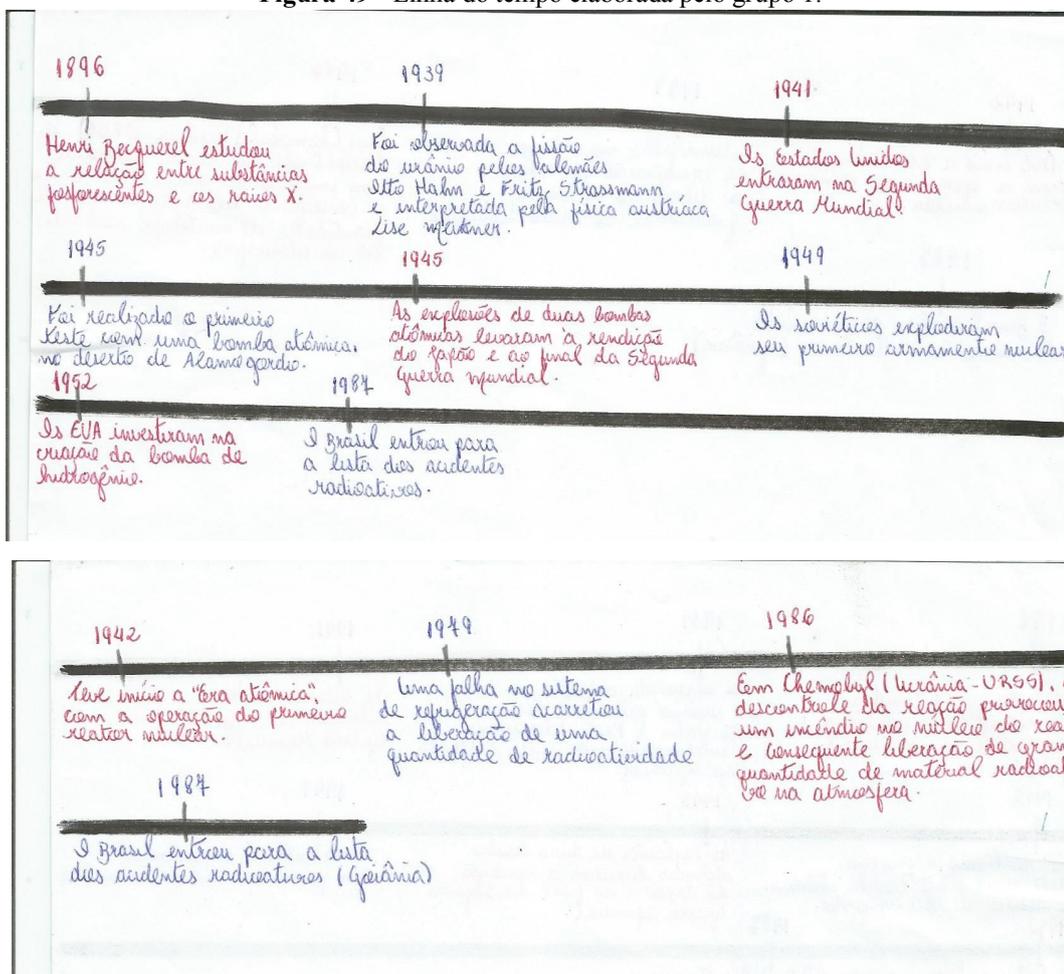
principalmente no que se refere ao tratamento de doenças e aos acidentes nucleares ocorridos ao longo da História.

Ainda nesse passo, os alunos participaram bastante da discussão sobre o vídeo que mostrou um panorama geral sobre a radioatividade. O questionário foi respondido coletivamente, pois foi utilizado como uma orientação para a discussão.

Verificou-se que dos assuntos tratados, o que mais impactou os alunos foi aquele que tratou dos acidentes nucleares.

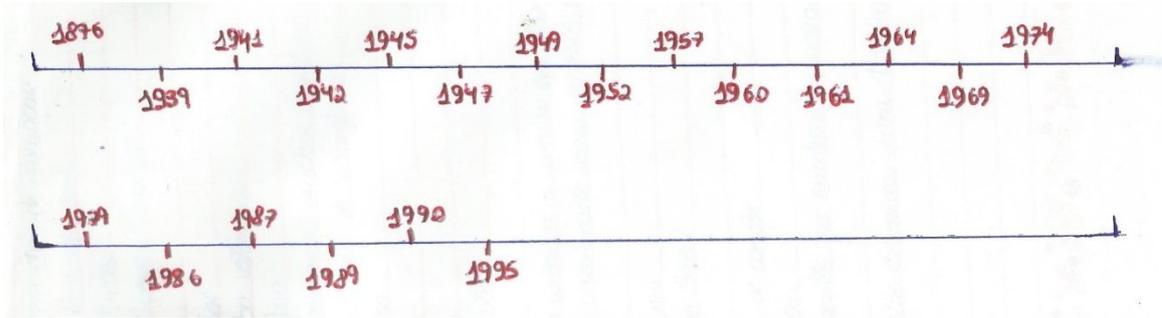
Quanto à atividade de elaboração da linha do tempo, alguns alunos tiveram muita dificuldade em sintetizar os acontecimentos que estavam no texto, como verifica-se nas Figuras 49 e 50.

Figura 49 - Linha do tempo elaborada pelo grupo 1.



Fonte: A autora (2017).

Figura 50 - Linha do tempo elaborada pelo grupo 2.



- 1896 -> Sais de urânio emitem um tipo de radiação
- 1939 - Observada e interpretada (Radioatividade)
- 1939 à 1945 - Segunda Guerra Mundial.
- 1941 - Entraram na Segunda Guerra Mundial.
- 1942 - Era Atômica.
- 1945 - Fim da 2ª Guerra Mundial
1º teste com uma bomba atômica
- 1947-1989 - Início da Guerra Fria.
- 1949 - Explosão do primeiro armamento nuclear soviético.
- 1952 - Investiram na criação da Bomba de hidrogênio.
Teste nuclear na Inglaterra.
- 1957 - 1º satélite artificial
- 1960 - Teste nuclear na França.
- 1961 - 1º homem em órbita terrestre
- 1964 - Teste nuclear na China.
- 1969 - Os estados v. conseguiram preparar a união soviética.
- 1974 - Guerra industrial, que foi direcionada para produtos de radiação.
- 1979 - 1º acidente radioativo - EUA
- 1986 - 2º acidente radioativo - Ucrânia
- 1987 - 1º acidente radioativo no Brasil
- 1989 - Fim da Guerra Fria
- 1990 - Aumento na incidência de câncer
- 1995 - Química nova na escola.
Descoberta de outros elementos que emitem radiação.
nomeada Radioatividade.
- 1998 - Concentração de cientistas reunida para trabalhar num 60º termo.

O objetivo destas atividades foi a utilização de *organizadores prévios*, já que nelas foram apresentados de forma introdutória alguns conceitos de Radioatividade. Ressalta-se que os organizadores prévios têm a finalidade de servir de ponte entre o que os estudantes já sabem e o que deveriam saber para que esse material seja potencialmente significativo ou, mais importante, para mostrar a relação entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio (MOREIRA, 2010, p. 6).

No **terceiro passo** correspondente à *Introdução dos conceitos fundamentais*, foram destacadas as semelhanças e diferenças relativas às situações e exemplos já trabalhados, buscando promover a reconciliação integradora.

Os alunos mostraram-se bem participativos, questionando, discutindo e demonstrando interesse pelos assuntos tratados.

A tarefa de casa (modelo de núcleo atômico com materiais de baixo custo) foi realizada apenas por dois grupos de alunos, pois nem todos se empenharam em realizá-la.

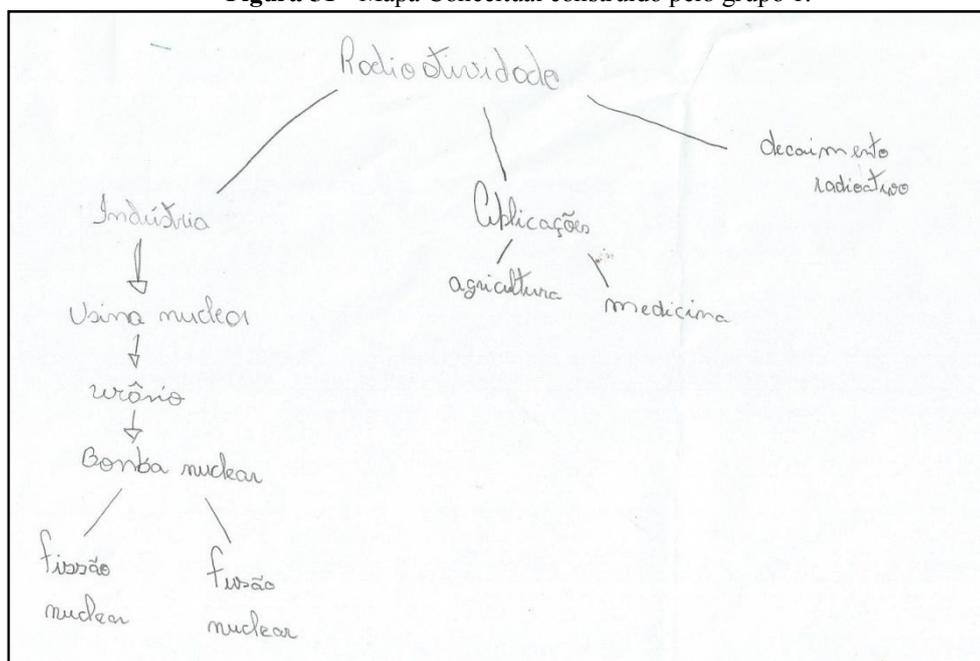
Em continuidade ao terceiro passo, os alunos visualizaram três simulações computacionais: decaimento alfa, decaimento beta e fissão nuclear, as quais foram manipuladas pela professora. Evidentemente que se cada aluno interagisse com as simulações, certamente o resultado de aprendizagem seria mais favorável, no entanto, por falta de estrutura, o laboratório de informática da escola não está funcionando. Por isso os alunos não puderam interagir com as simulações, porém considera-se satisfatória a participação deles na apresentação da simulação por meio do *datashow*, na qual fizeram perguntas, sugeriram valores e puderam visualizar o resultado. Quanto à lista de exercícios os alunos a levaram para a casa para resolver as questões. Observou-se que por se tratar de resolução de exercícios, os alunos tiveram dificuldades e algumas questões foram discutidas e resolvidas na aula seguinte.

Verificou-se que no *Aprofundamento dos conhecimentos*, os alunos estavam bem familiarizados com as diversas aplicações da radioatividade, porém revelaram que algumas destas aplicações só tiveram conhecimento na realização desta última atividade. Os alunos apresentaram de maneira bem apropriada os assuntos designados para cada grupo, o que proporcionou uma discussão produtiva em torno do assunto. Ficou evidenciado que essa atividade em grupo proporcionou um melhor entendimento das aplicações da radioatividade na medida em que os textos utilizados traziam mais detalhes sobre o assunto. Foram destacadas as semelhanças e diferenças relativas às situações e exemplos já trabalhados, buscando promover a reconciliação integradora.

Na elaboração dos mapas conceituais sobre a Radioatividade, verificou-se que os alunos persistiram em dificuldades apresentadas na elaboração dos mapas livres.

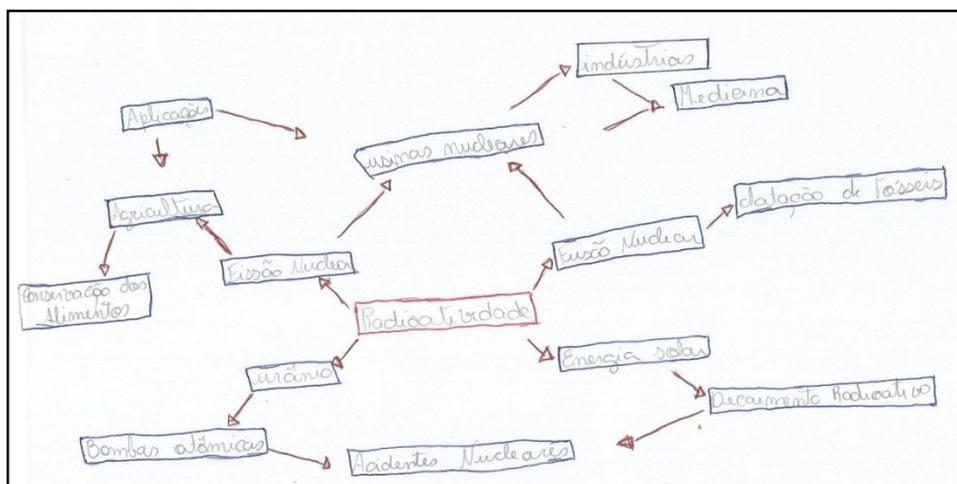
Nos mapas elaborados (Figuras 51 a 57) observa-se que os conceitos poderiam estar mais interligados e conectores deveriam ser acrescentados. Observou-se que faltou motivação aos alunos. Acredita-se que apesar do enorme potencial do instrumento que é o mapa conceitual, os alunos tiveram pouco tempo pra conhecê-lo. Embora tenham recebido o texto sobre a construção de mapas conceituais, eles não elaboraram outros mapas anteriormente sobre assuntos mais cotidianos. Talvez esta tenha sido a dificuldade enfrentada por eles.

Figura 51 - Mapa Conceitual construído pelo grupo 1.



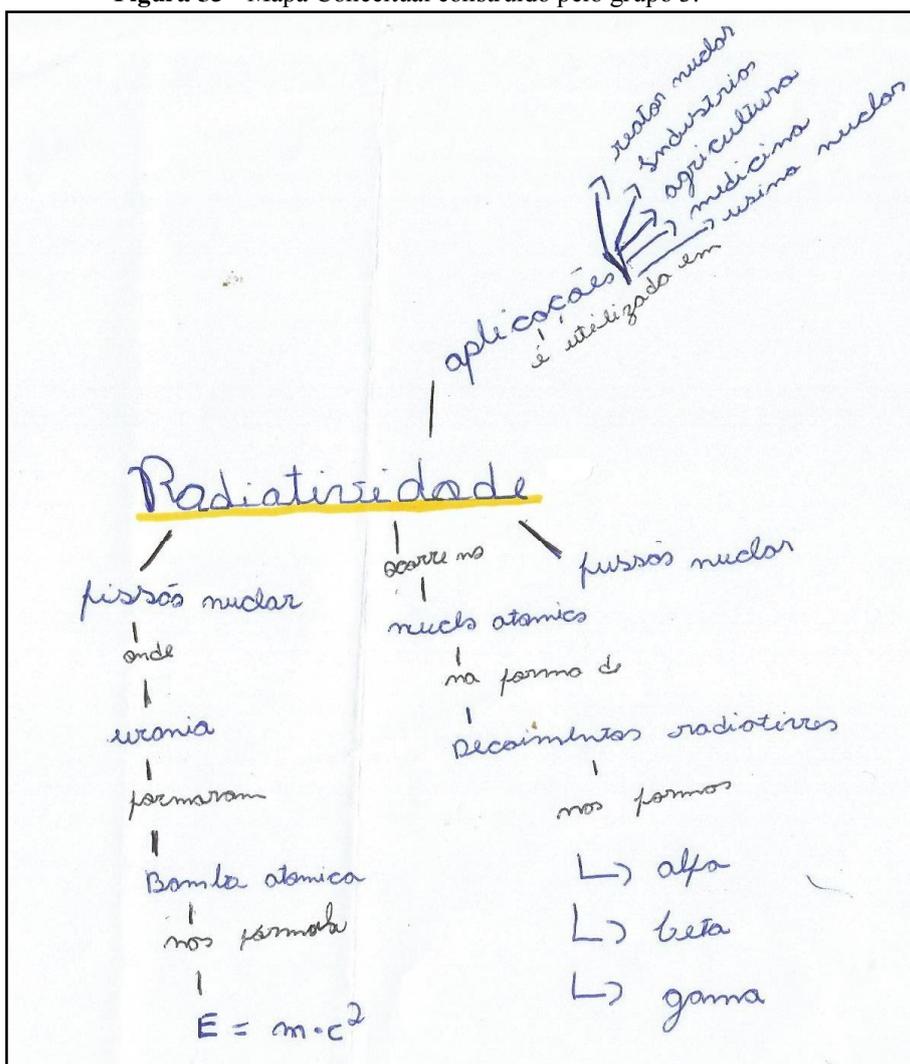
Fonte: A autora (2017).

Figura 52 - Mapa Conceitual construído pelo grupo 2.



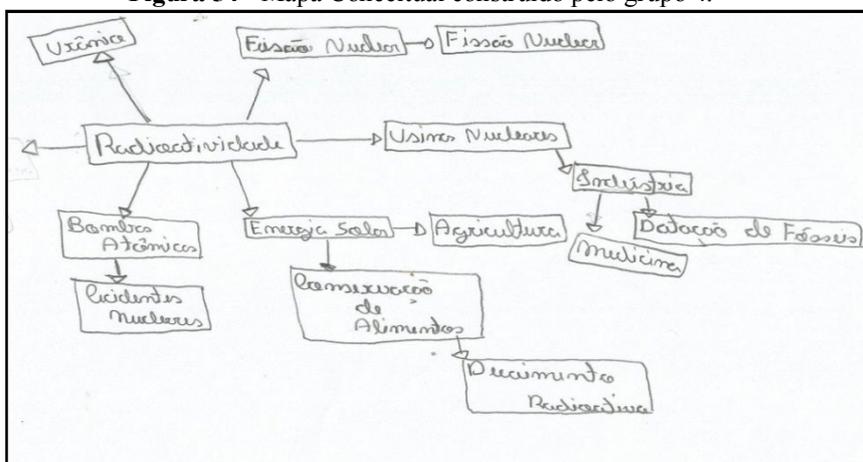
Fonte: A autora (2017).

Figura 53 - Mapa Conceitual construído pelo grupo 3.



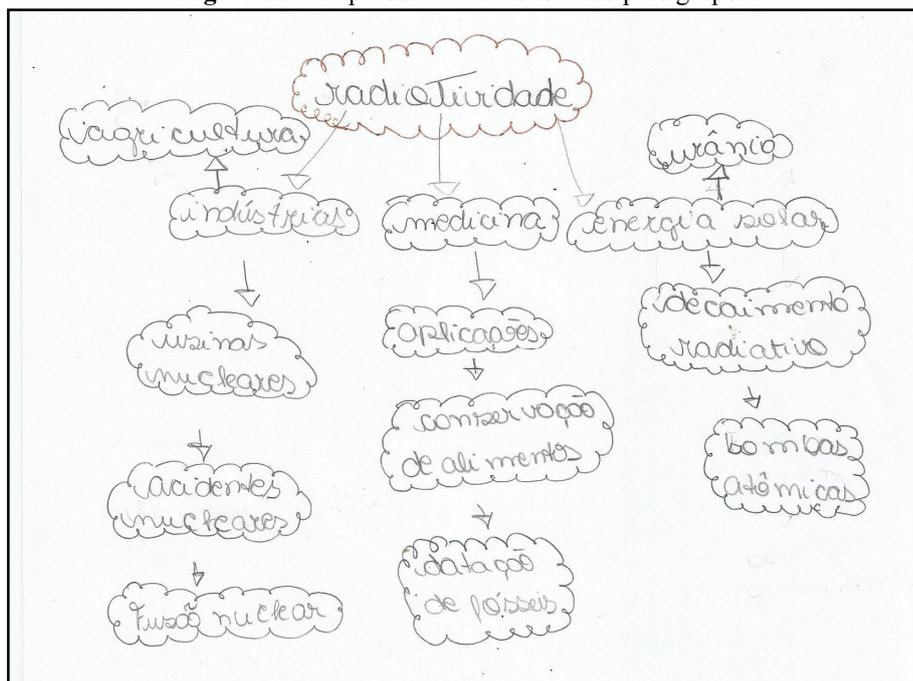
Fonte: A autora (2017).

Figura 54 - Mapa Conceitual construído pelo grupo 4.



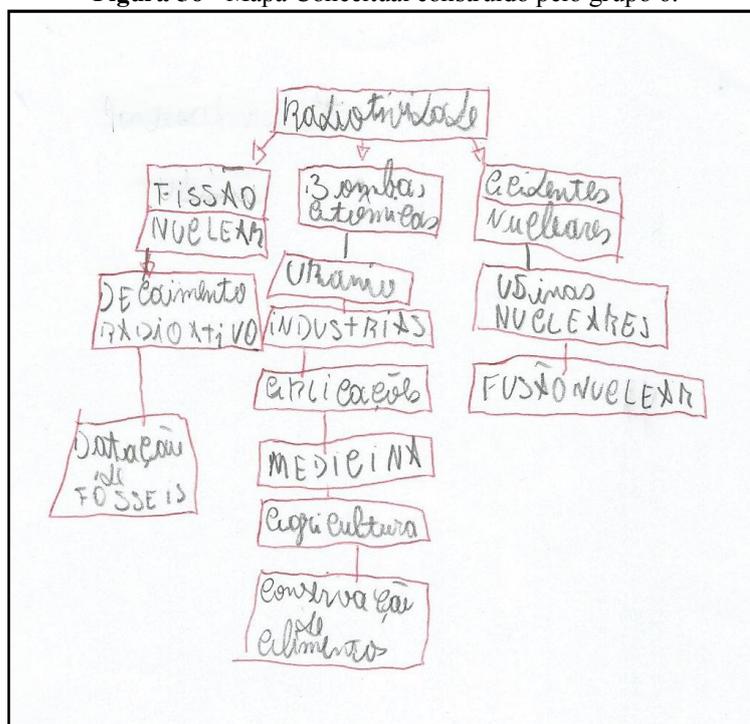
Fonte: A autora (2017)

Figura 55 - Mapa Conceitual construído pelo grupo 5.



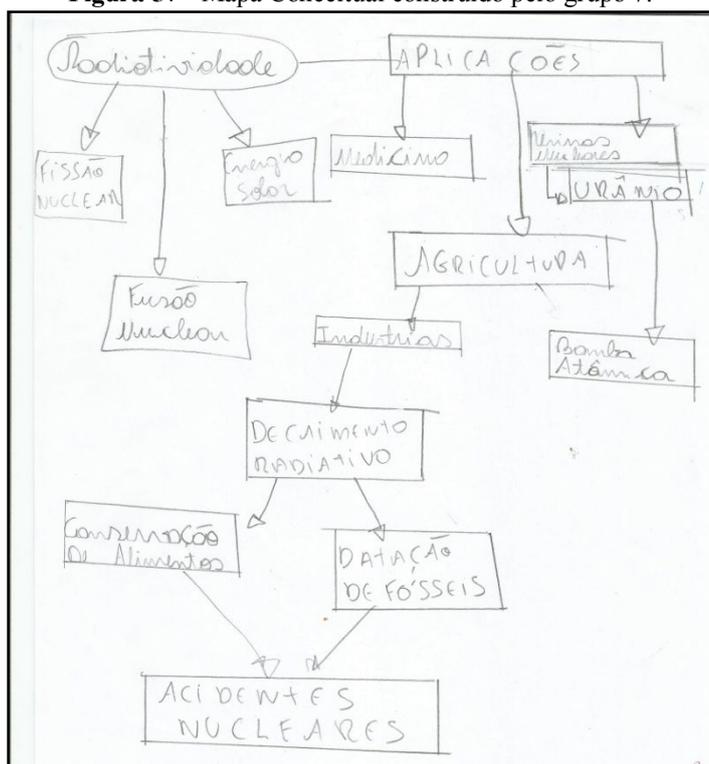
Fonte: A autora (2017).

Figura 56 - Mapa Conceitual construído pelo grupo 6.



Fonte: A autora (2017).

Figura 57 - Mapa Conceitual construído pelo grupo 7.



Fonte: A autora (2017).

Segundo Ausubel, a estrutura cognitiva do aprendiz é única e por isso todos os significados adquiridos também são únicos. Sendo assim, é importante que cada aluno tenha a oportunidade de demonstrar o seu aprendizado individual.

Por isso foi proposta a *Avaliação Somativa* no **quinto passo da UEPS** que contempla seis questões, nas quais priorizou-se os conceitos relativos aos conteúdos da UEPS em detrimento dos cálculos.

De modo geral, os alunos se mostraram motivados e entusiasmados com a avaliação, já que tinham realizado várias atividades em que foram avaliados.

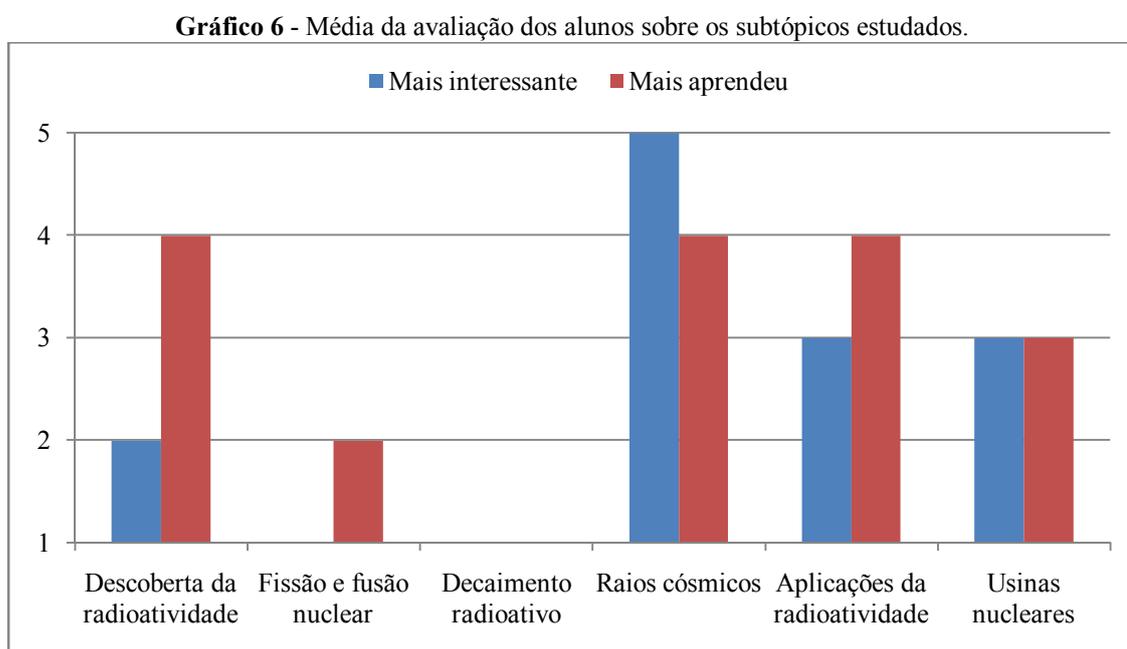
Dos vinte e cinco alunos da turma, vinte e um obtiveram notas superiores à 50% nesta avaliação, alcançando assim os objetivos propostos para a avaliação. Vale lembrar que o sistema de avaliação permite que alunos reprovados no quarto bimestre possam ser aprovados na série, se os mesmos já tiverem alcançado o total de pontos necessários. Por esse motivo, alguns alunos não compareceram à avaliação.

No **sexto passo**, que consiste da *Aula final*, foram retomados alguns questionamentos do estudo de caso *Radioatividade* e as situações-problema iniciais com o processo de reconciliação integradora.

Neste passo, os alunos responderam um questionário no qual fizeram a avaliação das estratégias de ensino utilizadas e do seu aprendizado. Com relação ao tema abordado no

bimestre, 76% dos alunos responderam que foi ótimo, enquanto que 20% responderam que foi bom e 4% responderam que o assunto foi razoável. Em se tratando das aulas, todos os alunos responderam que foram boas.

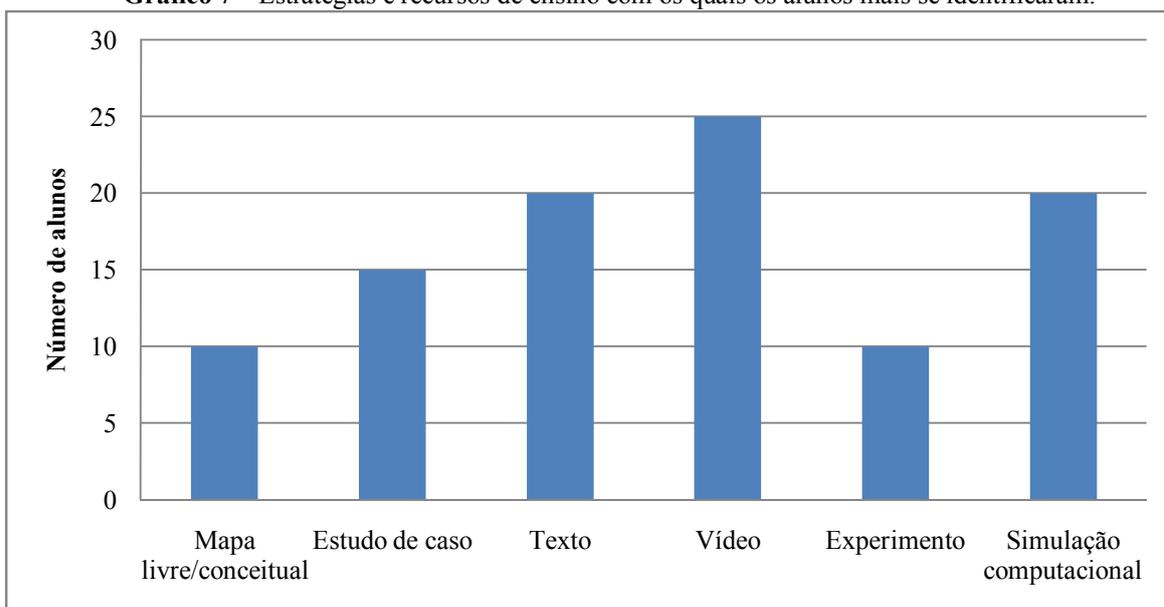
Os alunos fizeram uma avaliação sobre os subtópicos da Radioatividade os quais eles consideraram os mais interessantes e aqueles nos quais eles mais aprenderam numa escala de 1 a 5 (sendo 5 para o conteúdo mais interessante/que mais aprendeu e 1 para o conteúdo menos interessante/ que menos aprendeu). O Gráfico 6 mostra a média alcançada por cada subtópico.



Fonte: A autora (2017).

Observa-se que nem todos os assuntos que os alunos revelaram como aqueles dos quais mais aprenderam são considerados interessantes. Destacam-se, portanto, como subtópicos dos quais os alunos mais aprenderam, descoberta da radioatividade, raios cósmicos e aplicações da radioatividade e o que foi considerado mais interessante foi raios cósmicos.

Ao serem interrogados sobre as estratégias de ensino utilizadas nas aulas desta UEPS, os alunos responderam conforme o Gráfico 7:

Gráfico 7 – Estratégias e recursos de ensino com os quais os alunos mais se identificaram.

Fonte: A autora (2017).

De modo geral, verifica-se que tanto o mapa livre quanto o mapa conceitual não foram bem aceitos pelos alunos. Acredita-se que sendo uma ferramenta da qual não estão muito familiarizados, eles não se identificaram com ela. Já o experimento foi pouco explorado em virtude de o acesso a materiais radioativos ser restrito, tornando os experimentos inviáveis em sala de aula. Porém, os experimentos apresentados em vídeo, mostraram-se como uma boa alternativa, fator que pode ter sido determinante para a grande identificação dos alunos com a utilização de vídeo como recurso didático.

As simulações computacionais, apesar de não terem sido exploradas pelos alunos individualmente obtiveram um bom resultado de aceitação destacando-se entre os demais. Os textos, portanto, acredita-se que também foram bem aceitos por serem mais utilizados por outros professores na escola.

Sobre a avaliação, 84% dos alunos consideraram que a mesma estava de acordo com o que foi estudado e 75% ficaram satisfeitos com o resultado.

Na *Avaliação da aprendizagem* que corresponde ao **sétimo passo da UEPS**, todas as atividades realizadas, a avaliação individual, bem como a participação dos alunos foram consideradas para avaliar a UEPS. Concluiu-se que os alunos obtiveram um bom rendimento e um ótimo envolvimento.

De acordo com o que foi analisado têm-se fortes indícios de boa receptividade dos estudantes ao estudo da radioatividade da forma como foi proposta.

5.2 Levantamento e análise sobre o ensino de FMC no âmbito da pesquisa

A apresentação dos dados e informações e também suas análises foram organizadas de forma a mostrar *a trajetória profissional e acadêmica dos professores participantes da pesquisa, verificar a ocorrência ou não do ensino de conteúdos de FMC pelos docentes, bem como identificar as estratégias de ensino, as formas de avaliação e as dificuldades enfrentadas.*

Sendo assim, o primeiro passo realizado foi a caracterização dos participantes. Em seguida foram destacadas algumas categorias decorrentes das respostas dos professores e por fim, foram realizadas as devidas interpretações dos dados da pesquisa com base no referencial teórico adotado.

5.2.1 Caracterização dos participantes

A partir das respostas dadas nas entrevistas foi possível caracterizar os professores que participaram da pesquisa.

Professor A

O professor A exerce a função de professor há oito anos. Antes de ser professor trabalhou na área de saúde, mas atualmente só exerce a função docente, com uma carga horária de 24 horas-aula incluindo a rede pública e privada.

Formou-se em licenciatura em Física em uma universidade pública estadual e sua impressão a respeito das disciplinas que cursou na graduação é de que Eletromagnetismo, Física Moderna e Física Quântica foram difíceis de estudar. Na concepção do professor A, a ênfase das disciplinas cursadas na universidade era mais Física Clássica no início do curso e mais para o fim da graduação Física Moderna. Além disso, ele destaca como tópicos marcantes da FMC estudados na graduação, Efeito Fotoelétrico, Efeito Compton e Teoria da Relatividade.

Sobre o ensino de FMC, o professor A destaca que ao ensinar tais conteúdos utiliza vídeos e exemplos clássicos como estratégias. No entanto, o fato de não responder às duas perguntas seguintes, fica evidenciado que o mesmo ainda não discutiu temas relacionados à Radioatividade e Cosmologia em suas aulas e por isso não apresenta sugestões de avaliação desses conteúdos. Relata ainda que quando o assunto está relacionado à FMC, nem todos os

alunos se interessam por causa da dificuldade de entendimento dos conceitos físicos envolvidos.

Com relação ao ensino da FMC na rede pública, o professor A destaca como ponto positivo que o professor tem liberdade para levar uma discussão sobre esses tópicos. Entretanto, destaca como pontos negativos o fato de que os alunos de primeiro ano não têm base para trabalhar os conceitos de FMC.

Sobre as exigências de que sejam ensinados tópicos de FMC em todas as séries do Ensino Médio, o professor A aponta como pontos positivos a História da Ciência e a Evolução da Física. E reafirma como ponto negativo, a falta de maturidade dos alunos para compreenderem os fenômenos físicos envolvidos.

Nos comentários finais, o professor destaca que no ensino regular ele tem dificuldade de trabalhar todo o conteúdo da Física, principalmente a FMC que em geral é ensinada no terceiro ano do EM.

Professor B

O professor B exerce a função docente há três anos e antes de ser professor exerceu a profissão de assistente administrativo. Sua carga horária semanal é de doze horas/aula na rede pública.

Cursou Licenciatura em Ciências Naturais, como formação em Física num instituto federal de ensino. E com respeito às disciplinas cursadas na licenciatura, ele relata que a sua impressão é de que as mesmas foram muito técnicas e com falta de transposição didática para o Ensino Médio. A ênfase das disciplinas nos anos iniciais da graduação era Física Clássica e nos anos finais a FMC. Um tópico marcante da FMC destacado pelo professor B foi Dualidade Onda-Partícula.

Sobre o ensino da FMC, o professor B relata que ensina FMC utilizando estratégias como experimentos, simulações e vídeos. Ao discutir o tema Radioatividade, o professor B revela que não foi tão simples, devido à abstração do tema e da falta de pré-requisitos por parte dos alunos, dos quais alguns não sabem definir o que é o átomo. Sendo assim necessário fazer revisão de outros conteúdos, fazendo-o gastar tempo. Além disso, segundo o professor B, a quantidade de aulas de Física na rede pública não favorece o ensino de determinados conteúdos.

Para avaliar os conteúdos de Radioatividade e Cosmologia, o professor B costuma utilizar, provas, resumos de filmes, seminários e textos interdisciplinares. Sobre a motivação

dos alunos com respeito às aulas de tópicos de FMC, o professor relata que não vê nenhuma diferença seja Física Clássica, seja FMC.

Sobre a opinião do professor B, a respeito do ensino de FMC na rede pública de ensino ele destaca como pontos positivos a contextualização com o cotidiano do aluno e a relação com as tecnologias. Sobre os pontos negativos, destaca as poucas aulas semanais, a falta de interesse dos alunos e a carência de professor em anos anteriores.

Considerando a inserção da FMC no EM, o professor B elenca pontos positivos e negativos. Os pontos positivos destacados pelo professor são: as teorias vigentes, pois há teorias clássicas que não fazem sentido para o aluno; ENEM e vestibulares fazem abordagem; contextualização e, os pontos negativos destacados por ele é que o ensino desses conteúdos não condiz com os tempos de aula disponíveis e falta material adequado.

Professor C

O professor C atua na função docente há dez anos e antes de lecionar trabalhava como técnico de eletrotécnica. A carga horária semanal é de sessenta horas/aula incluindo rede pública e particular.

Formou-se em licenciatura em Física em uma universidade pública e revela que a sua impressão a respeito das disciplinas de Física cursadas na universidade foi boa, pois considera que cada ramo da Física foi trabalhado como disciplina. Sobre a ênfase das disciplinas, o professor C destaca que foram contempladas tanto a Física Clássica, quanto a FMC.

Como tópico marcante sobre o ensino da FMC na graduação, o professor C destaca o Efeito Fotoelétrico.

Com relação ao ensino da FMC no Ensino Médio, o professor revela que não ensina tópicos de FMC, justificando-se que os alunos possuem muita dificuldade e que a hora/aula é reduzida a dois tempos semanais. Portanto, não utiliza nenhuma estratégia para ensiná-los. Sobre os temas relacionados à Radioatividade e Cosmologia, o professor C também afirma que não discutiu os mesmos em sala de aula, mas que costuma avaliar esses conteúdos com pesquisas.

O professor C revela que os alunos não mostram muito interesse pelos assuntos relacionados à FMC, pois esses conteúdos parecem distantes da realidade dos alunos. Na opinião do professor C, o ensino da FMC na rede pública de ensino não apresenta pontos positivos e como pontos negativos destaca a falta de estrutura das escolas.

Sobre as exigências de ensinar os conteúdos de FMC no Ensino Médio, o professor destaca como pontos positivos o caminho das novas tecnologias e como pontos negativos a distância da realidade dos alunos.

Nos comentários finais, o professor C afirma que os alunos da rede pública, em sua maioria, fazem cursos técnicos e por isso trata de conteúdos da Física mais relacionados com a área técnica.

Professor D

O professor D exerce a função de professor há dez anos. Antes de ser docente, o professor D exerceu a função de atendente de consultório e balconista de farmácia. Sua carga horária atual é de 46 horas/aula semanais. Coursou Licenciatura em Física em uma universidade estadual. Sua impressão a respeito das disciplinas cursadas na graduação é de que houve muito apelo ao formalismo matemático dos princípios físicos, e a ênfase das disciplinas de Física da licenciatura era sempre voltada para a Física Clássica. O tópico da FMC identificado pelo professor D, como conteúdo marcante na graduação foi a Teoria da Relatividade.

Sobre o ensino da FMC no Ensino Médio, o professor afirma que ao ensinar os tópicos de FMC utiliza como estratégias de ensino história da ciência e vídeos.

Sobre os temas radioatividade e Cosmologia, o professor D destaca que a Cosmologia é ensinada na primeira série do Ensino Médio, mas um pouco desconexa com os demais conteúdos e a Radioatividade é abordada no quarto bimestre da segunda série do Ensino Médio. Destaca, portanto, que o currículo da segunda série talvez seja um dos mais coerentes em termos sequenciais. Com relação à avaliação, a cosmologia tem uma abordagem vaga, porém a radioatividade tem uma abordagem significativa. Na concepção do professor D, os alunos se portam mais receptivos em a relação à Física Clássica do que quando o assunto está relacionado à FMC.

Na opinião do professor D, o ponto positivo sobre o ensino da FMC na rede pública de ensino é a liberdade que o professor tem para abordar os temas. Como ponto negativo, o professor destaca a carga horária reduzida.

Sobre as exigências de se ensinar tópicos da FMC no Ensino Médio, o professor destaca como pontos positivos que a Física Clássica e a FMC podem ser abordadas de forma integrada. Como ponto negativo reafirma a carga horária reduzida.

Professor E

O professor E atua na função docente há seis anos e antes de lecionar trabalhava como corretor de imóveis. A carga horária semanal de trabalho como professor é de trinta e uma horas/aula.

Formou-se em licenciatura em Física em uma universidade estadual e revela que a sua impressão a respeito das disciplinas de Física cursadas na universidade foi boa, no entanto revela que as disciplinas pedagógicas foram pouco exploradas. Sobre a ênfase das disciplinas, o professor E destaca que a FMC foi contemplada, no entanto sem aplicação em sala de aula.

Como tópico marcante sobre o ensino da FMC na graduação, o professor E destaca a Física Quântica, na qual teve dificuldades.

Com relação ao ensino da FMC no Ensino Médio, o professor revela que não ensina tópicos de FMC, justificando-se que tais conteúdos não são cobrados nos materiais didáticos e nos vestibulares. Portanto, não utiliza nenhuma estratégia para ensiná-los.

Na opinião do professor E, o ensino da FMC na rede pública de ensino apresenta como pontos positivos a importância da adequação de conceitos clássicos com os conceitos de FMC, como por exemplo, entre a Mecânica Newtoniana x Relativística, gravitação de Newton x Einstein. Como pontos negativos, ele destaca a falta de preparo dos professores.

Sobre as exigências de ensinar os conteúdos de FMC no Ensino Médio, o professor destaca como pontos positivos, maior interesse dos professores e investimento do Estado e como pontos negativos poucos investimentos no material pedagógico e experimental relacionado à FMC.

5.2.2 Definição das categorias de respostas à entrevista

A partir das respostas dos participantes, foram definidas categorias para análise das informações obtidas. As categorias analisadas foram:

- a) Trajetória profissional e acadêmica
- b) Ensino de FMC
- c) Dificuldades enfrentadas

Quanto à *Trajetória Profissional* identificou-se o caminho percorrido pelos professores, participantes da pesquisa, em relação às suas atividades profissionais antes e/ou paralelamente à profissão atual. Verificou-se também a carga horária docente semanal do docente e o curso de graduação, bem como a universidade na qual aconteceu a formação.

Na questão da *Presença da FMC na Formação Universitária* verificou-se a impressão dos professores a respeito das disciplinas de Física cursadas na universidade e também a ênfase ou não da FMC.

Na categoria *Ensino de FMC* buscou-se verificar se os professores ensinam conteúdos da FMC e quais estratégias utilizam para tal. Além disso, os professores foram interrogados a respeito do comportamento dos alunos em relação aos assuntos relacionados à FMC.

Em relação às *Dificuldades Enfrentadas*, identificou-se a carga horária reduzida da disciplina, a falta de estrutura e as dificuldades de aprendizagem dos alunos como desafios para os docentes.

a) Trajetória Profissional e Acadêmica

Os professores entrevistados trabalharam em outras atividades antes de se tornarem professores. No entanto, verifica-se que apenas o professor C, que trabalhou como técnico em eletrotécnica exerceu uma atividade profissional que tem alguma relação com a Física.

Observou-se que a carga horária semanal dos professores é bem extensa, lecionando na rede pública e particular. O professor C, por exemplo, trabalha sessenta horas semanais.

Dos professores entrevistados, quatro cursaram a graduação em Licenciatura em Física em uma universidade estadual e um cursou Licenciatura em Ciências Naturais, com habilitação em Física, no Instituto Federal com sede no estado do Rio de Janeiro.

Sobre seus cursos de graduação, os professores têm opiniões variadas sobre a impressão a respeito das disciplinas de Física cursadas em seus respectivos cursos, como pode ser observado nas suas falas:

Professor D: Muito apelo ao formalismo matemático dos princípios físicos.

Professor B: Disciplinas técnicas, falta transposição didática para o nível médio. A impressão é que forma para atuar no nível superior.

Professor A: Algumas disciplinas evoluíram bem, mas algumas como, Eletromagnetismo, Física Moderna e Física Quântica foram difíceis de estudar.

Professor C: Muito boa. Cada ramo da Física foi trabalhado como uma disciplina.

Professor E: Curso bom em relação aos conteúdos e aplicação teórica, porém pouco relacionado com a parte pedagógica.

Segundo os professores A e B, nos anos iniciais da graduação, a ênfase das disciplinas de Física era mais para a Física Clássica e nos anos finais, para a FMC.

Para o professor D, a ênfase é mais para a Física Clássica, enquanto o professor C afirma que foram equivalentes.

Com respeito a um tópico marcante sobre o ensino da FMC identificado na graduação, os professores citaram alguns, conforme o quadro a seguir:

Quadro 9 - Tópicos marcantes do ensino da FMC na universidade.

Professor A	Efeito fotoelétrico, efeito Compton, Teoria da Relatividade
Professor B	Dualidade onda-partícula
Professor C	Efeito fotoelétrico
Professor D	Teoria da Relatividade
Professor E	Física Quântica

c) Ensino de FMC

Verificou-se na entrevista, que dois professores afirmaram que não ensinam tópicos da FMC para os alunos do Ensino Médio. As justificativas para isso constam nas suas falas a seguir:

Professor C: Os alunos possuem muitas dificuldades e a hora/aula é reduzida a dois tempos semanais. Os alunos da rede pública, em sua maioria, fazem cursos técnicos, então vejo interesse apenas em conteúdos que estão em comum com o curso técnico.

Professor E: Por não ser cobrado nos materiais didáticos e também porque raramente cai nos vestibulares.

Entretanto, três professores afirmaram que ensinam conteúdos de FMC aos seus alunos e destacaram a História da Ciência, vídeos, experimentos e simulações computacionais como as estratégias de ensino que eles utilizam para isso. Quanto aos tópicos que fazem parte da proposta de ensino desta pesquisa, a Cosmologia e a Radioatividade, o professor A deixa evidente que ainda não ensinou estes conteúdos para suas turmas. Com respeito a isso, destacam-se os comentários dos professores B e D:

Professor B: Trabalhar o tema Radioatividade não foi tão simples, devido à abstração do tema e falta de pré-requisitos dos alunos. Há alunos que não sabem definir o que é o átomo. Foi necessário fazer revisão de outros conteúdos, o que fez “gastar tempo”. A quantidade de aulas de Física na rede pública não favorece o ensino de determinados conteúdos.

Professor D: A Cosmologia é abordada na primeira série do Ensino Médio um pouco desconexa com os demais conteúdos. A Radioatividade é abordada no quarto bimestre da segunda série dentro do tópico de Física Nuclear. O currículo da segunda série talvez seja um dos mais coerentes em termos sequenciais.

Para avaliar estes conteúdos, o professor B afirma que utiliza provas, resumos de filmes, seminários e textos interdisciplinares. O professor C, apesar de não ensiná-los afirma que utiliza pesquisas para avaliar esses conteúdos, já que os mesmos estão presentes no currículo do Ensino Médio.

Com relação ao interesse dos alunos no estudo da FMC, as respostas dos professores deixam mais evidentes ainda as dificuldades no ensino da FMC, como pode-se observar abaixo:

Professor A: Nem todos os alunos se interessam por causa da dificuldade de entendimento dos conceitos físicos envolvidos.

Professor C: Não vejo muito interesse, parece distante da realidade dos alunos.

Professor D: Os alunos são mais receptivos em relação à Física Clássica.

Professor B: Não vejo diferença na atitude dos alunos quando se trata da Física Clássica ou FMC.

d) Dificuldades enfrentadas

Como todos os professores entrevistados são professores da rede pública, perguntou-se a opinião deles sobre o ensino de FMC na escola pública. Sendo assim, o professor B destaca como pontos positivos “contextualização com o cotidiano do aluno, relação com as tecnologias”. Porém, o referido professor cita como pontos negativos: “poucas aulas semanais, falta de interesse dos alunos e carência de professor (anos anteriores)”.

O professor D, também afirma que a carga horária reduzida é um ponto negativo para o ensino de FMC no contexto da escola pública em que leciona. Já o professor A, destaca que “os alunos não têm base para aprender os conceitos de FMC” e o professor C revela que a sua escola não têm estrutura para ensinar estes conteúdos e o professor E destaca a falta de preparo do professor.

Quanto à presença dos conteúdos de FMC no currículo da escola pública, os professores destacam os pontos positivos e negativos, conforme o Quadro 10:

Quadro 10 - Pontos positivos e negativos sobre a inserção da FMC no currículo do EM.

	Pontos positivos	Pontos negativos
Professor A	História da Ciência e Evolução da Física.	O aluno não é maduro o suficiente para a compreensão dos fenômenos físicos envolvidos.
Professor B	Teorias vigentes, pois há teorias clássicas que não fazem sentido para o aluno; Enem e vestibulares fazem abordagem;	Não condiz com os tempos de aula, falta de material adequado.

	contextualização.	
Professor C	Mostrar o caminho das novas tecnologias	Fora da realidade dos alunos.
Professor D	A Física Clássica e a FMC abordadas de forma integrada.	Carga horária reduzida.
Professor E	Maior interesse dos professores e investimento do Estado.	Poucos investimentos no material pedagógico e experimental relacionado à FMC.

Fonte: a autora (2017)

5.2.3 Análise das respostas com base nos trabalhos de Maurice Tardif

Ao analisar as respostas dos professores à entrevista, destacam-se alguns pontos que estão em consonância com as pesquisas de Tardif (2002).

Em se tratando da *trajetória profissional*, verifica-se primeiramente que a média de experiência dos docentes é de, aproximadamente, oito anos e que atividades profissionais anteriores não tiveram nenhuma influência sobre a escolha pela Física na atividade docente, apenas um professor exerceu uma atividade afim à disciplina – técnico em eletrotécnica. Também é importante destacar que a carga horária de Física nas turmas da escola pública estadual na qual eles lecionam é reduzida à apenas duas horas/aula semanais, assim esses professores possuem muitas turmas para compor sua carga horária de trabalho, o que dificulta ainda mais o trabalho docente.

Conforme definida por Tardif (2002, p. 255), a epistemologia da prática docente estuda os saberes que os professores utilizam no desempenho de suas tarefas no âmbito escolar. Assim, entende-se que o professor incorpora e modifica os saberes utilizados em sala de aula em função do contexto de trabalho. Nesse sentido, verifica-se que os saberes experienciais incorporados “à experiência individual e coletiva sob a forma de *habitus* e de habilidades de saber-fazer e saber-ser” (TARDIF, 2002, p. 38) foram adquiridos na trajetória profissional dos docentes, ora entrevistados. Esses saberes se modificam, tanto pelos anos de experiência como professores, quanto pela carga horária extensa cumprida por eles.

Outras considerações também cabem aqui acerca do trabalho docente. Tardif e Lessard (2008) defendem ser a rotina do professor dotada de regras, que controlam o espaço e a duração das atividades. “trata-se de um trabalho cujo desenvolvimento é agendado em conformidade com programas, avaliações e, em sentido global, com os diferentes padrões e mecanismos que direcionam o andamento dos alunos no sistema escolar” (TARDIF; LESSARD, 2008, p. 42). Logo, o docente precisa desempenhar as suas funções considerando normas pré-estabelecidas por instâncias maiores, muitas vezes sem o seu consentimento. O

professor, nesse caso tem autonomia para decidir os métodos de ensino, mas o conteúdo a ser construído e o tempo disponível para isso são pré-determinados. Entretanto, os autores vêem a docência como um trabalho flexível uma vez que “ensinar, de certa maneira é sempre fazer algo diferente daquilo que estava previsto pelos regulamentos, pelo programa, pelo planejamento, pela lição, etc” (TARDIF; LESSARD, 2008, p.43).

Quanto à *formação universitária dos professores*, observou-se que todos fizeram Licenciatura em Física em universidades públicas, o que demonstra que os mesmos tiveram uma formação específica em Física e em uma universidade reconhecida. No entanto, apontaram falhas, a respeito da formação inicial que tiveram. O professor D relata que o curso de Física teve muito apelo para o formalismo matemático e o professor E, afirma que as aulas não eram voltadas para a formação de professores. O professor B também relata que a sua impressão a respeito das disciplinas é de que são muito técnicas, faltando transposição didática para o Ensino Médio. Na concepção deste professor o curso parece direcionado para atuação no Ensino Superior. Fica evidenciado nas respostas dos docentes que as disciplinas de Física Clássica foram privilegiadas em relação à carga horária e inclusive com ênfase maior dentro dos cursos de Física.

Esses relatos dos professores vêm ao encontro do que Tardif (2002, p. 37) afirma sobre saberes disciplinares, os quais correspondem aos vários campos do conhecimento, que são incorporados à formação dos professores em forma de disciplinas, durante a formação inicial ou continuada. No caso desta pesquisa, na qual o campo de conhecimento é a Física, verifica-se que os saberes disciplinares relacionados à FMC, oriundos da formação inicial dos professores, foram insatisfatórios quando comparados à Física Clássica.

Com respeito *ao ensino da FMC no Ensino Médio* pelos professores, os que afirmaram que não ensinam FMC, apontaram fatores como: dificuldades dos alunos e carga horária reduzida para não fazê-lo. Todavia, os professores que declararam que ensinam esses conteúdos relatam as mesmas dificuldades que aqueles enfrentam quando se trata desses temas, porém mesmo assim estes têm se empenhado em fazê-lo.

Acerca desse ponto, Tardif (2002, p. 38) afirma que ao longo de suas carreiras, o professor deve apropriar-se também dos saberes curriculares, que correspondem aos elementos em que se fundamentam os currículos (discursos, objetivos, conteúdos, métodos), a partir dos quais a instituição escolar categoriza e apresenta os saberes sociais por ela definidos e selecionados como modelos da cultura erudita e que os professores devem aprender a aplicar. Daí a importância desses saberes no ensino de conteúdos da FMC, como Cosmologia e Radioatividade, com uma metodologia diferenciada.

Neste aspecto, Gowin (1981) propõe que os materiais educativos do currículo utilizados por professor e aluno devem buscar congruência de significados. Sendo assim, o professor deve atuar de maneira intencional para mudar significados da experiência do aluno. Se o aluno manifesta uma disposição para aprender, o professor também atua intencionalmente para captar o significado dos materiais educativos. No entanto, se os professores não incorporaram completamente os saberes disciplinares e curriculares à sua prática docente, eles só obterão sucesso por meio de uma formação continuada que traga a capacitação necessária para o exercício de sua profissão.

Pode-se inferir, portanto, que em virtude da formação insatisfatória que tiveram em relação à FMC, alguns professores se sentem incapacitados para ensinar os conteúdos de FMC.

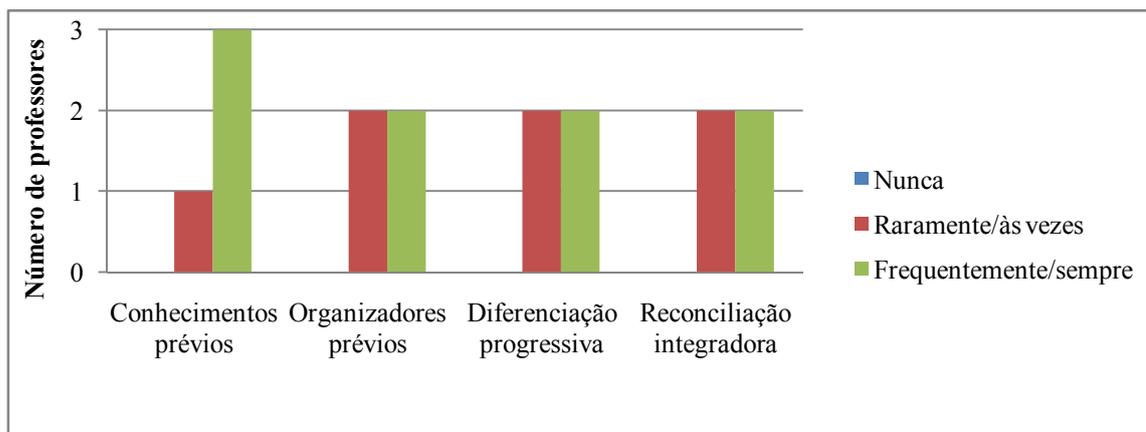
5.3 Levantamento e análise das percepções de professores de Física sobre as UEPS elaboradas

Os cinco professores que participaram da pesquisa inicial por meio da entrevista, receberam, via endereço eletrônico, o material constando das duas UEPS e seus respectivos anexos. Além disso, receberam também um questionário que foi elaborado para que os professores realizassem a avaliação de todo o material reunido nas UEPS. No entanto, nesta fase da pesquisa, apenas quatro professores participaram enviando suas avaliações.

O objetivo foi *avaliar se o professor conseguiu compreender a ênfase progressiva, recursiva e heurística dada às atividades propostas nas UEPS*.

Comparando com os pressupostos de Tardif (2002) e da teoria de Gowin (1981), foram analisadas as impressões dos professores ao avaliar o potencial da proposta, dar sugestões e utilizá-la em suas aulas, como foi o caso de um professor participante da pesquisa.

Para tanto, buscou-se inicialmente verificar como os professores têm considerado os princípios da TAS em suas aulas. O Gráfico 8 apresenta as respostas dos professores:

Gráfico 8 - Princípios da TAS considerados pelos professores em suas aulas.

Fonte: A autora (2017).

Pelo Gráfico 8 cerca de 50 % dos professores afirmam levar em conta princípios da TAS, como os conhecimentos prévios, o uso de organizadores prévios, a ênfase na diferenciação progressiva e reconciliação integradora.

Assim, pode-se dizer que os participantes desta pesquisa estão alinhados àquilo que Ausubel defende na TAS, na qual afirma que o conhecimento prévio é, isoladamente, a variável que mais influencia a aprendizagem e que para promover a aprendizagem significativa é preciso averiguar esse conhecimento prévio e ensinar de acordo. (VALADARES e MOREIRA, 2009)

Já os princípios programáticos e as estratégias facilitadoras dessa aprendizagem, como a diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e os organizadores prévios (AUSUBEL *et al.* 1978, 1980, 1983 *apud* MOREIRA, 2010), com base nas respostas dos professores, pode-se inferir que estão presentes de forma mais sutil nos planejamentos de aula dos professores.

Buscou-se também neste questionário saber a opinião dos professores sobre *o que seria para eles um material potencialmente significativo*. A seguir, foram transcritas as respostas dos entrevistados:

Professor A: São materiais que têm uma linguagem clara a respeito dos conceitos físicos para que o aluno consiga interpretar e relacionar com o seu cotidiano as informações sobre determinado assunto.

Professor B: Um material potencialmente significativo é aquele que desperta o interesse do aluno, que ‘prenda a sua atenção’ nas aulas e atividades realizadas. De modo geral, um material que tire os alunos da rotina diária a qual são submetidos com bastante frequência: pincel e quadro, uso de livro didático, listas de exercícios, testes, provas, etc. Exemplos de materiais potencialmente significativos: materiais que são capazes de externalizar a criatividade dos alunos e principalmente os materiais

vinculados à tecnologia: vídeos interessantes e modernos, simulações computacionais, uso de aparelho celular como recurso pedagógico, etc.

Professor C: Um material que tenha um potencial significativo para a aprendizagem do aluno, valorizando o conhecimento prévio dos alunos e fazendo com que o estudante possa relacionar os novos conceitos com aquilo que ele conhece.

Professor D: Material potencialmente significativo seria toda sequência didática que promova uma aprendizagem efetiva do aluno, onde o conteúdo seja de linguagem acessível e coerente conceitualmente.

As respostas mostraram que os professores consideram um material potencialmente significativo, aquele que traz uma linguagem clara, acessível, relacionada ao cotidiano dos alunos e que leve o estudante a relacionar os novos conceitos com aquilo que ele conhece. No entanto, verifica-se que as respostas não apresentaram uma clareza com relação à ideia do que seria um material potencialmente significativo. Pois ainda que possa estabelecer relações com a noção, as respostas deles se resumem a uma noção de "significativo" do senso comum, como o que produz resultados e não como o que permite, a partir de determinados processos, a construção de significados.

Moreira (1999, p.156) destaca que um material potencialmente significativo é aquele que segue os princípios da *diferenciação progressiva*, levando em conta a natureza hierárquica da dinâmica da estrutura cognitiva e da *reconciliação integradora* que é a retomada dos conteúdos de forma a relacionar ideias, explicitando semelhanças e diferenças entre as novas informações e os subsunçores. Assim, a aprendizagem significativa pode ser facilitada se o professor antecipar aos alunos aspectos gerais dos conteúdos a serem trabalhados.

Neste aspecto, destaca-se também o modelo de ensino de Gowin (MOREIRA, 2008) que propõe que em uma situação de ensino, o professor atua de maneira intencional para mudar significados da experiência do aluno com o objetivo de compartilhar significados. A importância dada por Gowin aos materiais educativos indica a relevância que deve ser dada ao material de apoio que os professores utilizam no desempenho da função docente visando a aprendizagem significativa dos estudantes. Por esse motivo, acredita-se que este material pode ser considerado potencialmente significativo.

Como todos os participantes da pesquisa lecionam ou lecionaram na rede estadual de ensino, investigou-se a viabilidade da implementação deste material nas escolas públicas estaduais.

Os professores revelaram alguns inconvenientes no ensino desses temas até então, como: a formação dos professores de Física nem sempre adequada para o ensino de tais

conteúdos, a estrutura física e tecnológica da escola pública e os livros didáticos adotados pelas escolas que nem sempre trazem os conteúdos na sequência proposta pelo currículo mínimo. Porém reconhecem que as atividades elaboradas nas UEPS podem ser facilmente aplicadas, em virtude de ser um planejamento completo que indica como aplicá-las, além de trazer uma diversidade de atividades contextualizadas tornando o ensino mais prazeroso e conquistando a atenção do aluno.

A resposta do professor B apresenta de uma forma bem completa o que foi exposto pelos demais.

Professor B: Acredito que as UEPS propostas vão ao encontro da realidade da rede estadual de ensino. Os temas das UEPS não são encontrados de maneira fácil em livros textos didáticos adotados pelas escolas, e em outros casos, o livro apresenta o conteúdo em volume diferente ao que é sugerido pelo estado do RJ, por exemplo, o tema Radioatividade/Física Nuclear é conteúdo do 2º ano do ensino médio na rede estadual, e apresentado no livro do 3º ano em sua maior parte. Além disso, são temas que dificilmente terão uma eficácia na aprendizagem se forem ensinados de maneira tradicional. Outra relevância da UEPS é que o tema de Cosmologia que é o primeiro conteúdo que os alunos estudam na disciplina de Física. Sendo assim, é uma forma de tornar o ensino mais atrativo e motivador para esse aluno, que muitas vezes chegam ao Ensino Médio com uma visão negativa acerca da Física. Outra importância, é que o professor que atua no Ensino Médio nem sempre está preparado para o ensino de tais conteúdos, devido a sua formação ser limitada apenas a uma licenciatura em física (onde nem sempre é abordado o tema ou de uma forma a ser retransmitido para a 'linguagem' do Ensino Médio). E também, na realidade que vivenciamos em nosso estado, os professores que ensinam Física em alguns casos são licenciados em Química ou em Matemática.

Diante do exposto pelo professor, conclui-se que os livros didáticos adotados pelas escolas em sua maioria não apresentam os conteúdos das UEPS ou divergem do Currículo Mínimo no que tange às séries nas quais os conteúdos foram inseridos. Sendo assim, o material produzido nesta pesquisa cumpre o seu objetivo, na medida em que oferece um material baseado nas competências e habilidades do CM, que apresenta uma metodologia inovadora e atrativa para o aluno. Além disso, o professor de posse desse material, mesmo que possua algumas limitações na sua formação em relação aos temas, se sentirá menos inseguro.

O questionário buscou também a avaliação dos professores acerca da abordagem dos tópicos (Cosmologia e Radioatividade) tratados nas UEPS. Todos os participantes consideraram positiva a abordagem dos conteúdos, pois esta é apresentada de forma contextualizada e diversificada. Destacaram, também, que atividades diferenciadas chamam a atenção do aluno e favorecem o aprendizado.

Sobre as estratégias utilizadas, os professores destacaram a importância de trazer a tecnologia para o ensino, como os vídeos, as simulações computacionais e até mesmo os

slides, já que a tecnologia está tão presente no cotidiano dos alunos. Na opinião dos professores, as atividades utilizadas nas UEPS são eficazes no ensino dos conteúdos, e conseqüentemente, torna o aprendizado mais prazeroso.

As contribuições e críticas ao material foram de grande valor para a autora desta pesquisa. Os professores destacaram que o material é de fácil compreensão e prático, não exigindo muito tempo do professor para planejar as atividades, uma vez que o material pode ser considerado o planejamento, cabendo ao professor apenas a execução.

Algumas sugestões foram muito válidas, como por exemplo, a inserção de figuras (*print Screen*) das simulações computacionais e dos vídeos, nestes últimos, favorecendo futuramente o professor a encontrá-lo, caso saia do ar com aquele *link*.

Outra sugestão de muita valia diz respeito à apresentação da lei da Gravitação Universal na introdução dos conceitos fundamentais da UEPS Cosmologia. Devido à dificuldade que os alunos em geral apresentam nos cálculos com notação científica, foi sugerido que ficasse especificado no material que a ideia geral da referida lei será apresentada conceitualmente.

E sobre a proposta da construção do mapa conceitual, foi sugerido que acrescentasse no material, que o professor deverá reservar alguns minutos da aula para explicar o que é um mapa conceitual.

Nos comentários finais, cada professor explicitou a sua visão geral sobre o material analisado. Seguem os comentários de cada participante da pesquisa:

Professor A: Este material com certeza fará uma diferença proeminente na aprendizagem do estudo da cosmologia e radioatividade não somente para os alunos do EM, mas para aqueles que ainda não conseguiram aprender de forma significativa sobre os temas abordados e de como está presente em nossas vidas. Sem dúvidas usaria este material quando fosse ministrar aulas destes temas.

Professor B: O material é uma ferramenta bastante útil para o professor, pela praticidade que gera para o mesmo. O professor pode ter acesso no início do bimestre e ter todas as atividades do bimestre já prontas sem o trabalho e gasto de tempo em pesquisar e reunir material, além disso o próprio material instrui o professor em como trabalhar o conteúdo.

Professor C: Como já citei o material é de excelente qualidade, e traz propostas que realmente ligam o cotidiano do aluno com a aprendizagem. As atividades e tarefas têm a finalidade de que o aluno realmente adquira o conhecimento. Nesse material o professor é o mediador do processo educacional e o aluno construtor do seu conhecimento, fomentando e promovendo a qualidade de pensamento diversificado.

Professor D: A proposta do material é muito interessante, pois faz com que o aluno sinta-se parte integrante do processo de aquisição do conhecimento. A diversidade de

estratégias contribui para que a busca pelo conhecimento seja mais atrativa para o aluno.

Verifica-se que os comentários dos professores foram positivos, aprovando o potencial do material analisado. Por ser completo, contendo atividades e instruções de execução, o material agradou muito aos professores, pois planejamento e elaboração de atividades demandam muito tempo.

É importante salientar que no decorrer desta pesquisa pode-se identificar os saberes mobilizados e construídos pelos professores. Ao relatarem a formação inicial como professores de Física, foram evidenciados os saberes profissionais, aqueles transmitidos pelas instituições de formação de professores, e os saberes disciplinares, aqueles específicos da disciplina de Física, com foco na FMC. Os saberes experienciais e os curriculares foram mostrados nos relatos das visões dos professores sobre a vivência no âmbito escolar e a respeito da identificação que tiveram com o currículo e a metodologia de ensino, apresentados pela rede estadual de ensino e pela presente pesquisa. Notou-se que os saberes experienciais e os curriculares dos docentes puderam ser ampliados e alinhados aos saberes científicos.

A importância dada por Gowin ao material educativo no contexto do ensino é salientada por Moreira (2008) em congruência com a TAS, quando afirma que este deve ser potencialmente significativo. Este aspecto do referencial teórico utilizado como base da pesquisa e do produto educacional é evidenciado na avaliação positiva, por parte dos docentes, ao material produzido e nas observações realizadas pela pesquisadora na implementação das UEPS, dando credibilidade e confirmando a exequibilidade do material avaliado.

6 CONCLUSÃO

O ensino de FMC tem sido objeto de diversas pesquisas no sentido de investigar as dificuldades encontradas nesse campo do ensino de Física, como por exemplo, a insegurança que os docentes têm para ensinar esses conteúdos, em virtude da formação inadequada tanto nos cursos de licenciatura como na formação continuada.

No entanto, na perspectiva de capacitar professores de física, o MNPEF tem sido uma oportunidade de melhoria na qualificação dos professores no exercício de sua profissão, visando o desenvolvimento de técnicas e produtos para a aprendizagem de física.

Nesse âmbito, este trabalho apresentou uma proposta de ensino diferenciada com a utilização de UEPS, sequências didáticas baseadas na TAS de Ausubel, que resultou em um produto educacional.

Com o objetivo de investigar as potencialidades das UEPS para facilitar o ensino de FMC, duas UEPS (UEPS Cosmologia e UEPS Radioatividade) foram aplicadas em duas turmas de EM do Colégio Estadual José do Patrocínio em Campos dos Goytacazes, RJ. Cujas atividades foram elaboradas com foco no compartilhamento de significados, proposto na relação triádica professor-material educativo-aluno da Teoria de Gowin, e nos princípios da TAS.

Além disso, uma entrevista realizada com cinco professores de física, baseada na epistemologia da prática docente de Tardif, traçou o perfil destes docentes que apontaram as dificuldades dos alunos, a carga horária reduzida e a raridade com que os conteúdos de FMC aparecem nos vestibulares, como fatores a serem enfrentados no ensino desses temas.

O material produzido foi avaliado por meio de questionário aplicado a quatro dos professores participantes da pesquisa inicial, que consideraram a abordagem dos temas atrativa e motivadora para os alunos e, para os professores, uma ferramenta bastante útil, pela praticidade que gera em virtude do docente ter acesso no início do bimestre a todas as atividades já prontas sem o trabalho e gasto de tempo em pesquisar e reunir material, além de o próprio material instruir o professor na ministração do conteúdo.

Vale ressaltar que as atividades desenvolvidas nas UEPS resgataram o prazer do professor em dar aula e do aluno em aprender satisfatoriamente. Pode-se fazer esta afirmação em função dos comentários feitos pelos alunos, pelo interesse que a maioria demonstrou, pelo engajamento na realização das atividades e pela experiência obtida pela pesquisadora na implementação das UEPS.

Em virtude desses fatos, o material pode ser considerado potencialmente significativo, à medida que demonstrou fortes indícios de boa receptividade dos alunos promovendo uma predisposição para aprender os conteúdos de Física, condição que favorece a aprendizagem significativa, segundo Ausubel.

Para finalizar pode-se dizer que os resultados são encorajadores e reforçam a hipótese de que a utilização de UEPS no estudo da FMC em nível médio facilita o ensino do professor, bem como contribui para que o aluno sinta-se parte integrante do processo de aquisição do conhecimento, pois a diversidade de estratégias contribui para que a busca pelo conhecimento seja mais atrativa para o aluno.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, A. J. O planejamento de pesquisas qualitativas em educação. *Cadernos de Pesquisas*. Fundação Carlos Chagas. São Paulo: Cortez, n. 77, p. 53-61, 1991.

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. Atividades Experimentais no ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. v.25. n. 2. p. 176-194, 2003.

AUSUBEL, D.P. *The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 212p. 2000.

BARROS, P. M. *Construção de uma unidade de ensino potencialmente significativa sobre conceitos da eletrodinâmica*. Dissertação de mestrado. UNB, 2016.

BATISTA, C. A. S. Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: subsídios teórico-metodológicos para a sobrevivência de tópico radioatividade em ambientes reais de sala de aula. Dissertação de Mestrado. UESC, 2015.

BRASIL. *Lei de Diretrizes e Bases da Educação*. Brasília: Ministério da educação e Desporto, 1996. Disponível em < <http://portal.mec.gov.br/arquivos/>

BRASIL. Ministério da Educação. *PCN+ Ensino Médio: Orientações Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias*. Brasília, 2002.

BRASIL. Ministério da Saúde. ANVISA. Resolução RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001 . Disponível em:<http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/394219/Resolucao_RDC_n_21_de_26_de_janeiro_de_2001.pdf/28d81caa-e8ba-44a8-bcdc-83f950a29f35>.

BRASIL. *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias*. Brasília: Ministério da Educação e Desporto, 2000.

CALHEIRO, L. B. *Inserção de tópicos de física de partículas de forma integrada aos conteúdos tradicionalmente abordados no Ensino Médio*. Dissertação de mestrado. UFSM, 2016.

CANATO JUNIOR, *Texto e Contexto para o ensino da FMC na escola média* (Dissertação de Mestrado), Universidade São Paulo, 2003.

CAPES. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. *Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência – PIBID*. Disponível em: <<http://capes.gov.br/educacao-basica/capespibid>>. Acesso em: 04 dez. 2014.

CARDOSO, E.; ALVES, I. P.; BRAZ, C.; PESTANA, S. *Aplicações da Energia Nuclear*. Disponível em < <http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/aplica.pdf>>. Acesso em 15 ago. 2016.

COELHO, J.L.A. *Utilização de vídeos e softwares para o ensino de movimento harmônico simples, interferência em ondas e efeito Doppler*. Dissertação de mestrado. UNB, 2015

COELHO, T. S. O. *Proposta de unidade didática para a aprendizagem significativa de conceitos de física moderna e contemporânea*. Dissertação de mestrado. UFG, 2016.

D'AGOSTIN, A. *Física Moderna e Contemporânea: com a palavra professores do Ensino Médio*. Universidade estadual do Paraná. Dissertação de mestrado. Curitiba, 2008.

DOMINGUINI, L. *O conteúdo de Física Moderna nos livros didáticos do PNLDEM*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma, 2010.

FACCIN, F. *Implementação de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas sobre Física Térmica para alunos do 2º ano do Ensino Médio*. Dissertação de mestrado, UFSM, 2015.

FERRACIOLI, L. O 'V' Epistemológico como Instrumento Metodológico para o Processo de Investigação Laércio Ferracioli. *Revista Didática Sistêmica*. Volume: 1 Trimestre : Outubro-dezembro de 2005.

FOLQUENIM, S. *Um estudo sobre a utilização do trilho multifuncional no ensino de Física a partir de unidades de ensino potencialmente significativas*. Dissertação de mestrado. UTFPR, 2016.

GARCIA, L. V. *A Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: caminhos para a sala de aula*. Dissertação de Mestrado. USP, 2009.

GAUTHIER, C. et al. *Por uma teoria da Pedagogia: pesquisas contemporâneas sobre o saber docente*. Ijuí: Unijuí, 1998.

GCIIA. GRUPO CONSULTIVO INTERNACIONAL SOBRE IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS – GCIIA. A irradiação de alimentos: ficção e realidade. Ficha Descritiva 1-14. 1991.

GONÇALVES, O. D.; ALMEIDA, I. P. S. A energia nuclear. *Revista Ciência Hoje*. v. 37. n. 220, 2005.

GOOGLE. *Visão geral do Google Sites*. Disponível em: https://support.google.com/a/answer/90915?hl=ptBR&ref_topic=25684 Acesso em: 30 out. 2015.

GOWIN, D.B. (1981). *Educating*. Ithaca, NY: Cornell University Press.

GRIEBELER, A. *Inserção de tópicos da Física Quântica no Ensino Médio através de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas*. Dissertação de Mestrado. UFRGS, 2012.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. WALKER, J. *Fundamentos da Física*, volume 4. 8ed. Traduzido por Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. WALKER, J. *Fundamentos da Física*, volume 1. 9ed. Traduzido por Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

HAWKING, S. W; MLODINOW, L. *Uma nova história do tempo*. Traduzido por Vera de Paula Assis. Pocket Ouro: Rio de Janeiro, 2008.

HAWKING, Stephen. *Uma breve história do tempo: do Big bang aos buracos negros*, 2004.

HENRIQUE, Alexandre B. *Discutindo a natureza da ciência a partir de episódios da História da Cosmologia*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências, Faculdade de Educação – Programa Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade São Paulo, 2011.

IACHEL, G.; LANGHI, R.; SCALVI, R. M. F. Concepções alternativas de alunos do ensino Médio sobre o fenômeno de formação das fases da lua. *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia*. n. 5, p. 25-37, 2008.

JARDIM, W; GUERRA, A. Discutindo o Universo em Expansão; Utilização de Controvérsias e Programas de Análise de Áudio no Ensino de Cosmologia. III Conferencia Latinoamericana del International, History and Philosophy of Science Teaching Group Ihpst-LA. *Anais*. SANTIAGO DE CHILE, 2014.

JAY, J. M. *Microbiologia de alimentos*. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. 711 p.

LONGHINI, M. D. O Universo representado em uma caixa: introdução ao estudo da Astronomia na formação inicial de professores de Física. *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia*, v. 7, p. 31-42, 2009.

LOPES, A. *Sequência de aulas para o ensino de Fenômenos Ondulatórios no Ensino Médio com a perspectiva de Unidades de Ensino Potencialmente Significativo*. Dissertação de mestrado. UFABC, 2016

LOPES, R. R. S. *Conceitos de Eletricidade e suas Aplicações Tecnológicas: uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa*. Dissertação de Mestrado. UFES, 2014.

LOPES, V. C. Q. Peça teatral: O sistema solar. Disponível em: <<http://www.oba.org.br/site/?p=conteudo&pag=conteudo&idconteúdo=47&idcat=12&subcat=>>> Acesso em: 12 ago. 2015.

LÓPEZ, A. R. et al. Uma aproximación a las representaciones del alumnado sobre el universo. *Enseñanza de las Ciencias*, v.1, n.3, p. 327-335, 1995.

MARQUES, D. M.; CALUZI, J. J.. Contribuições da História da Ciência: Alternativa de inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio Departamento de Física, Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, *Enseñanza de las Ciências*, n. extra. VII CONGRESO, 2005.

MERÇON, F; QUADRAT S. V. A radioatividade e a história do tempo presente. *Química Nova na Escola*, n.19, pp.27-30, 2004.

MEIRIEU, P. *Aprender... Sim, mas como?* Porto Alegre: ARTMED, 1998.

MOREIRA, M. A. *O Vê epistemológico de Gowin como recurso instrucional e curricular em ciências*. Porto Alegre, RS, Instituto de Física da UFRGS, Monografias do Grupo de Ensino, Série Enfoques Didáticos, n. 3. 1993c

MOREIRA, M. A. *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: EPU, 1999.

MOREIRA, M. A. *Mapas conceituais e diagramas V*. Porto Alegre: Editora do autor. 2006.

MOREIRA, M. A. *Pesquisa em Ensino: Métodos Qualitativos e Quantitativos*. Porto Alegre. 2009.

MOREIRA, M. A. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas. *Aprendizagem Significativa em Revista*. Vol.1, n.2, pp. 43-63, 2011.

MOREIRA, M. A. Diagramas V e Aprendizagem Significativa. *Revista Chilena de Educación Científica*. V.6. n.2. pp. 3-12, 2012.

MOREIRA, M. A. Organizadores prévios e Aprendizagem Significativa. *Revista Chilena de Educación Científica*. V.7. n.2. pp. 23-30, 2012.

MOREIRA, M. A., CABALLERO, M. C. e RODRÍGUEZ, M. L. (org.). *Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo*, pp. 19-44. Burgos, España, 1997.

MOREIRA, R. H. *Proposta de uma sequência didática com o uso de recursos diversificados para o ensino e aprendizagem de tópicos específicos de astronomia*. UFSCAR, 2015

NOGUEIRA, Salvador. *Astronomia: ensino fundamental e médio*. Coleção Explorando o ensino, v. 11. Brasília: MEC, SEB; MCT; AEB, 2009, pp. 48-52.

NOTO, V. A.; OTTO, R. *ABC da Física Nuclear*. Lawrence Berkeley Laboratory. Califórnia, 2000.

NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Básica*, volume 1. 4ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

OFUGI, C. D. R.; PIETROCOLA, M. Análise de artigos sobre o ensino da relatividade restrita pela transposição didática. *Anais*. In: VII Encontro de pesquisa em Ensino de Física. Florianópolis, 2000.

OLIVEIRA, E. F. VOELZKE, M. R. Amaral, L. H. Percepção astronômica de um grupo de alunos do ensino médio da rede estadual de São Paulo da cidade de Suzano. *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia*. n. 4, p. 79-99, 2007.

OLIVEIRA, I. L. *A constante de Hubble: uma proposta didática para discutir a cosmologia em sala de aula no Ensino Médio*. UFABC, 2016.

OLIVEIRA FILHO, K. S.; SARAIVA, M. F. O. *Astronomia e Astrofísica*. 2ed. Livraria da Física: São Paulo, 2004.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. Física Moderna e Contemporânea no ensino médio: elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais. *Caderno Catarinense no Ensino de Física*, v. 16, n. 3: p. 267-286, dez. 1999.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M.A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. *Revista Investigação em Ensino de Ciências do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, v. 5, n.1, p. 23-28, jan. 2000.

PANTOJA, G. C. F. *Unidades de ensino potencialmente significativas em teoria eletromagnética*: influências na aprendizagem de alunos de graduação e uma proposta inicial de um campo conceitual para o conceito de campo eletromagnético. Tese de Doutorado. UFRGS, 2015.

PARISOTO, M. F. *Ensino de termodinâmica a partir de situações da engenharia*: integrando as metodologias de projetos e as unidades de ensino potencialmente significativas. Tese de Doutorado. UFRGS, 2015.

PELLENZ, D. *Astronomia no ensino de ciências*: uma proposta potencialmente significativa. Dissertação de mestrado. UCS, 2015.

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino de FMC: uma revisão bibliográfica da produção acadêmica. *Investigações em Ensino de Ciências*. Porto Alegre, v.14, n. 3, pp. 393-420, dez. 2009.

PEREIRA, V. O. *Elaboração e Avaliação de um Material Instrucional Baseado na Teoria da Aprendizagem Significativa Pra o Ensino das Leis de Newton e de Tópicos de Cinemática no Ensino Médio*. Dissertação de Mestrado. UFES, 2016.

PERRENOUD, P. *Práticas pedagógicas, profissão docente e formação: perspectivas sociológicas*. Lisboa: Dom Quixote, 1993.

PIETROCOLA, M. et al. *Física: conceitos e contextos*. v.1 e 3. São Paulo: FTD, 2013.

PINHEIRO, E. D. S. *A física no esporte - o desenvolvimento e análise de uma unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS)*. Dissertação de mestrado. UFSCAR, 2015.

PRADELLA, M. *Estudo de conceitos da termodinâmica no ensino médio por meio de UEPS*. Dissertação de Mestrado. UFRGS, 2014.

RIO DE JANEIRO. *Currículo Mínimo do estado do Rio de Janeiro*. Disciplina de Física. Disponível em: <<http://www.rj.gov.br/web/seeduc/exibeconteudo?article-id=759820>> acesso em 13 out. 2015.

ROCHA, M.O. *O Conceito de Campo no Eletromagnetismo*: uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa. Dissertação de Mestrado. UFES, 2015.

RODRÍGUEZ, B. L.; SAHELICES, M. C. C. Representaciones mentales de profesores de ciencias sobre el Universo y los elementos que incorporan en su estructura en general y los modelos cosmológicos que lo explican. In: *Actas do II Encontro Iberoamericano sobre*

Investigación Básica en Educación en Ciencias. Burgos, 21-24 de septiembre de 2004, p. 654-671.

SÁ, L. P.; QUEIROZ, S. L. *Estudo de Casos no Ensino de Química*. 2. ed. Campinas: Átomo, 2010.

SABINO, A. R. *Saberes docentes desenvolvidos na inserção de Física Moderna no ensino médio: um estudo de caso*. Dissertação de Mestrado. USP, 2015.

SANTOS, D. J. A. et al. A Radioatividade: Uma perspectiva de contextualização na aula de Química. *XV Encontro Nacional de Ensino de Química (XV ENEQ)* – Brasília, DF, Brasil, 2010.

SANTOS, G. A. S. *Desenvolvimento de uma Unidade de Ensino Potencialmente significativa para o Ensino do Conceito de Ondas*. Dissertação de Mestrado. UFES, 2015.

SAVISKI, S.O.F. *Uma abordagem didática com enfoque na história da física do plasma por meio da aprendizagem significativa*. Dissertação de Mestrado. UEL, 2014.

SCHITTLER, D.; MOREIRA, M. A. Laser de Rubi: uma abordagem em Unidades de ensino Potencialmente Significativas (UEPS). *Latin American Journal of Physics Education*, v. 8, pp. 263-273, 2014.

SCHITTLER, D. *Laser de Rubi: uma abordagem em Unidades de ensino Potencialmente Significativas (UEPS)*. Tese de Doutorado. UFRGS, 2015.

SHULMAN, L. S. *Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform*. Harvard Educational Review, v. 57, n.1, p. 1-21, 1987.

SILVA, C. V. *Uma investigação sobre a elaboração e utilização de um material instrucional baseado na teoria da aprendizagem significativa para o estudo de um tópico de mecânica no contexto rural*. Dissertação de mestrado. UFES, 2014.

SILVA, K. D. et al. Conhecimento e atitudes sobre alimentos irradiados de nutricionistas que atuam na docência. *Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos*. v.30, n. 3. pp.645-651, Campinas, 2010.

SILVA, L. F.; ASSIS, A. *Física Moderna no Ensino Médio: Um experimento para abordar o efeito fotoelétrico*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 29, n. 2: p. 313-324, ago. 2012.

SILVA, R. P. *Conservação de energia mecânica: uma sequência didática inspirada na ideia de UEPS*. Dissertação de Mestrado. UFSCAR, 2016.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA. Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

TARDIF, M. *Saberes docentes e a formação profissional*. Petrópolis, RJ: Vozes, 2002.

TARDIF, M.; LESSARD, C. *O trabalho docente: elementos para uma teoria da docência como profissão de interações humanas*. Petrópolis: Vozes, 2008.

TERRAZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 209-214, dez. 1992.

TONELLI, L. G. G. *Uma proposta para a introdução dos plasmas no estudo dos estados físicos da matéria no ensino médio*. Dissertação de Mestrado. UFRGS, 2014.

TORRES, C. M.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T. *Física – ciência e tecnologia*, v. 3. São Paulo: Moderna, 2014.

VALADARES, E. C.; MOREIRA, M. A. Ensinando Física Moderna no ensino Médio: efeito fotoelétrico e emissão de corpo negro. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. v. 21, edição especial, pp. 359-372, 2004.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Questionário *on line* aplicado aos alunos.

← → Seguro | https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSe30wso5TivlcrPBe7DTdJAc4XoRIYNGogjOWU2LbUz_J9FFg/viewform ☆ ✎ 📄



QUESTIONÁRIO SOBRE FÍSICA

*Obrigatório

Quais dos tópicos abaixo já foram abordados nas aulas de Física da sua escola? *

- Efeito fotoelétrico
- Átomo de Bohr
- Radioatividade
- Forças fundamentais
- Dualidade onda-partícula
- Fissão e Fusão Nuclear
- Relatividade Restrita
- Big Bang
- Nenhuma das alternativas anteriores

Você gostaria de ter um conhecimento mais aprofundado sobre algum(ns) dos tópicos citados na primeira pergunta? Qual(is)? *

Você deve responder sim ou não. Em caso afirmativo, escreva o(s) tópico(s) escolhido(s)

Quais são os dois cientistas mais citados pelos professores, nas aulas de Física? *

- Planck
- Galileu
- Einstein
- Bohr
- Aristóteles
- Stephen Hawking
- Copérnico
- Kepler
- Outro:

Como tem sido a utilização dos recursos didáticos pelo professor de Física? *

	Sempre	Às vezes	Nunca
Videos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Simulações/animações	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pesquisas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Experimentos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Jogos didáticos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Teatro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

APÊNDICE B – Entrevista com os professores de Física.**MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA****Mestranda:** Adriana Barreto de Oliveira Siqueira**Professora Orientadora:** Dra. Renata Lacerda Caldas

Caro Professor,

O objetivo desta pesquisa é apresentar uma proposta de ensino sobre Cosmologia e Radioatividade, utilizando Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), a fim de incentivar docentes de Física a incluírem estes tópicos em suas aulas. Para isso, este questionário tem a finalidade de investigar como tem ocorrido o ensino da Física Moderna e Contemporânea (FMC), mais especificamente, os tópicos citados.

Tendo em vista que tais tópicos já foram incluídos no currículo mínimo do estado do Rio de Janeiro, esta investigação visa traçar um perfil das condições materiais e pedagógicas inerentes às solicitações do estado e como elas têm ou não sido atendidas, além de considerar as dificuldades encontradas em situações de abordagem destes temas.

Desde já agradecemos a sua colaboração.

ROTEIRO DA ENTREVISTA

Parte I – SOBRE SUA CARREIRA PROFISSIONAL

1. Há quanto tempo exerce a função de professor?
2. Antes de atuar como professor, já havia exercido outras profissões? Quais?
3. Exerce outra atividade em paralelo à profissão docente? Qual?
4. Qual é a sua carga horária como docente, incluindo a rede privada, se for o caso?
5. Qual foi o curso de Licenciatura que você fez? Fez algum outro curso superior?
6. Qual a sua impressão a respeito das disciplinas de Física que fez na universidade?
7. Qual era a ênfase das disciplinas de Física: mais para a Clássica ou para a Física Moderna e Contemporânea (FMC)?
8. Você consegue identificar algum tópico marcante sobre o ensino da FMC na graduação? Qual?

Parte II – SOBRE A FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA (FMC)

1. Nas suas aulas de Física para o ensino médio, você ensina tópicos de FMC?

Se sim:

Que estratégias utiliza? História da Ciência? Experimentos? Vídeos? Simulações? Outras?

Você já discutiu temas relacionados à Radioatividade e Cosmologia? Caso tenha discutido, descreva como foi a experiência.

Como você costuma avaliar conteúdos como o citado acima?

Como os alunos se portam quando o assunto está relacionado à FMC?

Outras observações:

Se não:

Por que não ensina?

Outras observações:

2. Qual a sua opinião sobre o ensino da FMC na rede pública de ensino?

Pontos positivos:

Pontos negativos:

3. Qual é a sua opinião sobre as exigências de que sejam ensinados tópicos da FMC no ensino médio?

Pontos positivos:

Pontos negativos:

Outros comentários:

APÊNDICE C – UEPS Cosmologia.

UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA ENSINAR TÓPICOS DE COSMOLOGIA

Objetivos: Comparar as ideias do Universo geostático de Aristóteles-Ptolomeu e heliostático de Copérnico-Galileu-Kepler. Conhecer as relações entre os movimentos da Terra, da Lua e do Sol para a descrição de fenômenos astronômicos (duração do dia/noite, estações do ano, fases da lua, eclipses, marés, etc.). Reconhecer ordens de grandeza de medidas astronômicas. Compreender a relatividade do movimento. Compreender os conceitos de velocidade e aceleração associados ao movimento dos planetas. Apresentar os modelos cosmológicos modernos, em especial, a teoria do big bang como um modelo sofisticado para a evolução do Universo.

Sequência:

(Cada aula tem a duração de 50 minutos)

1. Atividades iniciais (3 aulas)

1.1. Os alunos receberão um texto com o Estudo de Caso: Origem do Universo do qual farão a leitura e apresentarão soluções para os problemas propostos. Ao término, devolverão as respostas ao professor. Em seguida, serão incentivados a representar o Universo que conhecem; bem como, a localização do planeta Terra. Essa atividade é uma adaptação de (LONGHINI, 2009) na qual os alunos divididos em cinco grupos receberão uma espécie de caixa vazada, com furos nas laterais das arestas, fio de nylon, tesoura e algumas folhas de papel em branco. Com esses materiais, eles representarão um modelo tridimensional do universo envolvendo a distribuição espacial dos astros. Ficarão livres para utilizar as folhas de papel para confeccionar os astros, os quais deverão ser inseridos nos seus “universos-caixa”. Para tal, eles poderão escolher livremente a forma de utilizar o papel, como, por exemplo, recortar, dobrar, amassar etc. Em seguida, os astros serão distribuídos pelo “universo”, empregando o fio de nylon para fixá-los nas posições que desejarem. Os fios serão presos na caixa a partir dos orifícios presentes nela, e os alunos deverão explicar onde está localizada a Terra nos modelos por eles confeccionados. Nessa atividade, entrarão em cena os conhecimentos prévios dos alunos sobre a representação da Terra e do Sol em relação ao restante do Universo. Ao final da atividade cada grupo deverá apresentar brevemente o modelo de universo construído. Estas atividades serão realizadas em 2 aulas.

1.2. Os alunos receberão um *kit* contendo Terra, Sol, Lua e lanterna, confeccionados com materiais de baixo custo para simular os movimentos da Terra, Sol e Lua e os fenômenos astronômicos como dia/noite, estações do ano, fases da Lua, eclipses. Cada grupo vai gravar um vídeo mostrando e explicando os movimentos dos astros e seus respectivos fenômenos astronômicos. A partir das respostas dos alunos nas atividades propostas, o professor vai elaborar situações-problema. Essa atividade será realizada em uma hora aula.

2. Situações-problema (1 aula)

Serão entregues aos alunos, por escrito, as questões para a discussão em sala.

- a) *Se o Sol está parado, como o vemos realizar um movimento no céu?*
- b) *Se existem outras galáxias, todas elas têm como centro o Sol?*
- c) *Se o Universo tiver um fim, o que existe além desse limite?*
- d) *As galáxias estão realmente se afastando umas das outras, ou é o espaço que está sendo esticado pela expansão cósmica?*

3. Introdução aos conceitos fundamentais (8 aulas)

3.1. Aula expositiva abordando desde os mitos de criação, passando pelos modelos geocêntrico e heliocêntrico até o Big Bang. Também serão apresentados os vídeos *Astronomia* <Disponível em: <https://www.youtube.com/Watch?v=0JfksHOJX5U>>. Acesso em 10 out. 2016. e *Heliocentrismo* <Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ZzSEIdjwOE4>>. Acesso em 14 nov. 2016.

Em seguida, o texto da peça teatral: *O SISTEMA SOLAR* de Vanessa Crituchi Quartin Lopes, será distribuído para que os alunos leiam e fora da classe, em grupos, elaborem um texto teatral sobre um dos tópicos da Cosmologia para ser apresentado futuramente para os colegas.

3.2. Aula expositiva sobre os fenômenos astronômicos como rotação e translação da Terra, dia e noite, estações do ano, fases da Lua, eclipses e marés. Será utilizado o vídeo sobre fases da Lua <Disponível <https://www.youtube.com/watch?v=N2wTtaJEtNY>>. Acesso em: 14 nov. 2016. Nessa aula serão retomados os materiais que os alunos utilizaram para simular os movimentos da Terra, Sol e Lua para que seja verificada a evolução da aprendizagem dos alunos sobre tais movimentos.

3.3. Serão apresentados aos alunos também os conceitos de velocidade, período e aceleração centrípeta, a partir dos movimentos dos planetas e satélites. Para isso, será apresentada de forma conceitual a lei da gravitação universal. Serão estudados também o tema Ordem de

grandeza das medidas astronômicas e os instrumentos que são utilizados para realizar tais medidas. Os alunos resolverão alguns exercícios sobre os conceitos estudados.

4. Aprofundando conhecimentos (4 aulas): Teoria do Big Bang

Nessa aula, serão apresentados os modelos cosmológicos modernos numa apresentação de slides e será retomada a teoria do Big Bang como um modelo sofisticado para explicar a evolução do Universo e o tema espaço-tempo, abordando a teoria da Relatividade. Será realizada a leitura e discussão do texto “Uma breve história do Universo”. NOGUEIRA, Salvador. *Astronomia: ensino fundamental e médio*. Coleção Explorando o ensino, v. 11. Brasília : MEC, SEB ; MCT ; AEB, 2009, p. 48-52.

Em seguida, os alunos receberão parte do texto de Moreira (2012, p. 14) com orientações de como construir um Mapa Conceitual.

Como tarefa de casa eles deverão construir um Mapa Conceitual com os conceitos abordados no texto.

5. Avaliação somativa (2 aulas)

Antes da avaliação será retomado o estudo de caso: Origem do Universo e os alunos responderão novamente as questões propostas no mesmo, bem como as situações-problema do tópico 2. Pedir aos alunos que respondam novamente as questões com base nos novos conceitos aprendidos.

Em seguida serão propostas questões abertas, nas quais os alunos possam expressar sua compreensão dos conceitos da unidade.

6. Aula final e avaliação da aprendizagem (2 aulas)

Os alunos apresentarão nessa aula, a peça teatral que eles escreveram e prepararam durante o período desta UEPS.

Comentários finais integradores sobre o assunto abordado. Os alunos farão em uma avaliação oral sobre as estratégias de ensino utilizadas e sobre seu aprendizado.

7. Avaliação da UEPS: Análise qualitativa feita pelo professor, em função dos resultados de aprendizagem obtidos e das observações dos alunos. Reformular algumas atividades, se necessário.

Total de horas-aula: 20

APÊNDICE D – UEPS Radioatividade.**UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA ENSINAR RADIOATIVIDADE**

Objetivos: Conhecer a natureza das interações e a dimensão da energia envolvida nas transformações nucleares para explicar seu uso em, por exemplo, usinas nucleares, indústria, agricultura ou medicina; Compreender que a energia nuclear pode ser obtida por processos de fissão e fusão nuclear; Compreender as transformações nucleares que dão origem à radioatividade para reconhecer sua presença na natureza e em sistemas tecnológicos; Identificar que a energia solar é de origem nuclear; Analisar, argumentar e posicionar-se criticamente em relação a temas de ciência, tecnologia e sociedade.

(Cada aula tem a duração de 50 minutos)

Sequência:*1. Atividades iniciais (2 aulas)*

Inicialmente os alunos, em grupos, serão incentivados a elaborar um mapa livre sobre os tópicos que serão trabalhados. No mapa livre os alunos terão a liberdade para fazer associações entre seus conhecimentos e suas representações a partir de palavras chaves distribuídas pelo professor. Cada grupo receberá fichas com as seguintes palavras: Radioatividade – núcleos atômicos – aplicações – usinas nucleares – indústrias – agricultura – medicina – fissão nuclear – fusão nuclear – energia elétrica – decaimento radioativo – conservação de alimentos – arqueologia – usinas nucleares – bombas atômicas.

Após entregar os mapas construídos ao professor, os alunos receberão um texto com uma história, tratada neste contexto como um caso, do qual farão a leitura e apresentarão soluções para os problemas propostos. O objetivo é sondar os conhecimentos prévios dos alunos sobre tais questões. Ao término, eles devolverão as respostas ao professor.

2. Situações-problema iniciais (2 aulas)

Baseadas em dificuldades já apontadas em pesquisas (SANTOS, et al, 2010), relativas aos conhecimentos prévios expostos pelos alunos. Tais questões poderão ser modificadas se constatados outros erros conceituais.

- a) *Vários elementos são considerados radioativos, entre eles: césio, urânio e outros. Em sua opinião, o que faz um elemento químico ser radioativo?*
- b) *Você acha que a radioatividade é prejudicial ao ser humano? Se acha que sim, como você explica o uso dela no tratamento de doenças?*
- c) *Você já ouviu falar sobre o uso de radiações para conservação de alimentos? Se os alimentos que são irradiados ficam contaminados, por que será que esse procedimento não foi abolido pelos órgãos competentes?*
- d) *Você considera que a construção de uma usina nuclear pode trazer benefícios para a sociedade? E problemas? Se uma usina nuclear pode trazer problemas para o local onde ela está instalada, por que ela é considerada uma forma de energia com pouco impacto ambiental?*

Estas questões deverão ser discutidas em grande grupo, sob a mediação do professor, com a intenção de ouvir a opinião do grupo, estimular a curiosidade sobre o assunto, sem a necessidade de chegar a uma resposta final. Pois espera-se que as respostas sejam construídas progressivamente em aulas posteriores, no aprofundamento dos conhecimentos.

Na sequência, apresentar o vídeo Radioatividade - um organizador prévio <Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=ZMEMNuTUUa0>>. Acesso em 14 nov. 2016.

Em seguida, os alunos receberão um questionário com algumas perguntas sobre o vídeo, que serão discutidas entre os alunos e professor. O questionário respondido será entregue para avaliação.

3. Revisão (2 aulas)

Iniciar a aula com uma revisão sobre o que foi visto até o momento sobre a radioatividade, abrindo espaço para perguntas dos alunos.

Em seguida, distribuir cópias individuais do texto *A radioatividade e a história do tempo presente* (Fábio Merçon e Samantha Viz Quadrat, 2004, *Química Nova na Escola*, n.19, pp.27-30;), e dar tempo aos alunos para que o leiam e, logo após, se reúnam em pequenos grupos (dois ou três participantes) para a discussão e elaboração de um esquema com a linha do tempo destacando os pontos mais importantes da história da radioatividade. Feito isso, o grupo deverá entregá-lo ao professor.

4. Introdução aos conceitos fundamentais (4 aulas)

Aula expositiva destacando pontos importantes para discussão: descoberta da radioatividade por Henri Becquerel; substâncias fosforescentes ao ser expostas ao Sol; fenômeno da luminescência; descobertas de Madame Curie. Serão introduzidos também os conceitos de força nuclear, número atômico, massa, meia-vida e vida média, fusão e fissão nuclear.

Iniciar a aula com a exibição do vídeo *Descoberta da radioatividade* <Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=XJyxvUz-qkk>>. Acesso em 14 nov. 2016. Em seguida, apresentar os conteúdos em forma de slides, sendo estimuladas discussões em grupo.

Apresentar os experimentos em vídeo: *Radioatividade: partículas alfa e beta* <Disponível em <http://www.youtube.com/watch?v=NOW0yGgvMml>> e o *Experimento de Becquerel* <Disponível em https://www.youtube.com/watch?v=qQlvBKJ__TQ>.

A seguir, os alunos em pequenos grupos vão construir um modelo de núcleo atômico com materiais de baixo custo.

5. Aprofundando conhecimentos (6 aulas)

5.1 Retomar os conteúdos de fusão e fissão nuclear, meia vida, decaimento radioativo e transformações nucleares que dão origem à radioatividade de forma mais específica. Neste momento, o professor mostrará simulações computacionais sobre decaimento radioativo e fissão nuclear. Essas simulações estão disponíveis em: <<https://phet.colorado.edu>>. Para concluir, os alunos resolverão alguns exercícios relacionados aos temas estudados.

5.2 Neste momento serão apresentadas as diversas aplicações da radioatividade por meio do vídeo disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=UEAVXW-ZH-M>>. Acesso em e suas implicações para a sociedade. Em seguida, a turma será dividida em quatro grupos. Cada grupo receberá trechos dos textos de Gonçalves; Almeida (2005) e Cardoso (2016), referente a uma das aplicações da energia nuclear (1 - Na pesquisa; 2 – Na saúde; 3 – Na indústria; 4 – Geração e segurança), após leitura e discussão nos grupos, farão a exposição de uma síntese a toda à turma como forma de socialização dos temas. Após esse momento, eles receberão parte do texto de Moreira (2012, p. 14) com orientações de como construir um Mapa Conceitual.

5.3 Em seguida, será apresentado aos alunos um vídeo sobre o funcionamento de um reator nuclear nas usinas e os acidentes nucleares disponível em <https://www.youtube.com/watch?annotation_id=annotation_705230221>. Acesso em

Na sequência os alunos, em pequenos grupos, vão construir um mapa conceitual sobre Radioatividade. Os mapas serão apresentados ao grande grupo e todos deverão ser entregues ao professor para avaliação qualitativa.

6. Avaliação individual (2 aulas)

Serão propostas questões abertas, nas quais os alunos possam expressar sua compreensão dos conceitos da unidade e algumas questões sobre decaimento radioativo, fissão nuclear, etc.

7. Aula final e avaliação da aprendizagem (2 aulas)

Será retomado o caso: Radioatividade e os alunos responderão novamente as questões propostas no mesmo, bem como as situações-problema do tópico 2. Pedir aos alunos que respondam novamente as questões com base nos novos conceitos aprendidos e farão comentários finais integradores sobre o assunto abordado.

Os alunos farão uma avaliação sobre as estratégias de ensino utilizadas e sobre seu aprendizado. As manifestações dos alunos serão respondidas em forma de questionário.

8. Avaliação da UEPS: Análise qualitativa feita pelo professor, em função dos resultados de aprendizagem obtidos e das observações dos alunos. Reformular algumas atividades, se necessário.

Total de horas-aula: 18

APÊNDICE E – Questionário avaliativo das UEPS pelos professores.

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Mestranda: Adriana Barreto de Oliveira Siqueira

Professora Orientadora: Dra. Renata Lacerda Caldas

Caro Professor

Nesta etapa de nossa pesquisa, elaboramos duas Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) para o ensino de Cosmologia e de Radioatividade. Nossa intenção é incentivar os professores a utilizá-las em suas aulas, mas para isso precisamos ouvir suas considerações sobre o material produzido.

Para isso, contamos com a sua gentil colaboração para analisar o material elaborado fazendo suas observações e críticas com o propósito de verificarmos a aceitação do mesmo pelos docentes.

Novamente agradecemos a sua contribuição.

1. Na elaboração das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) utiliza-se princípios bem marcantes da Teoria da Aprendizagem significativa. Marque a opção que melhor se aproxima dos princípios que você considera em suas aulas.

Princípios	Nunca	Rara- mente	Às vezes	Frequen- temente	Sempre
Conhecimentos prévios do aluno					
Organizadores prévios					
Diferenciação progressiva					
Reconciliação integradora					

2. A relação professor-aluno-material educativo é de suma importância para a captação de significados do conteúdo pelo aluno. Para isso, o material educativo deve ser potencialmente significativo. O que significa pra você um material potencialmente significativo?

3. Com relação à realidade da escola pública estadual, você considera possível a aplicação das UEPS nas turmas de Ensino Médio nas quais você atua? Justifique.
4. Em se tratando dos tópicos (Cosmologia e Radioatividade), como você avalia a forma de abordagem destes conteúdos no material analisado?
5. Que observações você faria sobre as estratégias de ensino (vídeos, textos, experimentos, simulações computacionais, mapa conceitual, etc) utilizadas no material?
6. Na sua opinião, as atividades desenvolvidas nas UEPS podem incentivar os alunos a se interessarem pelos conteúdos de Física? Justifique.
7. Como professor, que contribuição e/ou crítica você faria para este material?
8. Faça um comentário final sobre o material em questão.

APÊNDICE F– Estudo de caso: Origem do universo.**Estudo de caso: Origem do Universo**

Renato é um estudante do primeiro ano do ensino médio de uma escola estadual, assim como alguns colegas, ele acredita que a disciplina de Física é muito difícil, e provavelmente, vai ficar com nota baixa. A razão desse pensamento negativo, afirma Renato, é porque a Física tem muitos cálculos e fórmulas que ele não consegue decorar.

No entanto, a professora de Física garantiu que neste bimestre vai apresentar uma proposta diferente para a turma, cujo tema será Cosmologia e Movimento.

– *Mas, o que é cosmologia? É o mesmo que astronomia?* Começaram assim, os questionamentos de Renato.

– *Cosmologia é a Ciência que estuda a estrutura, evolução e composição do universo,* disse a professora, *enquanto Astronomia é o estudo dos astros.*

– *Engraçado! Eu pensava que astronomia se referia aos signos do horóscopo* – completou Renato.

– *Não Renato, isso é outra coisa: é astrologia!* – respondeu a professora

– *Você tem razão, professora! Este assunto é muito interessante... sempre tive curiosidade em saber mais sobre isso...* Refletiu Renato.

– *Então vamos começar? Vocês vão responder algumas perguntas sobre o Universo.* Concluiu a Professora.

Se você tivesse presente na aula, que opinião teria sobre as questões abaixo?

1) Para você, como foi o início do Universo?

2) E como será o fim?

3) Como será que o Universo está hoje em comparação com o início?

APÊNDICE G – Lista de exercícios.



C. E. José do Patrocínio

Data: ___/___/___

Aluno(a): _____ Turma: _____

LISTA DE EXERCÍCIOS DE FÍSICA

1. Marte tem dois satélites: Fobos, que se move em órbita circular de raio 10000 km e período $3 \cdot 10^4$ s, e Deimos, que tem órbita circular de raio 24000 km. Determine o período de Deimos.

2. A Terra descreve uma elipse em torno do Sol cuja área é $A = 6,98 \cdot 10^{22} \text{ m}^2$. Qual é a área varrida pelo raio que liga a Terra ao Sol entre 0,0 h do dia 1º de abril até 24 h do dia 30 de abril do mesmo ano.

3. Na figura que representa esquematicamente o movimento de um planeta em torno do sol, a velocidade do planeta é maior em:

<p>a. A</p> <p>b. B</p> <p>c. C</p> <p>d. D</p> <p>e. E</p>	
---	--

4. Qual a intensidade do campo gravitacional da Terra sobre a Lua?

Dados:

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$$

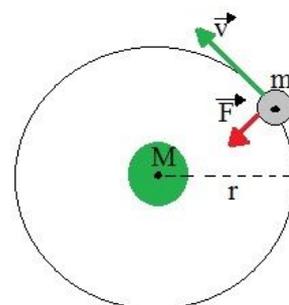
$$M_{\text{Terra}} = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

$$M_{\text{Lua}} = 7,36 \cdot 10^{22} \text{ kg}$$

$$R_{\text{Terra-Lua}} = 3,82 \cdot 10^8 \text{ m}$$

5. Um satélite é lançado horizontalmente em órbita circular à uma altura de 150 km da superfície da Terra. Adote o raio da Terra $R = 6400 \text{ km}$, massa da Terra $M = 6,0 \cdot 10^{24} \text{ kg}$, a constante de gravitação $G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ e $\pi = 3$.

a) Qual é a velocidade orbital do planeta?



b) Qual é o período orbital?

APÊNDICE H– Avaliação de Cosmologia.



C. E. José do Patrocínio

Data: ____/____/____

Aluno(a): _____ Turma: _____

AVALIAÇÃO DE FÍSICA

1. Uma jovem moradora do campo certa vez decidiu observar o céu. Todos os dias ela observava o Sol se pôr no horizonte. Primeiramente, ela percebeu que o Sol não estava se pondo exatamente no Oeste, mas um pouco mais ao lado. Após um ano, ela descobriu que o Sol fez um movimento de vai e vem no horizonte, pondo-se às vezes mais à direita e, em outras épocas do ano, mais à esquerda do Oeste. Esse movimento observado pela jovem dá origem à qual fenômeno astronômico?

2. Júpiter é o quinto planeta mais próximo do Sol, e a distância média entre eles é $7,78 \times 10^{11}$ m. Qual é a ordem de grandeza da distância entre esses dois astros?

3. Partindo das questões a seguir, escreva um texto descrevendo a teoria *Big Bang*. Utilize o verso da folha para escrevê-lo.

- a) O Universo teve um começo ou sempre existiu?
- b) Que cientistas participaram das descobertas referentes ao Big Bang?
- c) O Universo tem um centro?
- d) O Big Bang é uma explosão? Por que o modelo tem esse nome?
- e) O Big Bang está provado?

4. Avalie sua aprendizagem e as aulas de Física desde o estudo de caso *Origem do Universo*.

APÊNDICE I – Estudo de caso: Radioatividade.

Estudo de caso: Radioatividade

A turma de segundo ano do Ensino Médio está estudando neste bimestre um tema bem curioso, a radioatividade. Daniel, Henrique e Amanda ficaram muito interessados no assunto e começaram a conversar sobre uma reportagem que eles assistiram na televisão sobre um acidente que ocorreu no ano de 2011, no Japão em que um terremoto de 8,9 graus na escala Richter e o tsunami provocaram danos na usina nuclear de Fukushima. Na época vazamentos radioativos foram registrados e um iminente desastre nuclear mobilizou a comunidade internacional. Os níveis de radiação no entorno da usina superaram em oito vezes o limite de segurança, forçando a evacuação da população em um raio de 20 km ao redor da usina.

– *Será que isso pode acontecer aqui no Brasil?* – Perguntou Henrique.

– *Claro que sim! Aqui no Brasil também tem usina... lá em Angra.* – Respondeu Daniel.

– *Esse negócio de radiação é perigoso, né? Quero distância disso...* – Disse Henrique.

– *Será que é tão perigoso assim? Acho que não... o que aconteceu foi um acidente. Acredito que cada vez mais a segurança tem sido reforçada para que isso não aconteça.* – Concluiu Amanda.

– *Sei não, Amanda, ainda tem as bombas atômicas que são feitas disso...* Disse Henrique.

– *É mesmo, Henrique?* Indagou Daniel assustado.

– *Também não é assim, né? A forma pela qual a radioatividade é utilizada depende da decisão do homem. Na natureza, por exemplo, encontramos o Sol cuja energia é de origem nuclear...* – disse Amanda – *além disso, existem várias aplicações da radioatividade, como a conservação de alimentos por irradiação, a datação de fósseis... sem contar os benefícios na medicina para o tratamento de doenças.*

– *É mesmo Amanda? Mas o uso da radioatividade não pode contaminar os alimentos?* Perguntou Daniel – *e será que quando é usada no tratamento de doenças não piora ainda mais a situação dos pacientes?*

Agora é a sua vez!

1) Você também acha que a irradiação de alimentos pode contaminá-los? Justifique sua resposta.

2) E no tratamento das doenças? Será que o uso da radioatividade pode trazer algum dano para os pacientes? Por quê?

3) Qual a sua opinião sobre os benefícios ou malefícios da aplicação da radioatividade em vários segmentos da sociedade?

APÊNDICE J – Questionário sobre o vídeo “Radioatividade, um organizador prévio”.

Após assistir ao vídeo, responda às questões abaixo:

1) Que acidentes com radioatividade são mencionados no texto?

2) Quem foi o descobridor da radioatividade? Em que ano isso ocorreu?

3) Quais são as quatro forças presentes na natureza? Qual dessas forças é responsável pelo decaimento radioativo?

4) Quais os principais elementos químicos que são usados para a produção de energia nas usinas?

5) Qual foi a finalidade do projeto Manhattan?

6) Quais as aplicações da radioatividade são mencionadas no vídeo?

7) Quais as vantagens das usinas nucleares em relação às termelétricas?

8) Que desvantagens no uso da radioatividade são enumeradas no vídeo? Que malefícios ela pode provocar?

APÊNDICE K – Lista de exercícios.



C. E. José do Patrocínio

Data: ____/____/____

Aluno(a): _____ Turma: _____

Lista de Exercícios de Física

6. O que acontece com o número atômico (Z) e o número de massa (A), de um núcleo radiativo quando ele emite uma partícula alfa?

2. Determine o número atômico e o número de massa do elemento resultante, de duas etapas do processo de desintegração de urânio ${}^{235}_{92}\text{U}$;

a) em uma partícula α ;

b) em uma partícula β ;

3. (MACK-SP) Em 13 de setembro de 1987, em Goiânia, ocorreu um dos maiores acidentes radiológicos do mundo, que expôs o ambiente a 19,26g de césio-137, cuja meia-vida é de 30 anos. O lixo contaminado está armazenado em depósito, em Abadia de Goiás, e deverá permanecer isolado por 180 anos. Ao final desse período, qual será a massa restante do césio-137?

4. Sabe-se que a meia-vida do rádio 228 é de 6,7 anos. Partindo de 80g, que massa desse material radioativo restará após 33,5 anos?

5. (CEESU – 2003) As estrelas, incluindo o Sol, funcionam à custa de reações nucleares, o que significa que no seu interior, ocorre transformação de um elemento químico em outro. Como é chamada a divisão do núcleo do átomo que ocorre nas reações nucleares?

6. A liberação de energia do Sol é proveniente da fusão nuclear que converte hidrogênio em hélio. Assim a liberação dessa energia se deve à transformação de massa de repouso em energia, conforme a equação de Einstein, $E=mc^2$. Calcule o valor da energia liberada em uma estrela, numa única reação de fusão de três partículas alfa (${}^4_2\text{He}$) para formar um núcleo de carbono, ${}^{12}_6\text{C}$.

Massa de repouso da cada partícula alfa = $3728,3 \text{ MeV}/c^2$

Massa de repouso do núcleo de carbono = $11\,177,7 \text{ MeV}/c^2$

APÊNDICE L– Avaliação de Radioatividade.



C. E. José do Patrocínio

Data: ____/____/____

Aluno(a): _____ Turma: _____

AVALIAÇÃO DE FÍSICA

1. Descreva a descoberta da radioatividade, por Becquerel.

2. Defina “meia-vida” de um elemento radioativo.

3. O chumbo emite alguma radiação? Justifique.

4. O que são raios cósmicos? Qual a importância do estudo dos raios cósmicos?

5. A energia nuclear resulta de processos de transformação de núcleos atômicos. Alguns isótopos de certos elementos apresentam a capacidade de se transformar em outros isótopos ou elementos através de reações nucleares. Baseia-se no princípio da equivalência de energia e massa, observado por Albert Einstein. E foi descoberta por Hahn, Frita e Meitner com a observação de uma fissão nuclear depois da irradiação de urânio com nêutrons. Com base em seus conhecimentos relacionados à energia nuclear, explique o processo de obtenção de energia numa usina nuclear.

6. De todas as aplicações da radioatividade, qual delas você destacaria? Justifique.

APÊNDICE M – Questionário de avaliação da UEPS pelos alunos.QUESTIONÁRIO AVALIATIVO (AULAS SOBRE RADIOATIVIDADE)

1. Qual a sua opinião sobre o tema abordado neste bimestre?

ótimo bom razoável ruim

2. O que você achou das aulas?

ótimas boas razoáveis ruins

3. Avalie, numa escala de 1 a 5, os tópicos estudados que você considerou os mais interessantes. *(Sendo 5 para o mais interessante e 1 para o conteúdo menos interessante)*

descoberta da radioatividade

fissão e fusão nuclear

decaimento radioativo

meia vida

raios cósmicos

aplicações da radioatividade

usinas nucleares

4. Como você avalia o seu aprendizado dos tópicos estudados, numa escala de 1 a 5? *(Sendo 5 para o que você mais aprendeu e 1 para o que você menos aprendeu)*

descoberta da radioatividade

fissão e fusão nuclear

decaimento radioativo

meia vida

raios cósmicos

aplicações da radioatividade

usinas nucleares

5. Com qual(is) estratégia(s) de ensino você mais se identificou?

mapa mental estudo de caso texto vídeo experimento simulação computacional mapa conceitual

6. Quanto à avaliação, você considera que está de acordo com o que foi estudado? Justifique.

sim não

7. Você ficou satisfeito com o resultado da sua avaliação? Justifique.

sim não

APÊNDICE N – Produto Educacional

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



**FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA: INTERVENÇÃO DIDÁTICA POR
MEIO DE UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS (UEPS)
NO ENSINO MÉDIO**

Material de apoio a professores de Física no ensino de Cosmologia e Radioatividade

Mestranda: Adriana Barreto de Oliveira Siqueira

Orientadora: Renata Lacerda Caldas

Campos dos Goytacazes - RJ

2017

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	3
2 UEPS COSMOLOGIA	4
2.1 Atividades iniciais	4
2.1.1 Estudo de caso	4
2.1.2 Confecção do Universo-caixa	5
2.1.3 Simulação dos movimentos do Sol, da Terra e da Lua.....	5
2.2 Situações-problema	5
2.3 Introdução aos conceitos fundamentais.....	6
2.3.1 Concepções históricas sobre o Universo	7
2.3.2 COSMOLOGIA: o estudo da origem e da evolução do Cosmos.....	7
2.3.3 Texto da peça teatral: O sistema solar	11
2.3.4 Fenômenos astronômicos.....	17
2.3.5 Ordem de grandeza e instrumentos de Medidas astronômicas	27
2.3.6 Relatividade do movimento	30
2.3.7 Gravitação Universal	31
2.3.8 Leis de Kepler e movimento dos satélites.....	33
2.4 Aprofundando os conhecimentos.....	38
2.4.1 Modelos cosmológicos modernos	38
2.4.2 Teoria do Big Bang.....	45
3 UEPS RADIOATIVIDADE.....	53
3.1 Atividade inicial.....	53
3.1.1 Estudo de caso.....	53
3.2 Situações-problema	54
3.3 Texto inicial	55
3.4 Introdução aos conceitos fundamentais.....	59
3.4.1 Descoberta da radioatividade	59
3.4.2 Núcleo atômico.....	61
3.4.3 Fusão nuclear	63
3.4.4 Fissão nuclear	65
3.4.5 Decaimento radioativo.....	67
3.5 Aprofundando os conhecimentos.....	73
3.5.1 Aplicações da radioatividade	73
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
APÊNDICE A – UEPS Cosmologia.....	92
APÊNDICE B – UEPS Radioatividade	96

APÊNDICE C – Lista de exercícios	100
APÊNDICE D– Avaliação de cosmologia.....	101
APÊNDICE E – Questionário sobre o vídeo “Radioatividade, um organizador prévio”.....	102
APÊNDICE F– Lista de exercícios	103
APÊNDICE G– Avaliação de radioatividade.....	104
APÊNDICE H – Questionário de avaliação da UEPS pelos alunos.....	105
ANEXO A – Como construir um mapa conceitual	106

1 INTRODUÇÃO

O ensino da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio (EM) é um assunto bastante discutido e avaliado por pesquisadores, tanto que os currículos de Física já contemplam estes tópicos há algum tempo. Entretanto, os professores ainda têm certa resistência na abordagem destes conteúdos, seja pela formação inadequada durante a graduação, seja na falta de formação continuada (D'AGOSTIN, 2008). Tais fatores propiciam uma insegurança nos docentes, que ao se depararem com tais conteúdos, quase sempre, os ignoram. Por essa razão, o ensino da FMC não tem sido tratado de forma adequada e com a importância que lhe é devida. Avanços científicos e tecnológicos cada vez mais presentes na vida de alunos e professores confirmam essa importância.

Neste material serão abordados os conteúdos de Cosmologia e Radioatividade que são exemplos de tópicos da FMC. No entanto, a abordagem destes conteúdos, não pode ser feita de forma tradicional. São temas relevantes que necessitam ser abordados de forma atraente e que desperte no aluno o interesse pelas aulas. Estes são os fatores que contribuíram para a motivação deste trabalho. Sendo assim, o material aqui apresentado constitui uma proposta de ensino de tópicos da FMC por meio de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) para o Ensino Médio. Para isso, foram escolhidos como objetos de estudo o ensino da Cosmologia e da Radioatividade.

A proposta foi elaborada nos moldes das Unidades de Ensino Potencialmente Significativa (MOREIRA, 2011), que são sequências didáticas fundamentadas na Teoria da Aprendizagem Significativa na qual são sugeridos passos para sua construção. Estas unidades de ensino podem estimular a pesquisa aplicada em ensino, ou seja, aquela voltada à sala de aula.

Alguns princípios são bem marcantes nas UEPS, como o conhecimento prévio do aluno, as situações-problema como organizadores prévios e a utilização de recursos diversificados na introdução de um tema que se pretende ensinar. O conteúdo é apresentado de uma forma mais geral e a partir daí, o assunto é abordado de forma mais específica, visando à diferenciação progressiva e à reconciliação integradora. As UEPS para o ensino de Cosmologia e de Radioatividade encontram-se nos apêndices deste material.

2 UEPS COSMOLOGIA

A seguir, o conteúdo de apoio é apresentado de acordo com a sequência apresentada na UEPS Cosmologia. A duração prevista para o desenvolvimento do conteúdo, em classe, é de 20 horas/aula, podendo ser adaptado conforme o tempo disponível do professor e de acordo com o conhecimento prévio dos alunos.

2.1 Atividades iniciais

2.1.1 Estudo de caso

Estudo de caso: Origem do Universo

Renato é um estudante do primeiro ano do ensino médio de uma escola estadual, assim como alguns colegas, ele acredita que a disciplina de Física é muito difícil, e provavelmente, vai ficar com nota baixa. A razão desse pensamento negativo, afirma Renato, é porque a Física tem muitos cálculos e fórmulas que ele não consegue decorar. No entanto, a professora de Física garantiu que neste bimestre vai apresentar uma proposta diferente para a turma, cujo tema será Cosmologia e Movimento.

– *Mas, o que é cosmologia? É o mesmo que astronomia?* Começaram assim, os questionamentos de Renato.

– *Cosmologia é a Ciência que estuda a estrutura, evolução e composição do universo,* disse a professora, *enquanto Astronomia é o estudo dos astros.*

– *Engraçado! Eu pensava que astronomia se referia aos signos do horóscopo* – completou Renato.

– *Não Renato, isso é outra coisa: é astrologia!* – respondeu a professora

– *Você tem razão, professora! Este assunto é muito interessante... sempre tive curiosidade em saber mais sobre isso...* Refletiu Renato.

– *Então vamos começar? Vocês vão responder algumas perguntas sobre o Universo.* Concluiu a Professora.

Se você tivesse presente na aula, que opinião teria sobre as questões abaixo?

- 1) Para você, como foi o início do Universo?
- 2) E como será o fim?
- 3) Como será que o Universo está hoje em comparação com o início?

2.1.2 Confecção do Universo-caixa

Figura 1 - Materiais para a confecção do universo caixa.



Fonte: A autora (2016).

2.1.3 Simulação dos movimentos do Sol, da Terra e da Lua.

Figura 2 - Kit para a simulação dos movimentos do Sol, da Terra e da Lua.



Fonte: a autora (2016).

2.2 Situações-problema

- Se o Sol está parado, como o vemos realizar um movimento no céu?
- Se existem outras galáxias, todas elas têm como centro o Sol?
- Se o Universo tiver um fim, o que existe além desse limite?
- As galáxias estão realmente se afastando umas das outras, ou é o espaço que está sendo esticado pela expansão cósmica?

2.3 Introdução aos conceitos fundamentais

Figura 3 – *Print screen* da tela do vídeo Astronomia.



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=0JfksHOJX5U>. Acesso em 10 out. 2016.

Figura 4 – *Print screen* da tela do vídeo Heliocentrismo.



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=ZzSEldjwOE4>. Acesso em: 14 nov. 2016.

2.3.1 Concepções históricas sobre o Universo¹

Aos poucos, o ser humano constatou que havia certa regularidade em alguns fenômenos da natureza. O Sol aparecia incansavelmente um dia após o outro; depois do inverno tinha-se a primavera; depois da seca retornava o período das chuvas, e assim por diante. Isso permite pensar que desde muito cedo o ser humano demonstrou consciência de que sua sobrevivência dependia do conhecimento da ordem do Universo.

As divindades foram utilizadas como as primeiras formas para conceber essa ordem. O Universo deveria ser habitado por espíritos sobrenaturais, responsáveis pelos acontecimentos. Os deuses eram responsáveis pela manutenção da organização, e, para ser capaz de influenciá-los, o ser humano passou a fazer oferendas e sacrifícios com o objetivo de sensibilizar as divindades.

Essas práticas por mais primitivas que fossem, aos poucos acabaram estabelecendo relações verdadeiras com base nas observações da natureza e constituíram a base da Ciência moderna.

O mesmo ocorreu com os astrólogos, que buscando observar os astros para entender suas influências no destino das pessoas, forneceram uma quantidade considerável de dados para os estudos astronômicos.

Em certo sentido, a Ciência forjou-se sobre o legado desses investigadores primitivos. Todavia, os cientistas modernos se diferem desses investigadores, principalmente pelo uso sistemático da razão e da experimentação.

2.3.2 COSMOLOGIA: o estudo da origem e da evolução do Cosmos

Atualmente podem parecer ingênuas as versões primitivas de mundo, porém muitas delas atingiram um alto grau de sofisticação, mesmo recorrendo ao uso de espíritos e deuses para explicar a ordenação do Universo. Assim, as Cosmologias antigas são as formas disponíveis de dar sentido ao mundo naqueles tempos.

Cosmologia egípcia

¹ PIETROCOLA, M. et al. *Física: conceitos e contextos*. Vol.1. São Paulo: FTD, 2013.

Por volta do segundo milênio antes de Cristo, os egípcios conheciam muito bem o céu, pois haviam aprendido a relacionar as cheias do rio Nilo com a conformação celeste. Sabiam, por exemplo, que o transbordamento do rio coincidia com a aparição, antes da alvorada da estrela *Sirius*, a mais brilhante do céu daquela região.

Mesmo com esse e outros dados astronômicos, a Cosmologia egípcia era fortemente influenciada por aspectos espirituais, e eles acreditavam que divindades governavam o Cosmos. Em uma das versões cosmológicas mais importantes, o suporte do Universo era representado por uma porção de terra alongada na forma de uma travessa, o deus Geb. O céu, uma abóbada salpicada de pontos cintilantes, era a deusa Nut, que se encaixava sobre a travessa-terra. O deus Shu representava o ar, apoiando-se sobre Geb e sustentando Nut. A travessa-terra se assentava sobre a água e, abaixo dela, fechando o Universo egípcio, existia outra travessa. O Sol e a Lua eram dois deuses que percorriam o céu em dois barcos. À noite, ambos passavam por baixo da Terra para reaparecer novamente no céu pelo outro lado.

Essa representação pode nos parecer engraçada e até arbitrária por não explicar os eclipses, as estações do ano e as fases da Lua. Mas devemos nos perguntar se essas eram questões a serem respondidas por um modelo do Universo. Os egípcios sabiam prever com boa precisão as estações do ano, as fases da Lua e até mesmo os eclipses, e foram capazes de desenvolver um dos mais precisos calendários da Antiguidade com base em informações sobre o céu. No entanto, esses conhecimentos não estavam integrados na sua Cosmologia. Para eles, o céu era o palco para os deuses!

É mais correto dizer que a Cosmologia egípcia espelhava suas convicções e seus interesses, que se vinculavam basicamente à vida após a morte. As múmias e as pirâmides confirmam que havia um interesse muito maior pelo mundo espiritual do que pelo mundo físico. Não parece que os sábios egípcios se preocupassem em entender o céu com base nos movimentos de astros, assim como fazemos hoje. Explicações desse tipo não tinham sentido num céu povoado por divindades.

Não é por acaso que o Universo do povo egípcio era alongado como as terras ocupadas ao longo do Nilo, e que a travessa-terra se assentava sobre água. O rio e suas cheias anuais determinavam o ambiente ocupado pelo povo. O modelo do mundo egípcio não podia ignorar esse fato. Os modelos, em geral, não se afastam do que se conhece e se almeja em determinada época e local. Os egípcios não fugiram à regra.

As teorias sobre o mundo surgem de concepções preexistentes. A Cosmologia egípcia era profundamente pautada pela convicção na existência e no valor da vida após a morte, e isso influenciou decisivamente a forma de representação do Universo.

Para muitos de nós, a Cosmologia egípcia mais se parece com uma doutrina religiosa, pois com certeza, não se enquadra no que consideramos hoje como Ciência. Na verdade, o que faltava para ela se tornar científica era responder às questões como: a que distância da Terra ficam o Sol e os planetas? Por que observamos as estrelas se moverem no céu? Nosso espaço é preenchido por algo ou é vazio?

Respostas a essas perguntas vão exigir observações sobre os fenômenos.

Cosmologia grega

Os gregos foram os primeiros a produzir representações do Universo e a fornecer algumas respostas. Para o filósofo grego Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.), o Universo era finito, isto é, existia somente em uma região limitada do espaço. Esse “lugar” onde tudo ocorria deveria ter uma forma esférica. No entanto, diferentemente de uma bola de futebol, que dentro tem somente ar, nosso Universo, para Aristóteles, era formado de uma série de esferas cristalinas concêntricas como uma cebola, que é formada de várias camadas.

No centro do Universo estava a Terra, que sempre permanecia parada. Considerando que a Terra era o centro de tudo, a primeira camada a envolvê-la era a esfera lunar, onde, como o nome indica, estava situada a Lua. Em seguida, havia a esfera do planeta Mercúrio. Na terceira camada, Vênus, e, na quarta, o Sol. Somente na quinta, na sexta e na sétima viriam respectivamente Marte, Júpiter e Saturno. As últimas esferas seriam o local das estrelas fixas, que tinham esse nome por parecerem estar sempre no mesmo lugar em relação à Terra. É importante lembrar que os planetas Urano e Netuno não haviam sido descobertos nessa época e por isso Aristóteles não os incluiu no seu modelo de Cosmos.

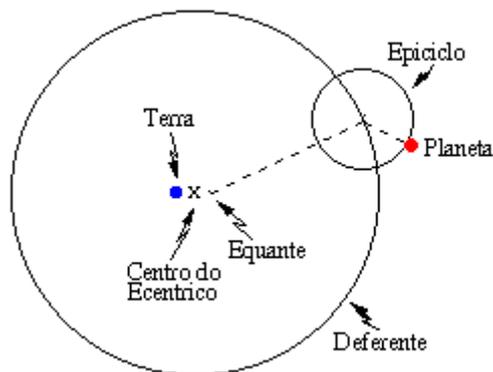
Os movimentos de cada planeta e do Sol eram explicados pelo giro de cada uma das camadas celestes consideradas rígidas e constituídas de um material cristalino. Cada astro estava preso em um ponto determinado da camada esférica, fazendo que toda ela tivesse de girar para provocar seu movimento, como ocorre quando uma pessoa brinca em um carrossel. Por isso, cada objeto deveria estar em uma camada diferente, pois já se sabia que cada um deles desenvolve uma velocidade determinada e, assim, não poderia girar em uma mesma esfera. Essa é a versão mais simples do Cosmos geocêntrico, ou seja, aquele que considera a Terra parada no centro do Universo.

Universo Geocêntrico de Ptolomeu²

² <http://astro.if.ufrgs.br/p1/p1.htm>

Apesar da dificuldade de compreender e explicar o movimento observado dos planetas do ponto de vista geocêntrico (a Terra no centro do Universo), o geocentrismo foi uma idéia dominante na Astronomia durante toda a Antiguidade e Idade Média. O sistema geocêntrico também é conhecido como sistema ptolomaico, pois foi Cláudio Ptolomeu, o último dos grandes astrônomos gregos (150 d.C.), quem construiu o modelo geocêntrico mais completo e eficiente. Ptolomeu explicou o movimento dos planetas através de uma combinação de círculos: o planeta se move ao longo de um pequeno círculo chamado epiciclo, cujo centro se move em um círculo maior chamado deferente. A Terra fica numa posição um pouco afastada do centro do deferente (portanto o deferente é um círculo excêntrico em relação à Terra). Para dar conta do movimento não uniforme dos planetas, Ptolomeu introduziu ainda o equante, que é um ponto ao lado do centro do deferente oposto à posição da Terra, em relação ao qual o centro do epiciclo se move a uma taxa uniforme.

Figura 5 - Modelo geocêntrico de Ptolomeu



Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/p1/p1.htm>. Acesso: 15 mar. 2017.

O objetivo de Ptolomeu era produzir um modelo que permitisse prever a posição dos planetas de forma correta, e nesse ponto ele foi razoavelmente bem sucedido. Por essa razão esse modelo continuou sendo usado sem mudança substancial por 1300 anos.

Universo Heliocêntrico de Copérnico

Em 1492 termina a ocupação árabe (mourós) da península ibérica, que se iniciou em 711, e começa a Renascença. Inicia-se a tradução dos textos árabes e gregos, trazendo para a Europa os conhecimentos clássicos de Astronomia, Matemática, Biologia e Medicina.

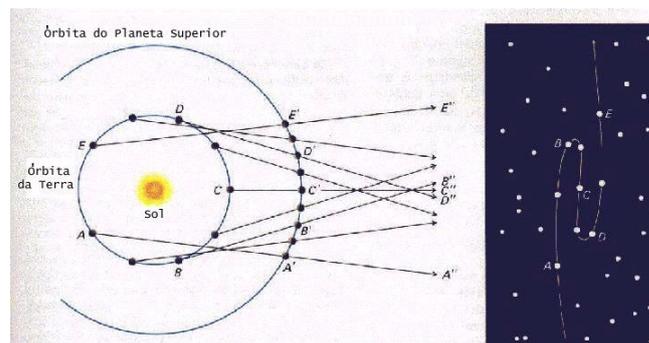
Nicolau Copérnico representou o Renascimento na Astronomia. Copérnico (1473-1543) foi um astrônomo polonês com grande inclinação para a matemática. Estudando na

Itália, ele leu sobre a hipótese heliocêntrica proposta (e não aceita) por Aristarco (300 a.C.), e achou que o Sol no centro do Universo era muito mais razoável do que a Terra. Copérnico registrou suas ideias num livro - *De Revolutionibus*- publicado no ano de sua morte.

Os conceitos mais importantes colocados por Copérnico foram:

- introduziu o conceito de que a Terra é apenas um dos seis planetas (então conhecidos) girando em torno do Sol
- colocou os planetas em ordem de distância ao Sol: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno (Urano, Netuno e o planeta anão Plutão).
- determinou as distâncias dos planetas ao Sol, em termos da distância Terra-Sol.
- deduziu que quanto mais perto do Sol está o planeta, maior é sua velocidade orbital. Dessa forma, o movimento retrógrado dos planetas foi facilmente explicado sem necessidade de epiciclos.

Figura 6 - Modelo heliocêntrico de Copérnico



Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/p1/p1.htm>. Acesso: 15 mar. 2017.

Copérnico manteve a ideia de que as órbitas dos planetas eram circulares, e embora o movimento dos planetas ficasse simples de entender no seu sistema, as posições previstas para os planetas não eram em nada melhores do que as posições previstas no sistema de Ptolomeu.

2.3.3 Texto da peça teatral: O sistema solar³

PERSONAGENS:

1. SOL
2. LUA
3. TERRA

³ LOPES, V. C. Q. Disponível em: <<http://www.oba.org.br/site/?p=conteudo&pag=conteudo&idconteudo=47&idcat=12&subcat=>>> acesso em: 12 ago. 2015.

4. VÊNUS
5. MARTE
6. JÚPITER
7. SATURNO
8. NETUNO
9. PLUTÃO
10. URANO
11. MERCÚRIO

Cenário: Pouca luz; pano preto representando o universo. Algumas estrelas de vários tamanhos. Inicia-se a cena com efeitos sonoros (cósmicos). Todos os planetas giram em torno do Sol. A Terra gira em torno do Sol e de si mesma. A Lua gira em torno da Terra.

TERRA: Ai. Ui, Ai, Ui !!!

SOL: O que foi Terra?

TERRA: Ai Sol alguma coisa está acontecendo comigo. Estou sentindo alguns movimentos estranhos.

MARTE: Movimentos estranhos? Há milhares de anos você faz esses movimentos estranhos, é difícil compreender que graça tem ficar girando, girando, girando... em torno de si mesma.

TERRA: Meu amigo Marte esses movimentos são extremamente necessários. Quando giro em torno de mim mesma acontece a rotação, um giro completo dura 24 horas, proporcionando ao ser humano o dia e a noite. Meu movimento ao redor do Sol leva 365 dias, um ano inteiro e dá-se nome de translação.

SOL: O que vocês estão dizendo? Todos giram ao meu redor. Sou o Astro Rei.

TERRA: É! Mas por muito tempo alguns sábios afirmavam que eu era o Centro do Universo e todos vocês giravam em torno d'euzinha.

MERCÚRIO: Galileu Galilei, Astrônomo e Matemático acabou com essa farsa. Hoje sabemos muito bem que você não passa de um simples planeta, assim como nós.

TERRA: É Mercúrio! Mas vocês não se esqueçam que sou a única que pode abrigar seres humanos proporcionando água, oxigênio, luz, enfim a vida.

SATURNO: Sim, mas eu sou considerado o mais belo de todos os planetas.

JÚPITER: Sou o maior! Não sei porque o ser humano escolheu você para viver. Tenho espaço sobrando para todos. Um dia, irão me descobrir querida Terra, bay, bay !!!

PLUTÃO: Ei, companheiros para que essa aflição? Eu era o mais novo dos planetas, fui descoberto esses dias 1930 e agora nem planeta sou mais e não estou nem um pouco preocupado com o ser humano. Dou graças por não se interessarem por mim.

URANO: Nossa Plutão que rebeldia!

PLUTÃO: Rebeldia Urano? Será que vocês notaram como nossa amiga Terra está acabadinha? O ser humano aos poucos está destruindo-a .

TERRA: Ui, Ui, Ai, Ai...

PLUTÃO: Viram só? Com certeza o responsável por todo esse auê da Terra é o ser humano.

NETUNO: O que foi agora Terra vai me dizer que a humanidade está novamente em guerra.

TERRA: Não Netuno não é guerra não! É algo estranho, não consigo decifrar.

VÊNUS: Ai, Ai, Ai... Vai ver estão desmatando mais uma floresta.

TERRA: Fique quieto Vênus, não tire conclusões precipitadas me arrepio só de pensar que meu oxigênio está em perigo.

PLUTÃO: Viram só! Por essa razão é que não quero a humanidade vivendo em mim!

SOL: Quantas besteiras, sabemos que o ser humano involuntariamente machuca a Terra mas ela teve muito mais graça depois que foi habitada.

SATURNO: E antes deles chegarem não existia ninguém para nos admirar. Fique sabendo que meus anéis são muito admirados.

PLUTÃO: Saturno não diga isso! Olhe para a Terra, parece doente! O ser humano é um vírus, uma doença.

MARTE: Que exagero Plutão chego a ficar vermelho de vergonha.

PLUTÃO: Exagero nada Marte, vou continuar assim, cada vez mais afastado de vocês, principalmente da Terra.

MERCÚRIO: Que covardia! Eu que sou o menor de todos não tenho medo. E olha que fica pertinho da Terra!!

TERRA: Ai, Ai, Ui, Ui...

URANO: Ih! Começou de novo! Astro rei, o que acha de tudo isso?

SOL: Eu? Tudo isso me preocupa Urano. Meus raios solares estão afetando a Terra devido a destruição da camada de ozônio da nossa companheira, tenho medo de machucá-la ainda mais.

TERRA: Não se preocupe Sol, sou forte e sei me defender o que me preocupa é o bem estar da humanidade.

PLUTÃO: O que é isso? Você está cega, como pode perdoar tanta agressão?

TERRA: Uma boa mãe sempre perdoa os erros dos filhos.

NETUNO: Ei Lua, por que está tão calada? O que acha de tudo isso?

LUA: É! Também estou preocupada, mas tenho um papel importante para o ser humano.

TERRA: Eles lhe adoram Lua. Dizem que até para plantarem seguem o seu ciclo. A Senhora é uma grande inspiradora de poetas e amantes.

PLUTÃO: Grande coisa! E assim desperta a curiosidade deles. Isso é preocupante!

TERRA: Ui, Ui, Ai, Ai...

URANO: O que será que eles estão aprontando agora?

PLUTÃO: Mas é muito fácil! Poluição, queimadas, agressão ao solo, matança de animais...

TERRA: Que horror! Será que não daria para ser um pouquinho otimista?

PLUTÃO: Impossível com esses predadores à solta.

TERRA: Ai, Ai, Ui, Ui...

PLUTÃO: Viram só.

URANO: Terra nos diga o que realmente você está sentindo. É dor?

TERRA: Não! Desta vez não é dor!

(barulho de foguete)

SOL: Ei ouçam, que barulho é esse?

LUA: Não sei, mas parece perto.

PLUTÃO: Ai eu vou é ficar quietinho aqui.

TERRA: Ai, Ai, Ui, Ui...

(barulho de foguete)

SATURNO: Terra estamos curiosos, o que está acontecendo?

NETUNO: É, nos diga! Estamos ansiosos.

TERRA: O ser humano está...

URANO: Está o que?

TERRA: Não sei acho que...

VÊNUS: O que, fale logo?

TERRA: Não me apresse Estrela Dalva.

VÊNUS: Não me chame desse nome.

JÚPITER: Ora, parem com isso! Terra se concentre!

TERRA: Não consigo descobrir, é algo que nunca aconteceu. Ai, Ui, Ai, Ui...

PLUTÃO: Viram ela não consegue reconhecer a própria morte, está cega, eu heim!

BARULHO

MARTE: Ouçam!!!

TERRA: Eu sei, acho que sei o que está acontecendo!

MERCÚRIO: Ela sabe, Ela sabe, Ela sabe.

MARTE: Nos diga Terra!! Terra chora.

VÊNUS: Viram, eu avisei!

SOL: Ora, pare de chorar e nos diga agora: o que está acontecendo?

TERRA: É que... (*chora*)

VÊNUS: Ah não, pare de choramingar e nos diga logo.

SOL: Terra, se não parar de chorar e nos dizer o que está acontecendo jogarei meus raios solares em você e te destruirei.

(*Terra, para e pensa*)

TERRA: Esta bem tenho que ser forte. O ser humano está me deixando.

TODOS: Oh!

SOL: Te deixando? Como assim?

TERRA: Está indo embora para conquistar o espaço.

JÚPITER: Não sendo o meu.

PLUTÃO: Conquistar o espaço, eles que fiquem lá no deles, no meu espaço mando eu.

MARTE: Todos eles?

TERRA: Não, apenas astronautas embarcando em um foguete que chamam de Apolo 8.

TODOS: Oh!

SOL: E para onde vão?

TERRA: Aonde? Não sei!!!

TODOS: Oh!!!

PLUTÃO: Tenho que sair daqui, o vírus está solto. O QUE FAÇO? Me ajudem!

MARTE: Ora, acalme-se. Você é um planeta ou um asteróide?

PLUTÃO: Não me chame de asteróide, viu! Eu só estou com medo, vivi tanto tempo sem ser descoberto, agora eu corro o risco de ser invadido por esses, por esses seres humanos.

TERRA: Ai, Ui...

URANO: Começou de novo.

TERRA: Descobri, descobri para onde estão indo.

MARTE: Com certeza, estão à minha procura. Sou o planeta maior próximo da Terra.

TERRA: Não Marte você está errado, está indo em outra direção.

PLUTÃO: Ai, Ui, eu vou é entrar em órbita!

NETUNO: Vieram à minha procura. O ser humano adora minha cor azul esverdeado, vai ver pensa que tenho água e plantas como a Terra.

TERRA: Não, não. O ser humano não está a procura de outros planetas.

TODOS: Não?

TERRA: Não.

SOL: Ei, eles não seriam nem bobos de quererem me habitar não conseguiram ao menos chegar próximo à mim. Virariam churrasquinho.

URANO: Não estão à procura de planeta e sabem que o calor do Sol é insuportável, só resta...

TODOS: A Lua.

LUA: Eu? O que querem comigo?

TERRA: Não sei colega. Mas estão indo em sua direção.

PLUTÃO: Querida Lua foi tão bom te conhecer.

JÚPITER: Seja forte companheira.

(Barulho)

LUA: Ai, Ui, Ai, Ui.

TERRA: E eles chegaram.

PLUTÃO: Pobre amiga! *(Lua começa a rir)*. Que sensação gostosa, está-me fazendo cócegas.

(risadas)

MERCÚRIO: Parece que não é tão ruim assim!

SOL: Nos diga Lua como você está?

LUA: Me sinto preenchida e feliz.

PLUTÃO: Não claro que não, estão felizes, no princípio tiveram medo mas agora...*(suspiros)*
É emocionante.

(Barulho foguete)

LUA: Ai, Ui.

PLUTÃO: Era bom demais para ser verdade! Já colocaram as manguinhas de fora.

LUA: Ei, espere, não vão embora.

SOL: Estão indo embora?

LUA: Sim, que pena, acho que não gostaram de mim. *(chorar)*

PLUTÃO: Foi tão bom assim?

LUA: Foi.

PLUTÃO: Então o que estamos esperando vamos chamar a atenção deles, para virem nos visitar.

JÚPITER: Ora só, longe do jeito que você está, até parece que irão lhe achar.

SATURNO: Virão em busca de meus anéis.

MARTE: Sou vermelho, e vermelho chama a atenção.

TERRA: *(se dirige ao público)* E uma coisa eles tem razão à humanidade tem o grande sonho de conquistar o espaço não sabemos quando será, mas uma coisa é certa, estão tentando e nós continuaremos aqui a sua espera.

Música

FIM

2.3.4 Fenômenos astronômicos⁴

Vídeos⁵

Figura 7 – *Print screen* da tela do vídeo Fases da Lua.



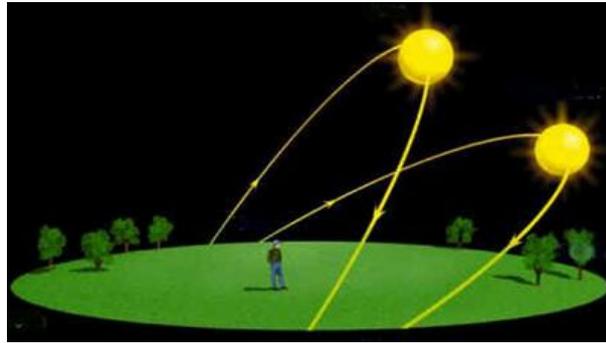
Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=N2wTtaJEtNY>. Acesso em: 14 nov. 2016.

Formação dos dias e noites

Como a Terra é iluminada pelo Sol, é sempre metade de sua superfície que, num certo instante, recebe a luz solar. Nessa região o Sol é visível no céu, sendo, portanto, dia. Na outra, escura, é noite, não estando o Sol presente no céu.

⁴ <http://www.portalsaofrancisco.com.br/astronomia/dia-e-noite>

⁵ Série Espaço nave Terra: Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=SE7H19FAv8Q&list=PLLxbJaFyKaZoZB1S8lzJd1xvPdTFPLvrK>>. Acesso em 18 ago. 2017.

Figura 8 - Posição do Sol.

<http://www.portalsaofrancisco.com.br/astronomia/dia-e-noite>.
Acesso em 13 mar. 2017

À medida que a Terra vai girando em torno de seu eixo imaginário, a luz solar vai progressivamente atingindo diferentes regiões da Terra, provocando o movimento do Sol de leste para oeste e produzindo a sucessão dos dias e das noites.

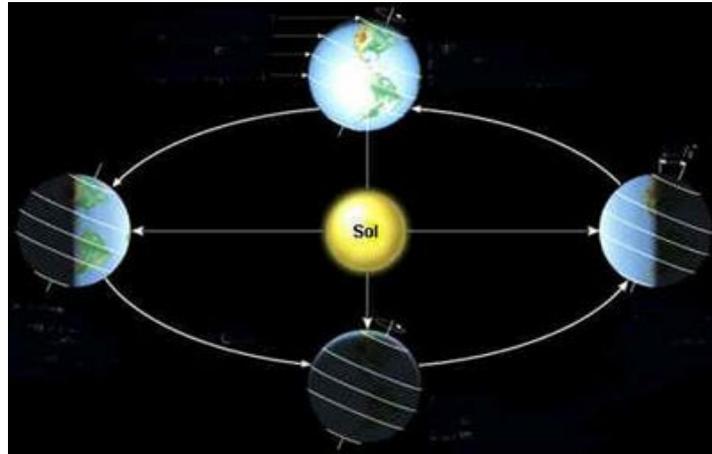
Dependendo do lugar da Terra em que estamos, observamos o Sol com trajetórias diferentes em relação ao horizonte. Se estivermos, por exemplo, num dos pólos geográficos (latitude 90°), o céu parecerá girar em torno de um eixo que passa exatamente por nós e perpendicularmente ao chão. O Sol e os demais astros descreverão trajetórias circulares, paralelas ao horizonte, sem nascer ou se pôr durante períodos de 24 horas.

Nos pólos da Terra, portanto, não existe nascente ou poente. É por isso que nessas regiões (e também em regiões próximas a eles) ocorre o fenômeno conhecido como “Sol da meia-noite”, pois mesmo à noite o Sol pode estar acima do horizonte.

Nos pólos isso acontece durante seis meses seguidos. Esse período de tempo é chamado de Grande Dia Polar. Por outro lado, em outra época o Sol fica sempre abaixo do horizonte, ocorrendo a Grande Noite Polar, que dura outros seis meses.

Para observadores que estiverem na latitude de 0° (sobre o Equador da Terra), o Sol e os demais astros descreverão trajetórias perpendiculares ao horizonte. Se, no entanto, estiverem em latitudes intermediárias entre 0° e 90° , os astros vão descrever trajetórias inclinadas em relação ao horizonte.

Figura 9 - Movimento de rotação da Terra.



<http://www.portalsaofrancisco.com.br/astronomia/dia-e-noite>

Mas há fenômenos que não são explicáveis apenas considerando-se que a Terra possui um movimento de rotação. É o caso das estações do ano.

A iluminação da Terra muda durante o ano por causa da translação. Em cada estação do ano a duração dos dias e das noites é diferente. Quando numa determinada cidade é verão, significa que tal cidade está localizada no hemisfério mais iluminado pelo Sol, naquele momento. Então, ali os dias são mais longos e as noites mais curtas.

Estações do ano⁶

O movimento de translação é aquele que o planeta Terra realiza ao redor do Sol junto com os outros planetas. O tempo necessário para completar uma volta ao redor do Sol é de 365 dias, 5 horas e cerca de 48 minutos e ocorre numa velocidade média de 107.000 km por hora.

O tempo que a planeta leva para dar uma volta completa ao redor do Sol é chamado "ano". O ano civil, aceito por convenção, tem 365 dias. Como o ano sideral, ou o tempo concreto do movimento de translação, é de 365 dias e 6 horas, a cada quatro anos temos um ano de 366 dias, dia este que é acrescentado ao nosso calendário no mês de fevereiro e que recebe o nome de ano bissexto.

O movimento de translação é o responsável pelas quatro estações do ano: verão, outono, inverno e primavera, que ocorrem em razão das diferentes localizações da Terra no espaço.

⁶ <http://brasilecola.uol.com.br/geografia/movimento-translacao.htm>

Figura 10 - Estações do ano.



<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/movimento-translacao.htm>. Acesso em 17 mar. 2017.

Em determinados meses do ano um hemisfério recebe luz e calor com mais intensidade que o outro, dando origem a verões e invernos. Quando é verão no hemisfério sul é inverno no hemisfério norte e vice-versa. Já no outono e primavera, a quantidade de luz e calor se equivale.

Quando ocorre o recebimento de luz e calor de forma desigual nos hemisférios o fenômeno é chamado de solstício, esse período acontece nos dias 21 de junho e 21 de dezembro, e marcam a chegada do inverno e do verão.

No momento em que os dois hemisférios recebem luz e calor de maneira igual, o fenômeno é denominado de equinócio, que se inicia nos dias 21 de março e 23 de setembro, a principal característica desses dias é que as noites e os dias possuem o mesmo tempo de duração (12 horas), essas datas determinam o começo do outono e da primavera.

*Fases da Lua*⁷

As fases da Lua ocorrem porque ela não possui luz própria. Nós só a vemos quando ela é iluminada pelo Sol e reflete a luz dele. E, como a Lua está em órbita da Terra, durante alguns momentos dessa trajetória a face dela que permanece voltada para nós não recebe luz do sol, ficando totalmente no escuro. Conforme ela vai progredindo em sua órbita em torno da Terra, pouco a pouco sua face voltada para nós vai recebendo iluminação do Sol.

Tradicionalmente usamos quatro denominações para descrever as fases principais da lua: Lua nova, quarto minguante, quarto crescente e Lua cheia.

⁷ <http://www.infoescola.com/sistema-solar/fases-da-lua/>

Lua nova é a denominação dada para fase da Lua quando a sua face visível não recebe luz do Sol. Ou seja, a Lua encontra-se entre o Sol e a Terra, portanto, como sua face visível está voltada para nós e de costas para o Sol, não podemos vê-la.

Em seguida a esta fase, temos a fase da Lua “quarto crescente”, quando a parte visível da Lua começa a receber a luz do Sol e, para nós, ela fica com uma forma de semicírculo apontando para leste. Esta fase culmina com apenas metade da parte visível da Lua recebendo a luz do Sol (por isso chama-se “quarto”, porque apenas $\frac{1}{4}$ da Lua está iluminado).

Após o quarto - crescente, temos a fase de Lua cheia, quando seu lado visível da Terra encontra-se totalmente iluminado pelo Sol (a Terra está entre o Sol e a Lua, porém não confunda com a ocorrência de um eclipse lunar. Neste caso de que falamos, a órbita da Lua está com certa inclinação que permite que ela receba a luz do Sol).

O último estágio, ou fase da Lua, é a fase de quarto - minguante. Nesta fase, a parte iluminada da face visível da Lua vai diminuindo. Durante este período ela assume novamente o aspecto de um semicírculo até culminar com apenas $\frac{1}{4}$ da Lua iluminado pelo Sol novamente, só que desta vez no sentido inverso da fase quarto - crescente.

Este ciclo todo, dura cerca de 29 dias 12 horas 44 minutos e é chamado de período sinódico da Lua. Ele difere do tempo em que a Lua leva para dar uma volta completa em torno da Terra (período sideral) em cerca de 2 dias. Isso por que o período sinódico (das fases) é determinado de acordo com a posição da Lua com relação ao Sol e o período sideral (translação) é determinado de acordo com a posição da Lua em relação às estrelas. Como a Terra também se movimenta em torno do Sol, toda vez que a Lua chega perto de concluir seu ciclo, o Sol já sofreu um deslocamento de alguns graus sendo necessários mais alguns dias para que a Lua assumira uma posição em relação ao Sol que caracterize suas fases.

Figura 11 - Fases da Lua.

<http://www.infoescola.com/sistema-solar/fases-da-lua>. Acesso em 17 mar. 2017

*Marés*⁸

Maré é o fenômeno da subida e da descida do nível das águas de uma região por causa dos efeitos gravitacionais criados pela Lua e pelo Sol. A lei da atração gravitacional mostra que entre dois pontos materiais, separados pela distância D , e com massas M e m , ocorre uma força de atração. É graças à força gravitacional que os astros podem orbitar uns em torno de outros.

Quando dois corpos estão muito afastados um do outro, o tamanho de cada um pode ser considerado como um ponto quando comparado com a distância entre eles. Nesse caso, pode-se aplicar a lei da gravitação universal como se os corpos fossem dois pontos materiais, com a massa suposta concentrada no centro de massa de cada um deles. Mas, se dois corpos estão suficientemente próximos para que seus tamanhos sejam uma fração considerável da distância entre eles, então não mais se pode supor forças agentes no centro de massa de cada um.

É isso que acontece com a força gravitacional que a Lua e o Sol aplicam sobre a Terra. A região da Terra que estiver voltada para um desses astros sofre uma atração gravitacional maior do que aquela sofrida pela região mais distante. Essas forças desiguais causam acelerações desiguais que acabam deformando, temporariamente, a distribuição de massas na Terra. Nas regiões que estão na direção da linha que une os centros dos corpos, teremos as marés altas enquanto que nas regiões que estão a 90º dessa linha, teremos marés baixas.

⁸ <http://www.iag.usp.br/siae98/fenomastro/mares.htm>

Devido ao movimento de rotação da Terra, a cada instante regiões diferentes da Terra estarão submetidas às marés baixas e altas, fazendo com que o fenômeno seja cíclico em cada local.

Maré Lunar: As maiores marés sobre a Terra são causadas pela Lua. Em regra geral, quando a Lua se encontra o mais próximo possível do zênite de um local, ou diametralmente oposta, temos a maré alta. Quando a Lua se encontra a cerca de 90º dessa região, temos as marés baixas. O intervalo de tempo entre duas marés altas causadas pela Lua é de cerca de 12h25m. No mar, em locais afastados das costas, o desnível entre a maré alta e a maré baixa é de cerca de 1 m. Mas em baías fechadas esse desnível pode chegar a cerca de 20 m.

Maré Solar: Apesar de ter uma massa muito maior que a da Lua, o Sol exerce uma maré sobre a Terra, de cerca de 2,5 vezes menor do que aquela causada pela Lua. Isso se explica devido à grande distância entre o Sol e a Terra. Por causa do Sol, as marés altas de um local ocorrem por volta do meio-dia e da meia noite.

Maré Luni-solar: Devido à rotação da Terra e dos movimentos orbitais desta e da Lua, as marés vão ocorrendo cada dia em horários ligeiramente diferentes. O efeito combinado das marés causadas pela Lua e pelo Sol é chamado de maré luni-solar. Quando os três astros estão alinhados, ocorrem as marés de maior desnível (as mais altas e as mais baixas também) e essas marés são chamadas de marés de Sizígeia. Elas ocorrem por volta das épocas de Lua Nova e Lua Cheia.

Quando o Sol e Lua são vistos a 90º um do outro, ocorrem marés com menor desnível (marés não muito altas nem muito baixas) e são denominadas de marés de Quadratura. Elas ocorrem por volta da Lua Quarto Crescente e por volta da Lua Quarto Minguante. Pelo fato de as marés lunares serem mais intensas, o período principal entre duas marés altas (ou baixas) é muito próximo do período das marés lunares: 12h25m.

Marés terrestres: Apesar do nome parecer paradoxal, ocorrem, de fato, marés terrestres, ou seja, o solo da Terra 'sobe' e 'desce' dependendo das posições do Sol e da Lua. Mas, sobe e desce em relação a quê? E como se explica isso? Não podemos esquecer que boa parte do interior da Terra está na forma pastosa, e que os continentes 'boiam' sobre essa pasta como se cada continente fosse um pequeno barco. Da mesma forma que as marés 'marítimas' deformam a distribuição das águas, elas redistribuem também a parte pastosa da Terra. Com isso, os continentes parecem subir e descer com relação ao centro da Terra. É a esse movimento que chamamos de marés terrestres.

É um fenômeno difícil de ser medido, já que não temos um ponto fixo na superfície da Terra para poder ver o quanto o chão 'subiu' ou 'desceu' devido à maré terrestre. Cálculos

mostram que o desnível chega a ser de cerca de 30 cm, ou seja, cerca de um terço do valor do desnível criado pela maré marítima longe das costas.

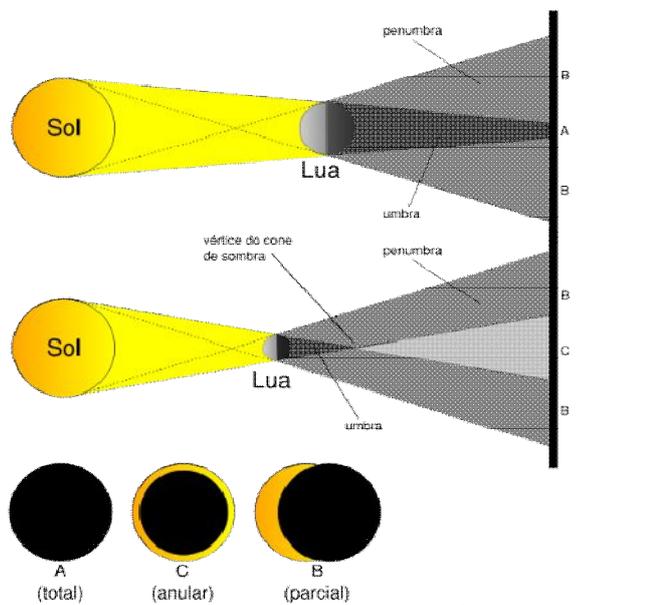
As marés, por representarem forças que causam atritos sobre a matéria que compõe os corpos envolvidos, fazem com que parte da energia de rotação desses corpos seja perdida na forma de calor. Com isso, os corpos envolvidos vão 'parando' de girar. A Lua, por exemplo, mostra sempre a mesma face para a Terra, pois perdeu muita energia de rotação devido às marés que a Terra causa sobre ela. Costuma-se dizer que a Lua tem um movimento de rotação sincronizado com seu movimento orbital em torno da Terra. Num futuro muito distante, a Terra terá um movimento de rotação sincronizado com seu movimento de translação em torno do Sol. Quando isso acontecer, uma dada região da Terra estará sempre voltada para o Sol e na outra será uma noite eterna.

Eclipses

Eclipse é o escurecimento parcial ou total de um corpo celeste, provocado pela interposição de um outro corpo celeste. Os eclipses mais comuns e conhecidos são o do Sol e o do Lua.

Eclipse solar: Um eclipse solar é um raríssimo fenômeno de alinhamentos que ocorre quando a Lua se interpõe entre a Terra e o Sol, ocultando completamente a sua luz numa estreita faixa terrestre. Do ponto de vista de um observador fora da Terra, a coincidência é notada no ponto onde a ponta do cone de sombra risca a superfície do nosso Planeta.

Figura 12 - Eclipses solares



Fonte:< <http://pt.wikipedia.org>>. Acesso 13 mar. 2017.

Há quatro tipos de eclipses solares:

- o eclipse solar parcial: somente uma parte do Sol é ocultada pelo disco lunar;
- o eclipse solar total: toda a luminosidade do Sol é escondida pela Lua;
- o eclipse anular, eclipse anelar ou eclipse em anel: um anel da luminosidade solar pode ser vista ao redor da Lua, o que é provocado pelo fato de o vértice do cone de sombra da Lua não estar atingindo a superfície da Terra, o que pode acontecer se a Lua estiver próxima de seu apogeu. Isso é similar à ocorrência do eclipse penumbral da lua;
- o eclipse híbrido, quando a curvatura da Terra faz com que o eclipse seja observado como anular em alguns locais e total em outros. O eclipse total é visto nos pontos da superfície terrestre que estão ao longo do caminho do eclipse e estão fisicamente mais próximos à Lua, e podem, assim, ser atingidos pela umbra; outros locais, menos próximos à Lua devido à curvatura da Terra, caem na penumbra da Lua, e enxerga um eclipse anular.

Eclipses solares podem ocorrer apenas durante a fase de Lua Nova, por ser o período em que a Lua está posicionada entre a Terra e o Sol.

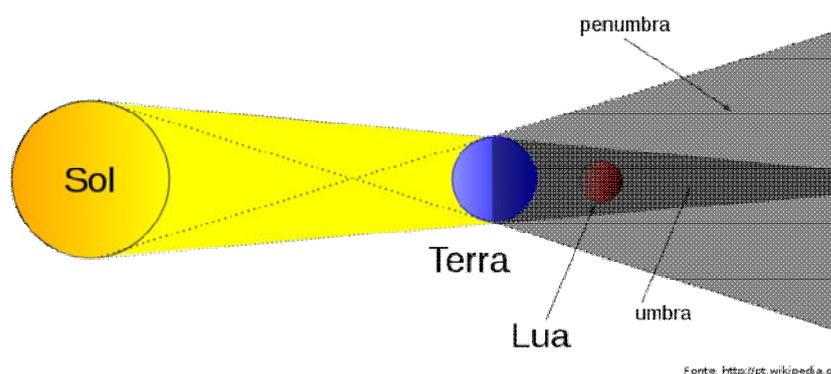
Eclipse Lunar: É um fenômeno celeste que ocorre quando a Lua penetra, totalmente ou parcialmente, no cone de sombra projetado pela Terra, em geral, sendo visível a olho nu. Isso

ocorre sempre que o Sol, a Terra e a Lua se encontram próximos ou em perfeito alinhamento, estando a Terra no meio destes outros dois corpos. É como se fosse um eclipse solar, porém a Terra encobre a lua nesse caso. Por isso, o eclipse lunar só pode ocorrer quando coincidem a fase de Lua Cheia e a passagem dela pelo seu nodo orbital. Ao contrário dos eclipses solares que são visíveis apenas em pequenas áreas da Terra, os eclipses lunares podem ser vistos em qualquer lugar da Terra em que seja noite no momento do eclipse.

A Lua não desaparece completamente na sombra da Terra, mesmo durante um eclipse total, podendo então, assumir uma coloração avermelhada ou alaranjada. Isso é consequência da refração e da dispersão da luz do Sol na atmosfera da Terra que desvia apenas certos comprimentos de onda para dentro da região da umbra.

Esse fenômeno também é responsável pela coloração avermelhada que o céu assume durante o poente e o nascente. De fato, se observássemos o eclipse a partir da Lua, veríamos o Sol se pondo atrás da Terra. Os eclipses lunares não são frequentes. Em média, acontecem até três vezes por ano (ainda que um ano com três seja raro). Cerca de um terço das ocorrências são os eclipses de penumbra, quase imperceptíveis. Os eclipses lunares parciais acontecem em cerca de um terço das ocasiões, e merecem observação. O terço restante envolve eclipses lunares totais, que atraem multidões de espectadores e astrofotógrafos fascinados.

Figura 13 - Eclipse lunar



Fonte: < <http://pt.wikipedia.org> >. Acesso 13 mar. 2017.

2.3.5 Ordem de grandeza e instrumentos de Medidas astronômicas

*Ordem de Grandeza*⁹

Quando trabalhamos com grandezas físicas, muitas vezes não precisamos nos preocupar com valores exatos. Podemos apenas avaliar, com aproximação, um resultado ou uma medida. Um recurso que facilita os cálculos muito longos, em uma avaliação, é a utilização das ordens de grandeza.

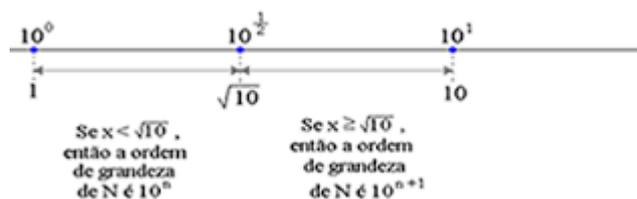
Por definição, ordem de grandeza de um número é a potência de dez mais próxima desse número. Assim, para obter a ordem de grandeza de um número N qualquer, em primeiro lugar, devemos escrevê-lo em notação científica, ou seja, no formato:

$$N = x \cdot 10^n, \text{ em que } 1 \leq x \leq 10 \text{ e } n \text{ é um número inteiro.}$$

Em seguida, devemos comparar x com o ponto médio do intervalo de 1 (= 100) a 101.

Em outras palavras, devemos comparar o valor de x com o valor 100,5, como mostra a figura abaixo:

Figura 14: Gráfico da escala de potências



Fonte: <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/ordem-grandeza.htm>. Acesso em 2 abr. 2017

Observe que

$$10^{0,5} = 10^{\frac{1}{2}} = \sqrt{10} \cong 3,16,$$

é, aproximadamente, o ponto médio do intervalo $[10^0, 10^1]$ em uma escala logarítmica.

A partir dessa comparação,

- se $x < \sqrt{10}$, então a ordem de grandeza de N é 10^n .
- se $x \geq \sqrt{10}$, então a ordem de grandeza de N é 10^{n+1} .

⁹ <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/ordem-grandeza.htm>

Ordem de grandeza dos valores de dimensão, tempo e massa de alguns corpos do Universo:

10^6 – Diâmetro da Lua	10^{30} – Massa do Sol
10^7 – Diâmetro da Terra	10^{21} – Distância da Via-Láctea
10^{11} – Diâmetro da Terra ao Sol	10^{18} – Idade do Universo

Instrumentos de medidas astronômicas¹⁰

Até 1609 todas as observações astronômicas eram feitas a olho nu. Foi nesse ano que Galileu Galilei, tendo ouvido falar sobre um instrumento capaz de aproximar as imagens, construiu uma luneta, e pela primeira vez, o homem pode ver o céu de mais perto.

Foi com uma pequena luneta que Galileu pode verificar que a superfície da Lua era irregular, que o planeta Vênus possuía fases da mesma forma que a Lua, observou os anéis de Saturno, descobriu 4 dos muitos satélites de Júpiter, percebeu que a Via Láctea era composta por um grande número de estrelas, etc.

Luneta ou Telescópio Refrator

A luneta foi descoberta na Holanda e usada por Galileu pela primeira vez para observar o céu. Ela é composta, basicamente, de um tubo, sendo que numa de suas extremidades há uma lente convergente, chamada de Objetiva, que coleta a luz, e na outra uma lente ocular (ou associação de lentes) que serve para ampliar a imagem. O diâmetro da Objetiva se chama Abertura da luneta. O foco da objetiva é o ponto para onde convergem os raios solares. Sua distância até a objetiva se chama de distância focal da objetiva. A razão entre as distâncias focais da objetiva e da ocular definem o Aumento da luneta.

Quando a luz branca atravessa uma lente, ela sofre o efeito de refração diferenciada, também chamada de aberração cromática: cada cor sofre um desvio diferente do desvio sofrido pela outra cor. Assim, a imagem de um objeto esbranquiçado aparece irizado. Para diminuir o efeito da aberração cromática, costuma-se associar duas lentes justapostas para servirem de objetiva. O sistema de lentes é então chamado de Duplete.

¹⁰ <http://www.iag.usp.br/siae98/astroinstrum/modernos.htm>

Figura 15 - Luneta.



<http://www.iag.usp.br/siae98/astroinstrum/modernos.htm>. Acesso em 10 mar. 2017.

Telescópio Refletor

No início do século XVII, Newton propôs substituir a lente coletora por um espelho côncavo que faria o mesmo trabalho: coletar a luz proveniente dos astros e focalizá-la num ponto para poder ser observado pela ocular. Nasceu, assim, o telescópio refletor, baseado em espelhos e não mais em lentes. Pelo menos duas vantagens podem ser citadas a favor dos telescópios refletores quando comparados com os refratores:

- isentos do problema de aberração cromática, pois a luz não atravessa nenhuma lente;
- instrumentos mais baratos, pois um menor número de superfícies ópticas deve ser trabalhado com precisão.

Atualmente, ao invés de se fazer um único grande espelho côncavo, constrói-se diversos espelhos menores e então eles são agrupados lado a lado (como ladrilhos no chão) e orientados por um computador para que trabalhem juntos, como se formassem um único grande espelho. Telescópios com essa características recebem o nome de telescópios de multi-espelhos.

Radiotelescópios

O olho humano só é capaz de perceber radiações que correspondem à faixa visível do espectro eletromagnético. O espectro eletromagnético completo engloba as 'cores' raios-X, o ultra-violeta, o infra-vermelho e as ondas de rádio. Sabemos, hoje, que muitos astros emitem parte de sua energia em forma de ondas de rádio. Para poder estudar melhor tais astros, foram concebidos e construídos os radiotelescópios, que conseguem detectar as ondas na faixa rádio do espectro eletromagnético.

Devido às características das ondas de rádio, os radiotelescópios devem ter dimensões muito maiores do que as dos telescópios que trabalham na faixa visível do espectro. Por isso,

os radiotelescópios costumam ter antenas coletoras de vários metros de diâmetro, chegando a algumas centenas de metros. Os radiotelescópios são os responsáveis pelos estudos de pulsares, quasares, regiões nebulosas ricas em hidrogênio etc.

Telescópios Espaciais

Um dos grandes empecilhos para a melhoria nas imagens obtidas por telescópios baseados em solo terrestre é a atmosfera da Terra. A atmosfera terrestre impõe restrições quanto à quantidade, ao tipo e à qualidade da luz dos astros recebida na Terra. Para eliminar o problema da influência da atmosfera terrestre sobre as observações astronômicas, optou-se por instalar telescópios em satélites artificiais e pô-los em órbita em torno da Terra, numa altura em que a atmosfera terrestre fosse quase que inexistente. Surgiu, assim, uma nova modalidade de estudos astronômicos: a astronomia espacial.

Figura 16 – Telescópio.



<http://www.iag.usp.br/siae98/astroinstrum/modernos.htm>.
Acesso em 10 mar. 2017.

Isentos da interferência da atmosfera terrestre, os telescópios espaciais puderam observar os astros de uma forma totalmente impossível antes do advento da tecnologia espacial. Astros que emitiam 'luz' numa região do espectro que era totalmente absorvida pela nossa atmosfera, agora podiam ser observados e estudados a partir do espaço.

2.3.6 Relatividade do movimento¹¹

A velocidade de uma partícula depende do referencial de quem está observando ou medindo a velocidade. Um referencial é um objeto no qual está fixado um sistema de coordenadas.

¹¹ HALLIDAY, D; RESNICK, R. WALKER, J. *Fundamentos da Física*. Volume 1. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

Quando dois referenciais A e B estão se movendo um em relação ao outro com velocidade constante, a velocidade de uma partícula P, medida por um observador do referencial A, é em geral diferente da velocidade medida por um observador do referencial B. as duas velocidades estão relacionadas através da equação

$$\vec{v}_{PA} = \vec{v}_{PB} + \vec{v}_{BA},$$

onde \vec{v}_{BA} é a velocidade de B em relação a A. Os dois observadores medem a mesma aceleração:

$$\vec{a}_{PA} = \vec{a}_{PB}.$$

Movimento Circular Uniforme

Se uma partícula descreve uma circunferência ou arco de circunferência de raio r com velocidade constante v , trata-se de um movimento circular uniforme. Nesse caso, a partícula possui uma aceleração \vec{a} cujo módulo é dado por

$$a = \frac{v^2}{r}.$$

Esta aceleração se deve a uma força centrípeta \vec{F} cujo módulo é dado por

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

O vetor \vec{a} aponta para o centro da circunferência e é chamado de aceleração centrípeta.

O tempo que a partícula leva para descrever uma circunferência completa é dado por

$$T = \frac{2\pi r}{v}.$$

O parâmetro T é chamado de período de revolução ou, simplesmente, período.

2.3.7 Gravitação Universal¹²

O primeiro enunciado da lei da gravitação universal é: matéria atrai matéria na razão direta de suas massas e na razão inversa do quadrado da distância.

As leis de Kepler apenas descrevem os movimentos planetários, não entrando na discussão referente às suas causas. Analisando esses movimentos, em particular, o da Lua, Newton percebeu que, se a velocidade de um astro em movimento varia, pelo menos em direção, deve existir uma força agindo sobre o astro, produzindo essa mudança de velocidade. Do mesmo modo que um corpo preso a um barbante gira sob a ação de uma força exercida

¹² PIETROCOLA et al. (2015)

através do barbante, a Lua deve descrever seu movimento ao redor da Terra porque nosso planeta exerce uma força sobre ela.

A grande “sacada” de Newton foi perceber que essa força tinha a mesma natureza daquela que faz os corpos caírem sobre a Terra. Em outras palavras, se a Lua não estivesse em movimento, ela cairia sobre a Terra.

As forças determinadas pela atração entre dois corpos, seja as que fazem os corpos caírem sobre a Terra, seja as que garantem os movimentos dos planetas em torno do Sol ou o movimento da Lua em torno da Terra, são genericamente chamadas de forças gravitacionais.

Newton concluiu que as intensidades das forças gravitacionais dependem diretamente das massas dos corpos envolvidos e variam inversamente em relação ao quadrado das distâncias que separa os corpos. Esses resultados constituem a *lei da gravitação universal*, válida para quaisquer corpos materiais e que pode ser enunciada da seguinte forma:

A intensidade da força de atração gravitacional entre dois corpos quaisquer é diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que os separa.

Para efeito de formulação matemática da lei, consideremos dois pontos materiais de massas m e M , separados por uma distância d . A intensidade F da força de atração gravitacional será dada por:

$$F = \frac{G \cdot m \cdot M}{d^2}.$$

A força gravitacional que atua à distância, numa direção que une os corpos ou seus centros, é uma força de campo. Na verdade o que temos é um par de forças, de ação e de reação, uma agindo em cada corpo, que têm a mesma intensidade.

Na fórmula da lei, a constante de proporcionalidade G é chamada de *constante de gravitação universal*. Seu valor não depende da natureza dos corpos envolvidos nem da distância entre eles nem do meio onde estão colocados, sendo

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}.$$

É importante observar que o valor de G é muito pequeno. Por isso, a intensidade da força de atração gravitacional é reduzida quando os corpos que interagem têm massa pequena,

como veículos, pessoas, etc., podendo ser desprezada. Entretanto, quando pelo menos um dos corpos tem massa considerável, a intensidade da força gravitacional adquire valores elevados. É o que acontece no caso de planetas, estrelas, satélites e outros astros.

2.3.8 Leis de Kepler e movimento dos satélites¹³

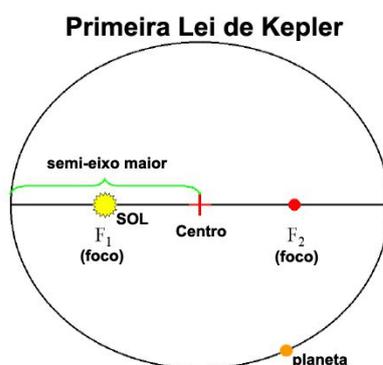
Com a elaboração da teoria da Gravitação Universal, Isaac Newton (1643-1727) forneceu os últimos argumentos que faltavam para a consolidação do sistema heliocêntrico, iniciado havia muito tempo por outros cientistas. Mas, vamos entender melhor as leis que descrevem o movimento planetário determinadas por Kepler.

Em seu trabalho com os dados astronômicos das posições dos planetas, particularmente do planeta Marte, Kepler percebeu que havia três características importantes que descreviam os movimentos dos planetas ao redor do Sol. Essas características foram posteriormente definidas como três leis que levam seu nome.

Primeira lei de Kepler ou lei das órbitas

Sobre esta lei, as órbitas descritas pelos planetas em torno do Sol são representadas por elipses, onde o Sol ocupa um dos focos. Pelo fato de o movimento não ser circular, a distância entre o Sol e o planeta varia com o ponto da trajetória. Isso significa que ora o planeta se encontra mais perto do Sol, ora se encontra mais longe. Entretanto, é importante salientar que as órbitas planetárias são elipses pouco excêntricas, em outras palavras, “atenuadas”, quase excêntricas.

Figura 17 - Primeira lei de Kepler



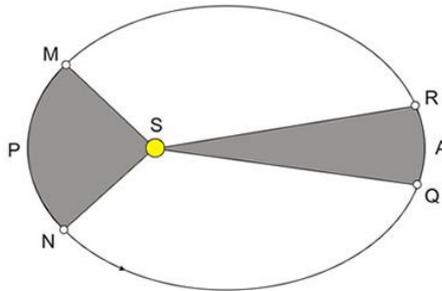
Fonte: PIETROCOLA, et al. (2015)

¹³ PIETROCOLA, et al. (2015)

Segunda lei de Kepler ou lei das áreas

A velocidade dos planetas varia ao longo de sua órbita, de modo que a linha imaginária que une o planeta ao Sol cubra áreas iguais em intervalos de tempos iguais. Essa lei de Kepler indica que a velocidade do planeta muda ao longo de sua órbita. Pode-se chegar a essa conclusão analisando os arcos da elipse descritos pelo astro, pois o planeta percorre distâncias diferentes em intervalos de tempos iguais. Ou seja, o movimento não é uniforme, a velocidade muda a cada instante. No periélio, posição da órbita mais próxima do Sol, o planeta se desloca mais rapidamente, com maior velocidade; no afélio, ponto da órbita mais distante do Sol, ao contrário, sua velocidade diminui.

Figura 18 – Segunda lei de Kepler



Fonte: PIETROCOLA, et al. (2015)

Terceira lei de Kepler ou lei dos períodos

A razão entre o quadrado do período de translação do planeta e o cubo da sua distância média do Sol é constante para todos os planetas. Assim, quanto mais distante um planeta estiver do Sol, maior será seu período de revolução e menor será sua velocidade orbital, conclusão essa obtida também pela segunda lei. Por outro lado, quanto mais perto do Sol o planeta estiver, menor será seu período de revolução. Isso explica, além da variação da velocidade de um planeta ao longo da órbita, o fato de os planetas mais distantes do Sol serem sempre mais lentos em relação. Figura 15: Segunda lei de Kepler.

Considerando T_1 o período de um planeta cuja órbita tem raio médio R_1 , T_2 o período de um planeta cuja órbita tem raio médio R_2 , e assim sucessivamente, podemos escrever:

$$\frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^3} = \dots$$

Assim, o quadrado do período T de translação de um planeta em torno do Sol é diretamente proporcional ao cubo do raio médio R de sua órbita.

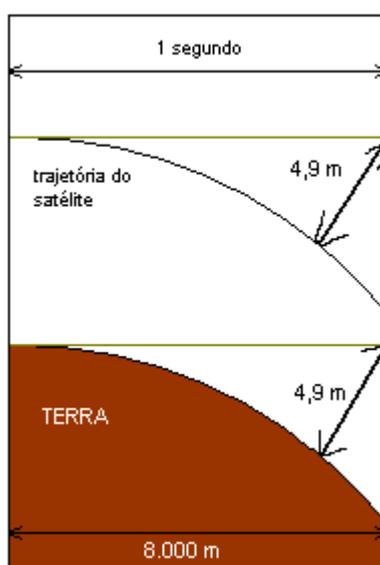
$$T^2 = K \cdot R^3$$

A constante de proporcionalidade K só depende da massa do Sol, não dependendo das características específicas de nenhum planeta.

*Movimento dos Satélites*¹⁴

O movimento da Lua em torno da Terra é semelhante a um bloco movendo-se em círculo em torno de um ponto central. Embora nenhuma corda a prenda, a Lua está sempre em sua órbita. Mas por que a Lua não cai na Terra? Para entender melhor o movimento da Lua, deve-se primeiramente examinar o movimento dos satélites artificiais.

Figura 19 – Movimento dos satélites.



<http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20021/Jorge/movimento%20satelites.html>.
Acesso 10 mar. 2017.

Em 8 km, a Terra se curva 4,9 m para baixo em relação a um plano horizontal tangente ao ponto de origem desses 8 km (figura 14).

No primeiro segundo de vôo, o satélite cai $4,9t^2 = 4,9$ m, isto é, exatamente o mesmo que a Terra se curva em relação ao plano tangente. Por isso, o satélite não estará mais perto nem mais longe da Terra do que estava no segundo anterior.

Este argumento pode ser repetido no próximo segundo e em todos os segundos sucessivos.

¹⁴ <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20021/Jorge/movimento%20satelites.html>

Assim, o satélite nunca atingirá a superfície da Terra embora esteja constantemente caindo tornando-se, de fato, um satélite artificial terrestre.

Supondo que a Terra não tivesse atmosfera, não existiria a resistência do ar e o satélite ficaria permanentemente em órbita. É por isso que 8 km/s é a velocidade crítica para colocar-se um satélite numa órbita muito próxima da superfície da Terra.

O mesmo raciocínio serve para o caso da Lua. É claro que os dados são outros, isto é, a aceleração da gravidade na órbita da Lua em torno da Terra é muito menor do que $9,8 \text{ m/s}^2$ e sua velocidade de translação nessa órbita também é menor ($\sim 1 \text{ km/s}$).

O raciocínio também se aplica aos satélites artificiais de fato existentes, cujas órbitas obviamente se situam em altitudes onde a resistência do ar é desprezível. Mas o satélite não se desloca em linha reta. Ele se desloca sobre uma trajetória curva, frequentemente uma circunferência. A exemplo do que acontece com a esfera que se desloca dentro do aro metálico, deve haver, pois, uma força sendo exercida sobre ele.

Essa força é a atração da Terra sobre o satélite e é a mesma força responsável pela queda livre de uma pedra abandonada de uma certa altura e, neste caso, o movimento se dá em uma linha reta.

Por que a mesma força que atrai a pedra em queda livre é capaz de manter um satélite descrevendo uma circunferência em torno da Terra? A resposta se relaciona com a velocidade. Para colocar-se um satélite em órbita circular a uma determinada distância do centro da Terra, é preciso conferir-lhe uma velocidade de um determinado módulo e de direção tangente à órbita que o satélite descreverá. É claro que o módulo da velocidade depende da distância R entre o ponto de lançamento e o centro da Terra (raio da órbita).

Há, portanto, dois fatores que influem no lançamento do satélite: o raio R da órbita e a velocidade v com que o satélite é lançado. Pode-se demonstrar que o módulo da aceleração da gravidade (g) no ponto da órbita é:

$$g = \frac{v^2}{R}.$$

Isto permite entender o problema do satélite de forma ainda mais completa se o satélite possuir, em certa distância da Terra, a velocidade apropriada, tal que v^2/R seja a aceleração da gravidade nesse ponto, e se essa velocidade for tangente à sua órbita, a aceleração da gravidade o manterá numa órbita circular. Essa aponta sempre para o centro da circunferência e, em cada ponto desta, a velocidade é tangente à curva da trajetória.

De um modo geral, quando um corpo é mantido numa órbita circular com velocidade de módulo constante (seja um satélite, uma pedra amarrada num barbante ou um cubo de gelo girando preso à uma corda sobre uma superfície muito lisa) o módulo da aceleração que causa a mudança da direção da velocidade em cada instante é v^2/R e recebe o nome de *aceleração centrípeta* (a_c) por apontar sempre para o centro da circunferência.

$$a_c = \frac{v^2}{R}$$

Usando a segunda lei de Newton ($F=ma$), concluímos que o módulo da *força centrípeta* (F_C), responsável pela aceleração centrípeta, é

$$F_C = m \cdot a_c = m \cdot \frac{v^2}{R},$$

tendo as mesmas características atribuídas à aceleração. Sendo m a massa do satélite, a força que o mantém em sua órbita é mg , simplesmente o seu peso no ponto de sua órbita que se encontra. No caso da órbita ser circular, esta mesma força é também uma força centrípeta e vale

$$F_C = m \cdot \frac{v^2}{R}.$$

Assim, F_C nada mais é do que a mesma força (o peso) e que é adotado no caso em que ela mantém um satélite em órbita circular. Quando escrevemos

$$m \cdot g = m \cdot \frac{v^2}{R},$$

não podemos esquecer disso. Estamos nos referindo à uma mesma força (o peso) de duas formas diferentes. A "única" força exercida sobre o satélite, conseqüentemente, a responsável pela órbita, é a atração gravitacional da Terra sobre ele. Isto confirma a hipótese feita na parte anterior, quando afirma-se que a relação entre a velocidade de lançamento e o raio da órbita é:

$$g = \frac{v^2}{R}.$$

Portanto, a velocidade de lançamento é

$$v = \sqrt{\frac{g}{R}}.$$

2.4 Aprofundando os conhecimentos

2.4.1 Modelos cosmológicos modernos¹⁵

Desde tempos imemoriais o homem tentou se tranquilizar em relação ao Universo. Inicialmente, através de mitos e lendas, a humanidade elaborou ideias que a permitiram conviver de forma suportável com o universo. Estas visões do universo eram, no entanto, tão variadas e múltiplas quanto a variedade e a multiplicidade de seus criadores.

Até que surgiu uma nova maneira de encarar a natureza, e por extensão, o universo. Esta nova maneira recebe o nome de ciência, e, ao contrário da subjetividade inerente aos mitos e lendas primitivos, é caracterizada pela objetividade. Inicialmente são feitas suposições gerais sobre o objeto de seu estudo, e a partir destas suposições, ou postulados, é elaborada uma teoria científica. A teoria deve explicar os fenômenos aos quais ela pretende se aplicar, e deve fazer previsões de novos fenômenos. As previsões são então testadas através da experiência ou da observação da natureza. Desta forma, uma teoria será comprovada ou não, dependendo dos resultados dos testes.

O estabelecimento da ciência moderna resultou do trabalho de inúmeros pensadores. No caso das ciências exatas, e em particular da física, o primeiro cientista moderno foi sem sombra de dúvida, o grande sábio inglês Isaac Newton (1643-1727). A sua obra marca o início desta maneira rigorosa e objetiva de se estudar a natureza: o método científico.

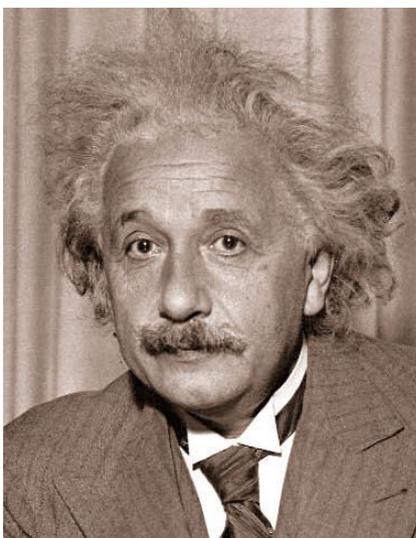
O estudo científico do universo recebe o nome de "cosmologia". Trata-se de uma ramificação da física, ou, mais apropriadamente, da astrofísica. A cosmologia é, portanto, a ciência do universo. O seu fim é entender o universo, e isto inclui a sua formação, a sua evolução e o seu estado presente. Ou seja, responder as definitivas questões: de onde viemos, para onde vamos e onde estamos.

Pode-se afirmar que a cosmologia, como hoje é entendida, teve o seu início em 1917, quando o físico alemão Albert Einstein (1879-1955) propôs o seu modelo do universo. Baseado na Teoria da Relatividade Geral (TRG), de sua autoria, que é uma teoria de gravitação, e na sua percepção do mundo físico, Einstein estabeleceu um modelo do universo

¹⁵ <http://www.fisica.ufmg.br/dsoares/reino/cosmolg.htm>

que, em grande escala, era homogêneo, isotrópico -- em média, o esmo em todas as direções - e estático. A idéia de um universo em expansão, tão popular hoje em dia, e característica principal da cosmologia moderna, não era de forma alguma sequer imaginada.

Figura 20 – Albert Einstein



Fonte: <http://www.fisica.ufmg.br/dsoares/reino/cosmolg.htm>.
Acesso em 10 mar. 2017.

Albert Einstein, o criador da Teoria da Relatividade Geral que, entre outras aplicações, é a base para os modelos da cosmologia moderna.

As soluções das equações da TRG, que possuíam como característica a expansão do universo, foram obtidas pela primeira vez pelo russo Alexander Friedmann (1888-1925), tornadas públicas em artigos científicos datados de 1922 e 1924. Estes trabalhos foram seguidos, de forma independente, pelas pesquisas do cosmólogo belga -- e padre católico -- Georges Lemaître (1894-1966), publicadas em 1927 e 1931, que também resultaram em modelos de universo em expansão. Tais modelos alcançaram projeção no mundo científico a partir da descoberta da relação proporcional entre o chamado "desvio para o vermelho" e a distância -- ou mais precisamente o brilho aparente -- das galáxias. Esta relação, investigada por vários astrônomos, foi estabelecida de forma segura e definitiva em 1929 pelo astrônomo norte-americano Edwin Hubble (1889-1953). Verificara-se observacionalmente, que a luz emitida pelas galáxias possuía comprimentos de onda, cujos valores eram deslocados em direção ao vermelho, no espectro de luz visível -- o desvio para o vermelho --, e a relação, ou lei, de Hubble mostrava que este desvio era proporcional à distância das galáxias. Este tipo de

relação entre comprimento de onda da radiação e distância era exatamente o que era previsto pelas soluções de Friedmann e Lemaître.

A descoberta, ou mais apropriadamente, a invenção do conceito de um universo em expansão decorreu de dois aspectos, a saber, de resultados teóricos e de observações astronômicas. Isto significa, na verdade, que a expansão do universo não é um fato empírico, i.e., deduzido diretamente da observação da natureza, como o é, por exemplo -- e para mencionar um caso estreitamente relacionado à cosmologia --, a existência individualizada das galáxias. O grande astrônomo Edwin Hubble teve aqui também atuação decisiva. Foi ele quem mostrou, de forma brilhante e definitiva, que as chamadas "nebulosas espirais" eram objetos astronômicos independentes de nosso sistema estelar, a galáxia da Via Láctea. A sua descoberta foi baseada inteiramente em relações empíricas, obtidas a partir das observações astronômicas. Quer dizer, as galáxias não foram "inventadas", mas, de fato, descobertas.

Ao se aceitar a expansão do universo, as conseqüências são dramáticas. Uma simples extrapolação temporal da expansão do universo, para épocas passadas, leva a um estado de altas densidade e temperatura, que em princípio não tem limites. E acima de tudo estabelece um início para a história do universo.

Muitos cientistas, contemporâneos destes desenvolvimentos científicos, não aceitaram estas idéias, reputando-as como simplórias e até mesmo repugnantes. Entre eles está o astrofísico e cosmólogo inglês Fred Hoyle (1915-2001).

Fred Hoyle tentou inclusive ridicularizar o modelo de Friedmann-Lemaître apelidando-o de universo do "Big Bang". Que poderíamos traduzir, no mesmo espírito, como o universo do "Estrondão". Muitas vezes, Big Bang é traduzido por "Grande Explosão", o que não é apropriado, já que em inglês, o seu equivalente seria "Great Explosion", e não teria a conotoção jocosa pretendida por Fred Hoyle. Adotaremos, portanto, de agora em diante o termo "Estrondão", quando nos referirmos ao modelo do "Big Bang". Tal atitude pode ser considerada como uma homenagem ao grande teórico inglês, através da preservação de sua intenção ao cunhar o termo.

O nome, no entanto passou a pertencer ao jargão científico, caindo quase no esquecimento as características de ridicularização que o motivaram.

Várias tentativas foram feitas no sentido de se evitar a desconfortável -- do ponto de vista científico -- singularidade, predita no universo do Estrondão. Mencionaremos aqui apenas duas delas.

A primeira, o modelo de Eddington-Lemaître, foi proposto pelo astrofísico teórico inglês Arthur Eddington (1882-1944) e Georges Lemaître, com o fim específico de se evitar a

singularidade -- eufemismo para "fase desconhecida" -- inicial. Neste modelo, a extrapolação temporal para o passado termina num estado inicial com características semelhantes ao universo estático de Einstein. Em todas as outras fases ele é indistinguível do modelo com singularidade.

A segunda tentativa, de caráter mais amplo e revolucionário, foi proposta por Fred Hoyle e colaboradores. Esta segunda tentativa se ramifica em duas, separadas por quase 50 anos. A primeira, denominada "Cosmologia do Estado Estacionário", foi proposta por Hoyle e pelos cientistas Hermann Bondi (1919-2005) e Thomas Gold (1920-2004), em 1948. A segunda surgiu em 1993, após o fracasso da primeira, e foi idealizada por Hoyle, por Geoffrey Burbidge (1925) e pelo físico teórico indiano Jayant Narlikar (1938-), e denomina-se "Cosmologia do Estado Quase Estacionário". A semelhança dos nomes reflete alguns pontos que elas têm em comum.

Em 1948, como visto acima, Hoyle e, independentemente, Bondi e Gold, propõem o modelo do estado estacionário. O universo é homogêneo, isotrópico e infinito espacialmente, e além disso, ao contrário do universo do Estrondão, tem uma idade infinita. O modelo expande-se, como no Estrondão, mas matéria é contínua e uniformemente criada, de forma a garantir a homogeneidade e isotropia. A teoria não indica de que forma a matéria é criada. A violação da lei da conservação da matéria, lei esta implícita na TRG, foi contornada por Hoyle através de um artifício matemático.

A idéia de criação contínua de matéria foi fortemente questionada durante as décadas de 1950 e 1960, anos que se seguiram à sua proposição. Hoyle propôs uma pequena modificação na TRG para permitir a criação de matéria a partir de um "reservatório" de energia negativa. À medida que a matéria é criada, a conservação da energia resulta num reservatório de energia cada vez mais negativo. A expansão do universo, no entanto, mantém a densidade de energia do reservatório e a densidade média da matéria no universo constantes. Daí vem o termo "estacionário" no nome da teoria. Na época em que foi proposta era uma teoria bastante atrativa pois atribuía uma idade infinita ao universo. Isto era uma grande vantagem em relação à teoria do Estrondão, a qual implicava numa idade do universo cerca de dez vezes menor que a idade geológica da Terra!

Esta inconsistência básica foi o principal sustentáculo, durante muitos anos, do modelo do estado estacionário. A situação mudou entretanto na década de 1960. A descoberta da radiação de fundo de microondas, em 1965, pelos norte-americanos Arno Penzias (1933-) e Robert Wilson (1936-), a revisão da estimativa da idade do universo, à luz de novos dados observacionais, a descoberta dos quasares, que de certa forma, implicava num quadro

consistente de evolução de galáxias, e outros desenvolvimentos teóricos, experimentais e observacionais, levaram paulatinamente a um descrédito na teoria do estado estacionário, e o modelo do Estrondão ocupou de vez o cenário cosmológico.

Os modelos do Estrondão, os modelos de Friedmann-Lemaître, tornaram-se definitivamente a base do chamado "modelo cosmológico padrão", que passou a ser conhecido popularmente pelo termo em inglês "Big Bang". Mas o modelo padrão logo revelou-se um celeiro de problemas.

O primeiro deles é a discordância entre os valores predito e observado da densidade de matéria no universo. O valor predito para a matéria "ordinária", aquela que está em nossos corpos e em tudo que observamos na natureza, também denominada "matéria bariônica", decorre do ajuste da teoria, na fase inicial da expansão, e tem por objetivo o cálculo das abundâncias químicas dos elementos de massa pequena, a chamada "nucleossíntese primordial". Estes elementos atômicos, deutério, hélio e lítio, foram sintetizados, de acordo com o modelo, na fase quente e densa do Estrondão e serviram de matéria prima para a formação dos demais elementos, no interior das estrelas. Por outro lado, o valor observado da densidade de matéria é obtido a partir do censo, isto é, da contagem de objetos luminosos (estrelas, galáxias, etc) no universo. A discrepância entre os dois valores, o predito e o observado, é da ordem de um fator de 10! A explicação desta diferença é dada pelos defensores do modelo padrão como sendo devida à presença de "matéria escura". Quer dizer, ela existe mas por ser "escura", não é detectada. A expectativa é a de que, com a melhoria dos métodos e técnicas observacionais, ela será eventualmente detectada.

O segundo problema é causado pela dinâmica das galáxias, ou seja, pelo movimento das galáxias no universo. A rapidez com que as galáxias se movimentam nos aglomerados de galáxias exige que haja matéria que, pelo seu efeito de atração gravitacional, mantenha as galáxias "presas" nos aglomerados, como é de fato observado. Mas esta matéria não pode ser "ordinária", ou bariônica, cujo conteúdo já foi determinado, como descrito acima. Então ela deve ser matéria exótica, não bariônica, e, além do mais, ESCURA! Pois não é observada diretamente, especialmente, porque ainda não se sabe sequer que matéria é esta! Existem muitos candidatos teóricos para ela. Mas por enquanto não há nada estabelecido nesta questão. O modelo padrão requer, então, mais uma componente de matéria escura, e desta vez, nem se sabe o que ela é.

O terceiro problema reside na radiação de fundo de microondas. Esta radiação é, de acordo com a teoria, a manifestação atual da "bola de fogo" inicial do Estrondão. As observações mostram que ela é exageradamente uniforme em intensidade. As flutuações de

densidades observadas hoje na distribuição de galáxias não se conciliam com a homogeneidade da radiação "cósmica" de fundo, a não ser que ajustes artificiais e hipóteses adicionais sejam introduzidos na teoria.

O quarto problema é a "singularidade" inicial. A expansão iniciou-se no desconhecido e no inexplicável ponto onde todas as leis da física, como a conhecemos, não se aplicam. As tentativas teóricas de abordagem desta singularidade são difíceis de serem testadas observacional e experimentalmente.

Teoria do Estado Quase Estacionário

Os problemas delineados acima levaram Fred Hoyle, Geoffrey Burbidge e Jayant Narlikar, em 1993, a propor um novo modelo cosmológico, semelhante à teoria do estado estacionário mas com correções de alguns de seus defeitos. Como na velha teoria, ela prevê a criação contínua de matéria no universo, ao invés da criação de toda a matéria do universo num único evento, como na teoria do Estrondão. Matematicamente, a influência dos inúmeros eventos de criação de matéria é o estabelecimento de uma oscilação cósmica em torno da solução estacionária das equações cosmológicas. Daí o nome "quase estacionária" para a teoria. O universo presentemente está numa época de expansão que será seguida de uma contração, e assim sucessivamente. O período de oscilação é da ordem de 20-30 bilhões de anos. A teoria matemática subjacente é uma pequena modificação da TRG.

Esta nova teoria oferece cenários alternativos aos do modelo padrão para a síntese primordial dos elementos leves -- todos os elementos são formados no interior das estrelas --, para a homogeneidade e isotropia da radiação cósmica de fundo -- resulta da termalização da energia liberada na criação dos elementos leves --, e para a formação da distribuição de galáxias no universo, i.e., da sua estrutura em grande escala -- galáxias são criadas a partir de galáxias pré-existentes.

Em suma, a cosmologia do estado quase estacionário mantém acesa a chama da busca científica por um modelo consistente do universo. O que, diga-se de passagem, ainda não foi atingido.

Resultados observacionais recentes têm levantado novos problemas para o modelo padrão, e, se mostrado consistentes com uma das previsões da teoria do estado quase estacionário.

Trata-se das observações de supernovas -- explosões de estrelas em sua fase terminal --, em galáxias distantes. A partir de observações, realizadas pelo Telescópio Espacial Hubble, de galáxias com supernovas, mostrou-se que este tipo particular de supernovas são excelentes

indicadores de distâncias. O objetivo das observações de supernovas é o de estabelecer a natureza precisa da expansão do universo predita pelo modelo padrão.

Dois grupos de pesquisa americanos usaram amostras de supernovas diferentes e técnicas de análise também diferentes, e chegaram à mesma conclusão: o universo está atualmente em expansão acelerada! O resultado é surpreendente, do ponto de vista dos modelos derivados do paradigma de Friedmann-Lemaître, os quais prevêem universos desacelerados, ou seja, universos em expansão, mas com taxas de expansão progressivamente menores. O modelo padrão pode ser reconciliado com a expansão acelerada desde que haja uma componente energética no universo responsável pela aceleração. Com o fim de se preservar o modelo padrão, recorre-se, então, a esta alternativa energética que forneça a pressão "negativa" necessária à manutenção da expansão acelerada. Esta componente energética recebeu o nome de "energia escura". O termo "escura" do nome é, mais uma vez, o eufemismo astronômico, já tradicional, para "desconhecida". Desconhecida mas não desqualificada. A energia escura tem as seguintes propriedades: sendo escura, não emite luz (i.e., radiação eletromagnética de modo geral), exerce uma grande pressão negativa, e é aproximadamente homogênea (quer dizer, desacoplada da matéria em escalas pelo menos tão grandes quanto de aglomerados de galáxias). Estas propriedades mostram que "energia" é o termo correto para qualificar esta nova componente escura. Ela é portanto qualitativamente bastante diferente da matéria escura.

Concluindo, de acordo com o modelo padrão, e a serem confirmados os resultados das supernovas, teríamos um universo constituído aproximadamente de 2/3 da suposta energia, 1/3 (da suposta) matéria (bariônica e não bariônica) e 1/200 de matéria -- bariônica -- luminosa!

O perfeito entendimento e a detecção destas componentes escuras são vitais para a própria sobrevivência do modelo padrão. Vale a pena ressaltar que, tanto a teoria do estado estacionário quanto a teoria do estado quase estacionário preconizam, desde o início, muito antes dos projetos de supernovas, nada mais, nada menos, que uma expansão acelerada! E assim a cosmologia moderna tateia no ! O Grande Desconhecido permanece ainda por ser desvendado. Como vimos acima, aproximadamente 99,5% do conteúdo do universo é "escuro", ainda desconhecido. Tudo o que existe, tudo o que pode ser observado com nossos olhos e nossos telescópios constitui apenas 0,5% de todo o "universo" da cosmologia do Estrondão.

2.4.2 Teoria do Big Bang¹⁶

Assim como fizeram diversas civilizações ao longo do tempo, a civilização ocidental também buscou formular um modelo para o surgimento do Universo, e várias idéias foram lançadas. O ano de 1912 marcou a descoberta da evidência observacional que originou a teoria do *Big Bang*.

Para a Ciência atual, nós habitamos em um universo dinâmico que cresce. Imagine a seguinte situação: pense em tudo o que você conhece – sua casa, sua cidade, seu país, o planeta Terra, o Sistema Solar, a Via Láctea, os outros bilhões de galáxias com todas as suas estrelas – e comprima tudo isso em um único ponto. Esse ponto seria muitíssimo quente, e muitíssimo denso, e nele não existiria tempo nem espaço. Não se sabe ao certo quais seriam as condições físicas desse ponto, mas nele não haveria matéria como a conhecemos (os astrônomos chamam esse estado de singularidade). De repente, ocorre uma perturbação e são criados o espaço e o tempo, e o conteúdo desse ponto passa a se expandir rapidamente. Com a queda da temperatura, começam a se formar as primeiras partículas e a matéria do Universo que conhecemos hoje. Essa expansão é chamada atualmente de *Big Bang*.

O nome *Big Bang* surgiu de uma brincadeira, uma tentativa de chacota por um de seus opositores mais emblemáticos, o astrofísico Fred Hoyle (1915-2001), em um programa de rádio, em 1950, ele acreditava que o Universo era quase estacionário que, apesar de se expandir, a sua densidade ficaria constante com a criação de matéria a partir do vácuo. Infelizmente, para Hoyle, o termo “pegou” e passou a ser muito utilizado para nomear a teoria à qual se opunha.

A teoria do *Big Bang* tem três pilares de sustentação:

- 1) A expansão do Universo;
- 2) A nucleossíntese primordial, termo que os astrônomos usam para designar a criação da matéria;
- 3) A radiação cósmica de fundo, uma espécie de “eco” da grande quantidade de energia liberada no início do Universo.

A expansão do Universo foi detectada por Slipher e Hubble, em 1912 e 1929. Os trabalhos sobre a nucleossíntese primordial, formação dos primeiros elementos químicos, foram principalmente de autoria de George Gamow (1904-1968). Esse trabalho teórico conseguiu descrever fisicamente o início do Universo com base nas equações da Relatividade

¹⁶ <http://www.fisica.ufmg.br/dsoares/reino/cosmolg.htm>

Geral. Gamow previu a existência de um fundo de radiação desde o início do Universo que, nos dias atuais, deveria se encontrar a determinada temperatura.

A verificação da existência dessa radiação de fundo (e a comprovação do valor de sua temperatura) aconteceu de forma acidental. Em 1964, Arno Penzias (1933) e Robert Wilson (1936) estavam testando uma nova antena com o objetivo de diminuir a interferência do ambiente, quando detectaram um estranho sinal. Esse sinal parecia vir de todas as direções do espaço e era muito baixo. Foi compreendido que esse sinal era uma radiação do espaço. Era uma radiação residual do passado remoto do Universo da época que era muito quente e denso e que, nos dias de hoje, após a expansão, se diluiu e permeia todo o espaço.

*Texto: Uma breve história do Universo*¹⁷

A famosa teoria do *Big Bang*, acredite se quiser, nada diz sobre o *Big Bang* em si. Ela é extremamente eficiente em explicar como o Universo evoluiu desde aquele momento singular até hoje, e extrapolações dela permitem imaginar como o cosmos será daqui a muitos trilhões de anos, mas o chamado instante $t=0$, aquele em que tudo começou, permanece firmemente postado além de nossa compreensão.

A razão disso é que a nossa física hoje é fraturada em dois grandes mundos. De um lado, a teoria quântica, que descreve o funcionamento das coisas muito, muito pequenas, e explica com incrível precisão como funcionam três das quatro grandes forças conhecidas da natureza. São elas: a força nuclear forte, que mantém os prótons grudados dentro dos núcleos atômicos a despeito da repulsão existente entre essas partículas de carga positiva; a força nuclear fraca, que explica certos processos de decaimento radioativo; e a força eletromagnética, que está ligada, como o nome já diz, aos campos elétricos e magnéticos e às propriedades da luz, em suas diferentes variedades (que vão do rádio aos raios gama, passando pelas microondas, pelo infravermelho, pela luz visível, pelo ultravioleta e pelos raios X).

De outro lado, existe uma força que se recusa a receber “tratamento” quântico: a gravidade. Sua melhor explicação teórica hoje vem da teoria da relatividade geral de Einstein, que interpreta os campos gravitacionais como curvaturas num espaço-tempo quadridimensional (composto pelas três dimensões espaciais mais o tempo).

Sendo esta a menos intensa das quatro forças conhecidas (embora seja a que percebemos e compreendemos com maior facilidade), a gravidade se faz sentir mais

¹⁷ NOGUEIRA, S. (2009)

intensamente quando falamos de grandes escalas. Não é à toa que a cosmologia moderna – o estudo do Universo como unidade – nasceu com a teoria einsteiniana, e os sucessos até hoje obtidos na explicação da evolução do cosmos atestam o grande sucesso das ideias do físico alemão.

Ocorre que, quando se fala do *Big Bang* em si, a relatividade não basta. É preciso incluir também as influências geradas pelas outras três forças da natureza, descritas pela mecânica quântica. O drama é que essas duas grandes teorias físicas – a relatividade e a teoria quântica – são incompatíveis entre si. Elas apresentam diferentes perspectivas a respeito da natureza e suas equações são impossíveis de se combinar.

Alguns sucessos parciais no esforço de agrupar a relatividade e a teoria quântica foram obtidos pelo físico britânico Stephen Hawking (1942-), que combinou as duas teorias para explicar, por exemplo, como buracos negros emitem radiação. No entanto, a reunião final de toda a física elementar numa única teoria ainda não aconteceu, de modo que é impossível interpretar exatamente o que ocorreu no *Big Bang*. A busca por essa “teoria de tudo”, que começou com o próprio Einstein, continua, mas, enquanto ela não termina, temos de aceitar que não há arcabouço teórico capaz de nos dizer o que teria acontecido no momento do *Big Bang*.

Em compensação, se passamos por cima disso sem grandes traumas, somos brindados com detalhes riquíssimos sobre a evolução do Universo.

Por exemplo, muito antes que um segundo tivesse decorrido desde o *Big Bang*, sabemos que o cosmos provavelmente sofreu um aumento radical de tamanho, numa velocidade maior que a da luz! Esse processo de crescimento descontrolado e rápido é chamado de inflação, e foi graças a ele que o Universo não voltou a entrar em colapso logo no início, implodindo sobre si mesmo.

Quando a gravidade se deu conta do que estava acontecendo, era tarde demais para reunir toda a matéria e energia no ponto em que ela estava originalmente – o Universo havia nascido.

Ainda assim, naquele momento o cosmos estava muito quente, composto apenas pelas partículas mais simples. Eram os quarks – que hoje existem como componentes dos prótons e nêutrons –, os elétrons – velhos conhecidos –, e os fótons – partículas de luz. Àquela temperatura altíssima do início do Universo, eles não conseguiam combinar uns com os outros. A única coisa que ocorreu naquele momento foi aniquilação de matéria. Assim como surgiram logo de cara os quarks, surgiram também os chamados antiquarks – partículas com propriedades em tudo similares, mas com carga oposta. E para acompanhar os elétrons,

surgiram os antielétrons, também chamados de pósitrons. Quando partículas idênticas de matéria e antimatéria se encontram, elas se destroem mutuamente, produzindo fótons (energia). Foi o que aconteceu naquele momento. As partículas estavam em altíssima temperatura, muito agitadas, e encontravam seu fim ao se chocar com suas antipartículas equivalentes.

Ao final desse processo de aniquilação mútua, havia um mar imenso de fótons e umas poucas partículas de matéria que ficaram sem par – foi delas que o Universo tirou a matéria-prima para construir tudo que apareceu depois.

Note que tudo isso - a inflação e a aniquilação de matéria com antimatéria - aconteceu antes que decorresse o primeiro segundo. Muita ação e emoção para um Universo-bebê!

Até que o primeiro segundo chegou. Conforme a expansão continuava – agora não mais em ritmo inflacionário – a temperatura geral do cosmos baixava. Estava em cerca de 10 bilhões de graus Celsius (aproximadamente mil vezes a temperatura no centro do Sol) quando os quarks remanescentes conseguiram começar a se juntar em prótons e nêutrons. E, durante cerca de três minutos, o Universo iniciou a fabricação de seus principais elementos químicos. Nessa fase, os prótons e nêutrons começaram a se grudar, formando núcleos atômicos. Esse processo, conhecido como fusão nuclear, fabricou muitos núcleos de hélio (compostos por dois prótons e um ou dois nêutrons) e alguns de lítio (com três prótons). Mas três minutos depois a expansão já havia diluído suficientemente o conteúdo do cosmos para interromper o processo. Resultado: de todos os prótons recém-formados pelos *quarks* que sobraram da aniquilação, apenas 25% foram “reprocessados” pela fusão para formar hélio, mais uma quantidade residual de lítio. Uns 75% deles permaneceram intocados, compondo a principal matéria-prima do Universo em evolução, o hidrogênio. Trata-se do núcleo mais simples, composto por um único próton, com ou sem nêutron para acompanhá-lo.

Dali em diante, não muita coisa iria acontecer de imediato. O cosmos continuaria se esfriando, como um mar de elétrons, fótons e núcleos atômicos livres.

A ação só iria voltar a se intensificar dali a 300 mil anos. A temperatura global baixou até uns 3.000 graus, e a essa altura os elétrons já não estavam suficientemente agitados para fugir dos núcleos atômicos – surgiram os primeiros átomos estáveis, com prótons e nêutrons no núcleo e elétrons ao seu redor.

Quando isso aconteceu, foi um ato de libertação para os fótons daquele mar primordial de partículas. Os fótons deixaram de perturbar os elétrons e passaram a circular livremente pelo cosmos.

Diz-se que o Universo se tornou “transparente”, e esses fótons primordiais são exatamente os que são detectados na radiação cósmica de fundo, na forma de microondas. Hoje, observações detalhadas dessas microondas nos dão uma porção de informações sobre como tudo começou. Foi principalmente a partir delas que conseguimos estimar com muita precisão em que momento do passado aconteceu o *Big Bang*. Segundo as últimas observações, feitas com o satélite Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) [Sonda Wilkinson de Anisotropia de Microondas], o Universo hoje tem cerca de 13,7 bilhões de anos.

E o fato de que a radiação vem de todas as direções ajuda a esclarecer um engano muito comum – pensar que o *Big Bang* foi uma explosão no sentido convencional, de onde a matéria e a energia se espalharam por um espaço vazio previamente existente. Não é nada disso. Na verdade, o *Big Bang* aconteceu em todo o Universo, inclusive no lugar em que você está agora. Ocorre que o lugar em que você está agora, 13,7 bilhões de anos atrás, era muito menor, e estava compactado junto com todos os outros lugares do Universo atual. A melhor forma de visualizar esse efeito é imaginar que o Universo inteiro fosse a superfície bidimensional de uma bexiga. Você pode pintar vários pontinhos nesse balão, e, ao inflá-lo, notará que os pontos se afastam uns dos outros – como as galáxias se afastam umas das outras –, mas o Universo continuará sendo o que sempre foi, a superfície da bexiga. Ocorre Figura 1.18. A expansão do Universo pode ser imaginada como uma bexiga sendo inflada, que agora ela está mais esticada, inflada, de modo que as distâncias entre os objetos são maiores. O fato de que a radiação cósmica vem de toda parte ajuda a entender que o *Big Bang* aconteceu em toda parte!

Essas microondas originárias de quando o Universo tinha apenas 300 mil anos também nos dão pistas do que viria depois. Isso porque a radiação é muito homogênea em todas as direções, denotando hoje uma temperatura de cerca de 2,73 Kelvin (cerca de 270 graus Celsius negativos), mas não exatamente; há pequeninas variações, que indicavam uma distribuição ligeiramente heterogênea lá no começo, provavelmente, antes da era inflacionária. Foi dessas “sementes” mais densas que nasceram as primeiras galáxias. A diferença de densidade “facilitou” o trabalho da gravidade mais para frente, repartindo o Universo em regiões relativamente mais ricas em hidrogênio, hélio e lítio, e outras quase completamente vazias.

Berçário das estrelas

As galáxias começaram basicamente como nuvens gasosas, e foi nelas que nasceram as primeiras estrelas. Conforme o gás começa a se agregar por conta da gravidade, passa a se

compactar. A compactação segue em ritmo crescente até que, em seu núcleo, a pressão leva à realização de fusão nuclear – nasce uma estrela. Hoje, na Via Láctea, o Sol é apenas uma de 200 bilhões de estrelas. E a Via Láctea é apenas uma galáxia, de centenas de bilhões existentes só no Universo observável. Ela pertence a um agrupamento de galáxias conhecido como Grupo Local, do qual o maior membro é a galáxia de Andrômeda (também conhecida como M31). Essas galáxias próximas dançam ao redor de um centro de gravidade conjunto, pela força da gravidade, ao longo de bilhões de anos. Por vezes se chocam, dando origem a galáxias maiores.

A Via Láctea, por exemplo, vai colidir com Andrômeda em mais ou menos 6 bilhões de anos. E colisões menores, com as chamadas galáxias-satélites, parecem ocorrer com frequência maior.

Dando um novo salto de escala, descobrimos que o Grupo Local pertence a um conjunto ainda maior de galáxias, chamado de Aglomerado de Virgem. E, saltando mais uma vez, percebemos que o Aglomerado de Virgem está agrupado com outros aglomerados para formar o Superaglomerado de Virgem. Os astrônomos agora investigam para saber se há outro nível de organização, além dos superaglomerados. E olhe que estamos falando apenas do Universo observável, com seus 13,7 bilhões de anos-luz de raio, a contar da Terra! (Como o Universo só tem 13,7 bilhões de anos, a luz mais distante que conseguiu chegar até nós e ser observada só pode ter vindo de uma distância de 13,7 bilhões de anos-luz; 1 ano-luz é a distância que a luz atravessa em um ano, cerca de 9,5 trilhões de quilômetros.) Além disso, segundo a teoria, deve haver muito mais que não podemos ver, meramente, porque ainda não deu tempo!

A teoria do *Big Bang*, com sua incrível sofisticação, deu uma explicação bem interessante sobre a evolução do Universo. Mas um mistério permaneceu. Se tudo que o cosmos fabricou em seu princípio foi hidrogênio, hélio e lítio, de onde vieram os elementos que nos compõem hoje, como carbono, oxigênio e ferro? A resposta tinha de estar em outro lugar, e levou algum tempo para que se descobrisse de onde veio a matéria-prima da Terra e de todas as criaturas que a habitam.

Fábrica de sonhos

A fabricação dos elementos químicos (ou nucleossíntese, como é chamada) começou com o *Big Bang*, mas o mundo seria muito sem graça se só houvesse hidrogênio, hélio e lítio. Felizmente, a arquitetura das estrelas permite a elas complementarem o serviço da “grande explosão”. Foi no núcleo das primeiras estrelas que apareceram os primeiros átomos mais

pesados, como carbono e oxigênio. A fusão nuclear se dá no interior das estrelas primeiro usando o hidrogênio como combustível. Ao cabo de milhões ou bilhões de anos (dependendo do porte da estrela: quanto mais massa, mais rapidamente ela gasta seu combustível), o hidrogênio se torna escasso e ela passa a fundir hélio, convertendo-o em carbono; dali, o carbono será fundido em átomos diversos, como neônio, oxigênio, sódio e magnésio. Finalmente, se tiver massa suficiente, a estrela fundirá esses átomos em ferro.

A fusão é a maneira que as estrelas encontram para defender sua estabilidade. Ao fundir elementos em seu núcleo, elas produzem uma pressão de radiação na direção de dentro para fora, que compensa a pressão exercida por sua própria gravidade, de fora para dentro. Ocorre que, quando se chega no ferro, há um impasse. O processo de fundi-lo, em vez de produzir mais energia, exige que mais energia seja depositada no processo – energia que a estrela não tem de onde tirar. Ou seja, é um beco sem saída para o astro, que, sem poder combater a força da gravidade, implode. Se sua massa for algumas vezes maior que a do Sol, ela explodirá na forma de uma supernova. É o urro final de uma estrela moribunda de grande massa. Após esgotar todas as possibilidades de fazer fusão, ela explode suas camadas exteriores. No instante inicial, ela brilha mais que a galáxia inteira em que reside. Ao longo de dias e semanas, seu brilho se torna mais intenso do que o de todas as estrelas de sua galáxia de origem. É um evento literalmente celestial.

Nesse processo violento são produzidos os elementos mais pesados que o ferro – é da supernova que vem a energia extra requerida para a produção de átomos como os de urânio e plutônio. E o espalhamento desses materiais pelo cosmos após a explosão faz com que aquela região do espaço seja semeada com todos esses elementos pesados. Com o tempo, uma nuvem de gás se condensará ali e dará origem a futuras estrelas, que terão incorporados em si os restos de suas antepassadas. Foi graças a esse processo que o Sol, uma estrela comum pertencente à terceira geração de astros desse tipo, formada cerca de 4,7 bilhões de anos atrás, obteve seus elementos mais pesados.

Da mesma maneira, foi essa presença marcante que permitiu o surgimento de planetas como a Terra, cujo interior é rico em ferro. A vida, como a conhecemos, é baseada em compostos complexos estruturados em cadeias de carbono. Cada átomo de carbono em nossos corpos um dia foi forjado no coração escaldante de uma estrela que nem existe mais.

Com essa assombrosa constatação, a humanidade encontrou um elo profundo com o Universo. Não fosse por todos os processos violentos que têm ocorrido nos cosmos afora nos últimos 13 bilhões de anos, não haveria como estarmos aqui. Fecha-se o elo entre a busca humana por origens e a própria história do Universo.

Como gostava de dizer o astrônomo e divulgador de ciência americano Carl Sagan, “somos todos poeira de estrelas”. Mas, longe de ser o final, este é apenas o começo da aventura.

3 UEPS RADIOATIVIDADE

3.1 Atividade inicial

3.1.1 Estudo de caso

Estudo de caso: Radioatividade

A turma de segundo ano do Ensino Médio está estudando neste bimestre um tema bem curioso, a radioatividade. Daniel, Henrique e Amanda ficaram muito interessados no assunto e começaram a conversar sobre uma reportagem que eles assistiram na televisão sobre um acidente que ocorreu no ano de 2011, no Japão em que um terremoto de 8,9 graus na escala Richter e o tsunami provocaram danos na usina nuclear de Fukushima. Na época vazamentos radioativos foram registrados e um iminente desastre nuclear mobilizou a comunidade internacional. Os níveis de radiação no entorno da usina superaram em oito vezes o limite de segurança, forçando a evacuação da população em um raio de 20 km ao redor da usina.

– *Será que isso pode acontecer aqui no Brasil?* – Perguntou Henrique.

– *Claro que sim! Aqui no Brasil também tem usina... lá em Angra.* – Respondeu Daniel.

– *Esse negócio de radiação é perigoso, né? Quero distância disso...* – Disse Henrique.

– *Será que é tão perigoso assim? Acho que não... o que aconteceu foi um acidente. Acredito que cada vez mais a segurança tem sido reforçada para que isso não aconteça.* – Concluiu Amanda.

– *Sei não, Amanda, ainda tem as bombas atômicas que são feitas disso...* Disse Henrique.

– *É mesmo, Henrique?* Indagou Daniel assustado.

– *Também não é assim, né? A forma pela qual a radioatividade é utilizada depende da decisão do homem. Na natureza, por exemplo, encontramos o Sol cuja energia é de origem nuclear...* – disse Amanda – *além disso, existem várias aplicações da radioatividade, como a conservação de alimentos por irradiação, a datação de fósseis... sem contar os benefícios na medicina para o tratamento de doenças.*

– *É mesmo Amanda? Mas o uso da radioatividade não pode contaminar os alimentos? Perguntou Daniel – e será que quando é usada no tratamento de doenças não piora ainda mais a situação dos pacientes?*

Agora é a sua vez!

1) Você também acha que a irradiação de alimentos pode contaminá-los? Justifique sua resposta.

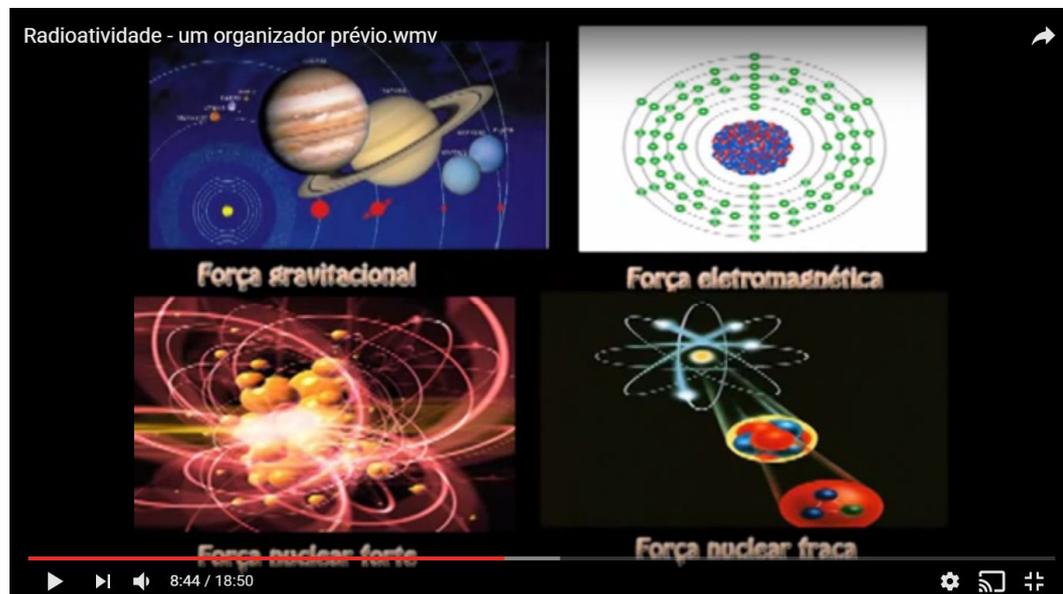
2) E no tratamento das doenças? Será que o uso da radioatividade pode trazer algum dano para os pacientes? Por quê?

3) Qual a sua opinião sobre os benefícios ou malefícios da aplicação da radioatividade em vários segmentos da sociedade?

3.2 Situações-problema

- a) Vários elementos são considerados radioativos, entre eles: césio, urânio e outros. Em sua opinião, o que faz um elemento químico ser radioativo?
- b) Você acha que a radioatividade é prejudicial ao ser humano? Se acha que sim, como você explica o uso dela no tratamento de doenças?
- c) Você já ouviu falar sobre o uso de radiações para conservação de alimentos? Se os alimentos que são irradiados ficam contaminados, por que será que esse procedimento não foi abolido pelos órgãos competentes?
- d) Você considera que a construção de uma usina nuclear pode trazer benefícios para a sociedade? E problemas? Se uma usina nuclear pode trazer problemas para o local onde ela está instalada, por que ela é considerada uma forma de energia com pouco impacto ambiental?

Figura 21 – *Print screen* da tela do vídeo Radioatividade – um organizador prévio.



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=ZMEMNuTUUa0>. Acesso em: 14 nov. 2016.

3.3 Texto inicial¹⁸: A radioatividade e a história do tempo presente



Fábio Merçon e Samantha Viz Quadrat

Com o final da Segunda Guerra Mundial, alguns historiadores se debruçaram sobre a tentativa de explicar o que havia ocorrido com a humanidade nos anos do conflito. Com isto, surgiu o que chamamos de História do Tempo Presente, uma nova corrente historiográfica que se ocupa em analisar os fatos recentes. Nesse sentido, este texto – que traz o ponto de vista dos autores – se insere nessa corrente ao abordar uma questão polêmica: a utilização da energia das reações nucleares a partir da segunda metade do século XX, quando temas como o uso de armas atômicas ou a construção de usinas nucleares foram amplamente debatidos pela opinião pública. Foi uma época na qual os avanços tecnológicos passaram a se refletir em outros campos, como o político, o social, o ecológico e o econômico.

► radioatividade, energia nuclear, século XX ◀

Recebido em 06/03/03; aceito em 13/04/04

Em 1896, o cientista francês Henri Becquerel, ao estudar a relação entre substâncias fosforescentes e os raios X, observou que sais de urânio emitiam um tipo de radiação que impressionava chapas fotográficas. Posteriormente, o casal Pierre e Marie Curie descobriu que outros elementos também emitiam esse tipo de radiação, que foi batizada de radioatividade por Marie Curie (Chasot, 1995). Nas décadas seguintes, pesquisadores como Ernest Rutherford e Frederick Soddy elucidaram diversas propriedades da radioatividade e dos elementos radioativos.

Dentre as pesquisas desenvolvidas, a que proporcionou as mais marcantes aplicações foi a sobre a fissão do urânio. Em 1939, esta foi observada pelos alemães Otto Hahn e Fritz Strassmann e interpretada pela física austríaca Lise Meitner (Figura 1), já radicada na Suécia devido à perseguição dos nazistas. Nesse mesmo ano, o exército

alemão invadiu a Polônia, iniciando a Segunda Guerra Mundial (1939-1945).

Em plena guerra, Niels Bohr foi um dos primeiros cientistas aliados a tomar conhecimento de que os alemães tinham obtido a fissão do urânio. Diante da enorme quantidade de energia liberada nesse processo, Bohr temeu por seu uso em uma arma. Um fato que reforçou suas suspeitas foi uma visita recebida, em

plena Dinamarca ocupada pelos nazistas, de seu colega alemão Werner Heisenberg, que entregou a Bohr um diagrama contendo dados sobre o programa atômico alemão (ver a sugestão de leitura no *Para saber mais*).

Em função da perseguição pelos nazistas, Bohr fugiu para os Estados Unidos, onde encontrou Albert Einstein e advertiu-o que os países do Eixo (Alemanha, Itália e Japão) tinham o conhecimento teórico para a fabricação de uma bomba. Einstein, por

sua vez, alertou o presidente norte-americano Franklin D. Roosevelt.

Posteriormente, países Aliados (Estados Unidos, França e Inglaterra) verificaram que o diagrama era de um reator inadequado. Porém, restou a dúvida se esta seria uma farsa para mascarar os progressos alemães. Segundo o historiador Eric Hobsbawm (1995, p. 509),

Em essência, hoje está claro que a Alemanha nazista não conseguiu fazer uma bomba nuclear não porque os cientistas alemães não soubessem fazê-la, ou não tentassem fazê-la, com diferentes graus de relutância, mas porque a máquina de guerra alemã não quis ou não pôde dedicar-lhe os recursos necessários. Eles abandonaram a tentativa e passaram para o que parecia uma concentração mais efetiva em termos de custos, os foguetes, que prometiam um retorno mais rápido.

Após a rendição da Alemanha, nove dos principais físicos alemães,

A fissão do urânio foi observada por Otto Hahn e Fritz Strassmann, em 1939, e interpretada por Lise Meitner, homenageada pela IUPAC por meio do elemento 109, o meitnério

¹⁸ MERÇON, F.; QUADRAT S. V. A radioatividade e a história do tempo presente. *Química Nova na Escola*, n.19, pp.27-30, 2004.



Figura 1: Lise Meitner (1878-1968), física austríaca que explicou a fissão do urânio, em foto de aproximadamente 1937, em Berlim.

dentre eles W. Heisenberg e O. Hahn, foram mantidos sob custódia na Inglaterra. Gravações secretas das conversas mantidas por esses cientistas indicaram que o programa nuclear nazista não fora capaz de gerar um reator nuclear auto-sustentável e que esses cientistas estavam confusos sobre as diferenças entre um reator e uma bomba atômica (Klotz, 1997).

O Projeto Manhattan

Em 1941, os Estados Unidos entraram na Segunda Guerra Mundial e direcionaram sua economia para uma "guerra industrial", na qual o modo de produção em série, implantado por Henry Ford, foi direcionado para os produtos bélicos (Rémond, 1974). Diante da possibilidade dos alemães desenvolverem a bomba atômica, foi criado o Projeto Manhattan. Com custo estimado em dois bilhões de dólares, esse projeto representou a maior concentração de cientistas já reunida para trabalhar em um só tema (Strathern, 1998). Assim, cientistas de diversas nacionalidades, inclusive refugiados dos regimes nazi-fascistas, passaram a se empenhar na construção da bomba norte-americana.

Logo o investimento trouxe resultados. Em 2 de dezembro de 1942, teve início a "Era Atômica", com a operação do primeiro reator nuclear

na quadra de *squash* da Universidade de Chicago, construído sob a supervisão do físico italiano Enrico Fermi. A conversão da reação controlada no reator em um armamento foi realizada nos laboratórios secretos de Los Alamos (Novo México - EUA), sob o comando de J. Robert Oppenheimer. Em 16 de julho de 1945 foi realizado o primeiro teste com uma bomba atômica no deserto de Alamogordo.

Em função da enorme demonstração de potencial destrutivo, Leo Szilard enviou ao presidente dos EUA uma petição assinada por inúmeros cientistas exigindo o controle internacional das armas atômicas. Segundo Szilard (Strathern, 1998, p. 72):

O maior perigo imediato é a probabilidade de que nossa demonstração de bombas atômicas precipite uma corrida na produção desses artefatos entre os Estados Unidos e a Rússia.

Em 1945, as explosões de duas bombas atômicas levaram à rendição do Japão e ao final da Segunda Guerra Mundial. Em 6 de agosto, cerca de 80 mil pessoas morreram na explosão de uma bomba de urânio em Hiroxima. Três dias depois, outras 40 mil foram vítimas fatais de uma bomba de plutônio em Nagasaki. Esses números indicam as vítimas diretas das explosões, não contabilizando as que vieram a falecer dos males decorrentes da radiação.

A necessidade do uso da bomba é questionada até os dias de hoje. Antes do primeiro teste nuclear, a Alemanha já havia se rendido e a derrota do Japão, apenas com o uso de armamentos convencionais, já era prevista. Entretanto, para os EUA, a bomba representou muito mais do que a vitória na guerra: foi uma demonstração de poder. Segundo o historiador Paulo G.F. Vizentini (2000, p. 199),

As bombas atômicas lançadas sobre um Japão à beira da rendição eram militarmente desnecessárias. Foram, na verdade, uma demonstração de força diante dos soviéticos e dos movimentos de libertação nacional que amadureciam na China, Coréia e países do Sudoeste Asiático.

A Guerra Fria

Como conseqüência da ordem mundial estabelecida no pós-guerra, teve início a Guerra Fria (1947-1989), na qual os EUA e a URSS passaram a disputar a supremacia mundial. Nessa competição, o desenvolvimento tecnológico foi usado como demonstração de prestígio e poder, e tiveram início duas corridas: armamentista e espacial.

Diante da repercussão da bomba atômica, em 1949 os soviéticos exploraram seu primeiro armamento nuclear. O seu programa nuclear, que havia sido interrompido durante os ataques nazistas, foi retomado quan-

do Josef Stalin tomou ciência dos possíveis avanços tecnológicos da Alemanha e dos Estados Unidos.

A capacidade dos soviéticos terem desenvolvido a bomba a partir de seus próprios recursos foi posta em cheque com a prisão de Klaus Fuchs, cientista

alemão que participou do Projeto Manhattan e que confessou ter passado informações do programa atômico norte-americano aos russos. Nos EUA, em plena época do macartismo (a "caça às bruxas comunistas"), o casal Julius e Ethel Rosenberg, intermediários na transmissão das informações fornecidas por Fuchs, foi condenado à morte.

Como os soviéticos já possuíam a bomba atômica, os EUA investiram na criação da bomba de hidrogênio (1952), sendo novamente alcançados pela URSS no ano seguinte. Por sua

Diante da possibilidade dos alemães desenvolverem a bomba atômica, os americanos criaram o Projeto Manhattan. Com custo estimado em dois bilhões de dólares, esse projeto representou a maior concentração de cientistas já reunida para trabalhar em um só tema

vez, na corrida espacial os soviéticos largaram na frente e surpreenderam seus adversários com o lançamento do Sputnik (primeiro satélite artificial – 1957) e a célebre frase “a Terra é azul”, de Yuri Gagarin (primeiro homem em órbita terrestre – 1961). Os Estados Unidos só conseguiram superar a União Soviética em 1969, com a chegada à Lua dos astronautas da Apollo XI.

Com o tempo, outros países dominaram a tecnologia e realizaram seus testes nucleares: Inglaterra (1952), França (1960) e China (1964). À medida que se ampliavam os arsenais nucleares, aumentava o risco de extinção da humanidade em uma guerra nuclear. Esse temor desencadeou a oposição da opinião pública. Campanhas pelo desarmamento e pelo fim dos testes nucleares foram lançadas em todas as partes do mundo.

Em meio a incontáveis conferências, diversos tratados antinucleares foram assinados e, muitas vezes, desrespeitados. Somente com o final da Guerra Fria e a desestruturação da União Soviética (1989), o receio do holocausto nuclear foi temporariamente amenizado.

As usinas e os acidentes nucleares

Na década de 50, o aproveitamento racional da energia nuclear possibilitou a criação das usinas nucleares. Segundo Goldemberg (1998, p. 100),

o uso da potência nuclear para a produção de eletricidade foi um subproduto do desenvolvimento dos reatores nucleares com fins militares durante e após a Segunda Guerra Mundial.

As usinas nucleares surgiram como uma fonte poderosa para atender à demanda de energia; não requeriam características geográficas específicas ou áreas extensas (como as hidrelétricas) e não utilizavam combustíveis fósseis ou poluíam a atmosfera (como as termelétricas). Mas havia os altos custos de construção e manutenção, os riscos de acidentes e os perigosos rejeitos radioativos. Na década de 80, o medo de um holocausto nuclear foi desviado das bom-

bas para acidentes nas centenas de usinas espalhadas pelo mundo.

Dois acidentes foram decisivos para o questionamento da segurança nessas usinas. O primeiro ocorreu em Three-Mile Island (EUA), em 1979, onde uma falha no sistema de refrigeração acarretou a liberação de uma quantidade de radioatividade. A rápida evacuação da população ao redor da usina evitou a ocorrência de vítimas fatais.

Em 1986, em Chernobyl (Ucrânia – URSS), o descontrole da reação provocou um incêndio no núcleo do reator e conseqüente liberação de grande quantidade de material radioativo na atmosfera. Faltando um edifício protetor, a nuvem radioativa espalhou-se pela Europa e contaminou plantações, animais e seres humanos. Os países ocidentais só tomaram ciência do acidente quando a radiação liberada acionou os alarmes de uma usina nuclear sueca, situada a 2 mil km de distância. Com o intuito de poupar seu prestígio tecnológico, o governo soviético só admitiu o acidente 48 horas após o ocorrido, fato que acabou por retardar a ajuda internacional. Devido ao lançamento de isótopos radioativos de iodo na atmosfera, na década de 1990 verificou-se um aumento substancial na incidência de câncer de tireóide em crianças nas regiões próximas ao local do acidente, na Ucrânia e em Belarus (Stone, 2001).

Em função de mobilizações populares, muitos países começaram a desativar seus programas nucleares. Nos EUA, depois de Three-Mile Island, 21 dos 125 reatores foram desligados. Na Europa, após Chernobyl, apenas três reatores foram inaugurados.

Mesmo com todos esses esforços, chegou-se ao final do século XX com 130 mil toneladas de lixo nuclear. Devido à contínua emissão de radiação, esse material deve ser isolado até que a radiação atinja níveis tole-

ráveis, o que pode levar alguns milênios. Desta forma, os atuais locais de armazenamento (minas, montanhas e subterrâneos) demonstram-se inseguros devido às incertezas quanto às condições geológicas no longo prazo (Helene, 1996).

No Brasil, a energia nuclear também foi alvo de investimentos, que culminaram com a implantação de um complexo nuclear em Angra dos Reis (RJ), durante o regime militar. Após 23 anos de obras e um custo cinco vezes maior que o previsto, as duas primeiras unidades (Angra I e II, pois Angra III ainda está em construção) geram

2% da energia elétrica nacional.

Em 1987, o Brasil entrou para a lista dos acidentes radioativos. Em Goiânia, dois catadores de lixo encontraram uma cápsula contendo césio-137 abandonada em um hospital desativado e venderam-na para um ferrolheiro. O rompimento da blindagem protetora acarretou a liberação do material radioativo. Por desconhecimento da população, a livre manipulação contaminou várias dezenas de pessoas, das quais quatro faleceram nos dias seguintes. Nos anos subsequentes, várias outras vítimas faleceram como resultado da exposição à radiação do césio.

Considerações finais

As aplicações das reações nucleares afetaram profundamente a sociedade nas décadas finais do século XX. Ao analisar as contribuições das ciências para a sociedade, Hobsbawm (1995, p. 504) afirmou que

nenhum período da história foi mais penetrado pelas ciências naturais nem mais dependente delas do que o século XX. Contudo, nenhum período, desde a retratação de Galileu, se sentiu menos à vontade com elas.

No início do século XXI, a energia

As usinas nucleares surgiram, na década de 50, como uma fonte poderosa para atender à demanda de energia; não requeriam características geográficas específicas ou áreas extensas (como as hidrelétricas) e não utilizavam combustíveis fósseis ou poluíam a atmosfera (como as termelétricas)

nuclear ainda se faz presente. As usinas respondem por 16% da energia elétrica mundial e as bombas, agora englobadas nas armas de destruição em massa, estão nas concepções bélicas de países como Israel, Índia, Paquistão e Coreia do Norte. Entretanto, é importante destacar as aplicações pacíficas da radiação, tais como: diagnóstico de doenças, esterilização de equipamentos, preservação de alimentos, datação de fósseis e artefatos históricos e uso de traçadores radioativos.

Todavia, com a diminuição dos riscos nucleares, esse tema passou a

ocupar um espaço cada vez menor na mídia e, conseqüentemente, nas discussões cotidianas. O foco ético das discussões científicas foi transferido para a genética e temas como clonagem, DNA e alimentos transgênicos foram incorporados ao nosso dia-a-dia. Um exemplo está no personagem Homem-Aranha (criado por Stan Lee e Steve Ditko) que ao ser concebido, em plena Guerra Fria (1962), obteve seus poderes ao ser picado por uma aranha radioativa. Em 2000, foi proposto um novo começo, mais adequado aos jovens do século XXI: os poderes do herói vieram de

uma aranha geneticamente modificada.

Fábio Mercon (mercon@uerj.br), licenciado em Química e engenheiro químico pela Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ), doutor em Ciências (Engenharia Química) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), é docente do Departamento de Ciências da Natureza do Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira da UERJ e do Departamento de Tecnologia dos Processos Bioquímicos do Instituto de Química da UERJ (IQ-UERJ). **Samantha Viz Quadrat** (squadrat@zipmail.com.br), historiadora pela Universidade Federal Fluminense (UFF), mestre em História pela UFRJ e doutoranda (bolsista do CNPq) no Programa de Pós-Graduação em História da UFF, é coordenadora do Núcleo de Estudos Contemporâneos da UFF.

Referências bibliográficas

CHASSOT, A.I. Raios X e radioatividade. *Química Nova na Escola*, n. 2, p. 19-22, 1995.

GOLDEMBERG, J. *Energia, meio ambiente & desenvolvimento*. Trad. A. Koch. São Paulo: Editora da USP, 1998.

HELENE, M.E.M. *A radioatividade e o lixo nuclear*. São Paulo: Scipione, 1996.

HOBBSAWM, E.J. *Era dos extremos O breve século XX: 1914 - 1991*. 2ª ed. Trad. M. Santarrita. São Paulo: Companhia das Letras, 1995.

KLOTZ, I.M. Captives of their fantasies: the german atomic bomb scientists. *J. Chem. Educ.*, v. 74, p. 204-209, 1997.

RÉMOND, R. *O século XX. De 1914 aos nossos dias*. Trad. O.M. Cajado. São Paulo: Cultrix, 1974.

STONE, R. Living in the shadow of Chernobyl. *Science*, v. 292, p. 420-426, 2001.

STRATHERN, P. *Oppenheimer e a bomba atômica*. Trad. M.H. Geordane. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1998.

VIZENTINI, P.G.F. A Guerra Fria. Em: REIS FILHO, D.A. (Org.). *O Século XX*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2000.

Para saber mais

HERSEY, J. *Hiroshima*. Trad. H. Feist. São Paulo: Companhia das Letras, 2002. Esta obra relata a trajetória de seis sobreviventes ao ataque nuclear norte-americano, desde o dia do bombardeio até 40 anos mais tarde.

Peça teatral

Copenhagen, peça teatral de Michael

Frays, no Brasil apresentada pelo grupo Amaná-Key, Desenvolvimento & Educação. Na peça, que pode ser considerada como quase uma aula de História e Filosofia das Ciências, três personagens (Niels Bohr, sua mulher Margarethe Bohr e Werner Heisenberg) se encontram em Copenhagen, às vésperas do lançamento das bombas atômicas pelos Estados Unidos, e discutem as possibilidades da Alemanha também produzir esse armamento.

Na Internet

Associação Brasileira de Energia Nuclear (ABEN), <http://www.aben.com.br>.

Comissão Nacional de Energia Nuclear (CENEN), <http://www.cnen.gov.br>.

Abstract: *Radioactivity and the Present-Time History* - With the end of World War Two, some historians dedicated themselves to the effort of explaining what had occurred with mankind in the years of the conflict. Hence, what is known as Present-Time History arose, a new historiographic current devoted to the analysis of recent facts. In this sense, this text - that brings forward the point of view of the authors - is inserted in this current, treating a polemic question: the usage of the energy from nuclear reactions starting from the second half of the 20th century, when themes such as the use of atomic arms or the construction of nuclear power plants were widely debated by the public. This was a time in which the technological advancements started to be reflected in other fields, such as the political, the social, the ecological and the economical.

Keywords: radioactivity, nuclear energy, 20th century

Nota

Assessores QNesc - 2003

Gostaríamos de agradecer aos assessores que colaboraram, ao longo de 2003, emitindo pareceres sobre os artigos submetidos para publicação em *Química Nova na Escola*:

Adhemar C. Rívolo Filho – DQ/UFSCar
Aécio P. Chagas – IQ/Unicamp
Agustina Echeverría – IQ/UFMG
Alice R.C. Lopes – FE/UERJ e UFRJ
Attico I. Chassot – Unisinos
Bernardo J. de Oliveira – UFMG
Carlos A.L. Filgueiras – IQ/UFRJ
Carlos A. Montanari – UFMG
Carol H. Collins – IQ/Unicamp
Ceclia Lalue – IQ/UNESP
Eduardo B. Azevedo – UERJ
Eduardo F. Mortimer – FE/UFMG

Eduardo Peixoto – IQ/USP
Elizabeth Macedo – FE/UERJ
Fátima K.D. de Lacerda – IQ/UERJ
Francisco C. Biaggio – Faenquill
Hélio A. Duarte – UFMG
Henrique E. Toma – IQ/USP
Irene de Mello – UFMT
Joana Mara T. Santos – IQ/UERJ
João B. Fernandes – DQ/UFSCar
José Cláudio Del Pino – IQ/UFRGS
Julio C. F. Lisboa – Gepeq/USP
Lenir B. Zanoni – Unijuí
Ligia M. M. Valente – IQ/UFRJ
Luiz Henrique Ferreira – DQ/UFSCar
Marcelo Giordan – FE/USP
Marcia S. Ferreira – FE/UFRJ
Marco-Aurelio De Paoli – IQ/Unicamp
Marco Antonio Moreira – IF/UFRGS

Maria Emília C. Lima – UFMG
Maria Inês P. Rosa – FE/Unicamp
Murilo C. Leal – FUNREI
Orlando Aguiar Jr. – FE/UFMG
Otávio A. Maldaner – Unijuí
Pedro C. Pinto Neto – Unicamp
Per Christian Braathen – DQ/UFV
Quézia B. Cass – DQ/UFSCar
Reinaldo C. Silva – Cefet-SC
Renato José de Oliveira – FE/UFRJ
Ricardo Ferreira – UFPE
Roberta Ziolli – PUC/RJ
Roberto R. da Silva – IQ/UnB
Rochel M. Lago – UFMG
Romeu C. Rocha Filho – DQ/UFSCar
Roseli P. Schnetzler – FE/Unimep
Wildson L. P. dos Santos – IQ/UnB

3.4 Introdução aos conceitos fundamentais

3.4.1 Descoberta da radioatividade¹⁹

Figura 22 – *Print screen* da tela do vídeo Descoberta da radioatividade.



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=XJyxvUz-qkk>. Acesso em: 14 nov. 2016.

Figura 23 – *Print screen* da tela do vídeo Pontociência – o experimento de Becquerel.



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=Do-p-GdWUc0>. Acesso em: 14 nov. 2016.

¹⁹ FELTRE, Ricardo. *Química*. 6 ed. Vol. 1 - Química Geral. São Paulo: Moderna, 2004

Figura 24 – *Print screen* da tela do vídeo Pontociência – alfa e beta: dois tipos de radiação.



Fonte: <http://www.youtube.com/watch?v=NOW0yGgvMmI>. Acesso em: 14 nov. 2016.

Em 1896, o cientista francês Henri Becquerel descobriu que o elemento químico urânio emitia radiações semelhantes, em certos aspectos aos raios X. Esse fenômeno passou a ser conhecido como radioatividade. Posteriormente, o casal Curie descobriu radioatividade ainda mais forte nos elementos químicos polônio e rádio. Em 1898, Ernest Rutherford verificou que algumas emissões radioativas se subdividiam, quando submetidas a um campo elétrico. Desconfiou-se então de que as radiações α seriam formadas por partículas positivas (pois são atraídas pelo pólo negativo) e mais pesadas (pois desviam menos); as partículas β seriam partículas negativas e mais lentas, e as radiações γ não teriam massa (o que só foi explicado mais tarde).

Refletindo sobre esse fenômeno, podemos concluir o seguinte: se a matéria é eletricamente neutra, seus átomos são, obrigatoriamente, neutros; conseqüentemente, a saída de partículas elétricas só será possível se esses átomos estiverem sofrendo alguma divisão.

Atualmente a radioatividade é muito usada em vários ramos da atividade humana. Em medicina, por exemplo, materiais radioativos são usados na detecção de doenças do coração, da tireóide, do cérebro etc, e também em certos tratamentos, especialmente do câncer.

3.4.2 Núcleo atômico²⁰

No modelo de Rutherford, o átomo não poderia ser uma estrutura estável. Os elétrons ao emitirem radiação por estarem acelerados em torno do núcleo perderiam energia e colapsariam. Nesse modelo, havia outro problema de estabilidade ligado ao núcleo do átomo. Como os prótons poderiam estar coesos em uma dimensão tão pequena se a força elétrica de repulsão entre eles era bem intensa?

O modelo de Bohr por sua vez garantiu a estabilidade dos elétrons girando em órbitas estacionárias ao redor do núcleo positivo. Mas e a estabilidade do núcleo? Nele só há cargas positivas! Um próton deve repelir bruscamente outro próton. Imagine um átomo como o oxigênio, que tem 8 prótons e 8 nêutrons em seu núcleo. Os prótons todos muito juntos devem se repelir fortemente.

Os físicos lançaram mão de outra força de interação fundamental na matéria: a força (nuclear) forte ou interação forte. Essa força age entre as partículas constituintes do núcleo, os prótons e os nêutrons, chamadas também genericamente de núcleons, por estarem presentes nos núcleos. Diferentemente de outras interações, a gravitacional, a elétrica e a magnética, a interação forte é muito intensa, mas de curtíssimo alcance. Sendo sempre atrativa, consegue manter os núcleons fortemente atraídos.

Qual o tamanho de um núcleo? A força nuclear forte é a grande responsável por determinar a dimensão do núcleo. Se imaginamos que os núcleons se atraem mútua e fortemente por causa da força forte, podemos admitir a sua força esférica. Os experimentos revelam que o raio r do núcleo depende do número de massa A , soma do número de prótons e nêutrons, e pode ser determinado aproximadamente pela seguinte expressão:

$$r = 1,2 \cdot 10^{-15} \sqrt[3]{A}$$

Para que um núcleo seja estável, é preciso que a repulsão elétrica entre os prótons seja compensada pela atração nuclear entre eles e os nêutrons. Para núcleos pequenos, em geral, a estabilidade é garantida com um número de nêutrons igual ao número de prótons (o hidrogênio foge à regra, por ter apenas um próton em seu núcleo). Para núcleos maiores, o aumento do número Z de prótons deve ser acompanhado de um aumento maior do número N de nêutrons para que a estabilidade seja mantida. Há cerca de 260 núcleos de átomos estáveis

²⁰ PIETROCOLA, Maurício. *Física: conceitos e contextos*. Vol.3. 1 ed. São Paulo: FTD, 2013.

e centenas de outros núcleos instáveis. Em Física, usamos uma representação gráfica útil que relaciona o número de nêutrons N em função do número de prótons Z :

$$A = Z + N$$

*Construção de um modelo de núcleo atômico*²¹

Materiais:

- 14 bolinhas de isopor com diâmetro de aproximadamente 5 cm;
- Molas espirais utilizadas para encadernação, com 6 cm de comprimento;
- Caneta hidrocor;
- Fita adesiva;

Montagem:

Com a caneta hidrocor, identifique 7 bolinhas com uma letra **P** (próton) e as outras 7 com a letra **N** (nêutron).

Assim como o núcleo atômico, nossas bolinhas devem ser organizadas de modo que fiquem grudadas umas nas outras de modo estável e coeso. Para isso, vamos representar as interações entre os núcleons da seguinte forma:

I) Força forte: viabiliza a existência do núcleo. Será representada pelas fitas adesivas entre as partículas que precisam ser unidas: prótons e prótons, prótons e nêutrons, nêutrons e nêutrons. Deve ser utilizado apenas um pequeno pedaço de fita adesiva em cada bolinha para grudar uma à outra.

II) Força elétrica: a força de repulsão entre as cargas elétricas, no caso, os prótons, será representada por uma mola colocada entre eles. A mola deverá ser comprimida para que possamos grudá-la entre as duas bolinhas que representam os prótons. Ela não será utilizada para a ligação representativa entre dois nêutrons ou entre um nêutron e um próton, pois não há repulsão entre esses pares de partículas.

Durante a montagem de nosso núcleo, conte quantas bolinhas você consegue associar de maneira coesa e estável. Na montagem do núcleo atômico, investigue as seguintes situações:

- É possível montar um núcleo apenas com prótons?

²¹ GURGEL, Ivã. NUPIC/ Faculdade de Educação – USP. In: PIETROCOLA, Maurício. *Física: conceitos e contextos*. Vol.3. 1 ed. São Paulo: FTD, 2013.

- E com a mesma quantidade de prótons e nêutrons?
- E com mais nêutrons que prótons?

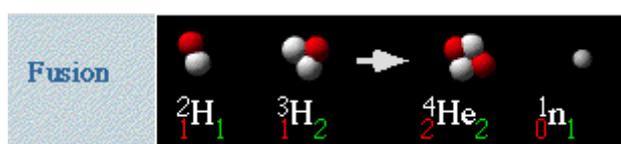
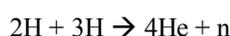
Nesse procedimento e com base na reflexão das perguntas feitas, você deve ter notado que a montagem com apenas prótons não é possível, pois é instável e não é coesa. A montagem do núcleo fica mais fácil, estável e coesa com a mesma quantidade de prótons e nêutrons.

Como a montagem é mais estável com a maior quantidade de nêutrons, podemos notar a importância dessa partícula na estabilidade do núcleo atômico. Os nêutrons não têm carga elétrica e não repele o próton, mas interage por meio da força forte e contribui para a atração entre os núcleons. Nas montagens feitas, os nêutrons se ligaram sem uma mola repulsiva entre eles, o que contribuiu para a estabilidade do modelo.

3.4.3 Fusão nuclear²²

A fusão nuclear é um processo em que dois núcleos se combinam para formar um único núcleo, mais pesado. Um exemplo importante de reações de fusão é o processo de produção de energia no sol, e das bombas termonucleares (bomba de hidrogênio). Em futuros reatores de fusão nuclear a reação entre dois diferentes isótopos de hidrogênio produzindo hélio deverá ser utilizada para produção abundante de energia.

Figura 25 - Fusão nuclear



<http://portal.if.usp.br/fnc/pt-br/pagina-de-livro/fusão>. Acesso 13 abr 2017.

Esta reação libera uma quantidade de energia mais de um milhão de vezes maior que a que temos em uma típica reação química, como a queima de gás de cozinha. Esta enorme quantidade de energia é liberada nas reações de fusão porque quando dois núcleos leves se fundem, a massa do núcleo produzido é menor que a soma das massas dos núcleos iniciais. Mais uma vez, a equação de Einstein $E=mc^2$, explica que a massa perdida é convertida em energia, carregada pelo produto da fusão. Embora a fusão seja um processo energeticamente favorável (exotérmico) para núcleos leves, ele não ocorre naturalmente aqui na Terra, devido

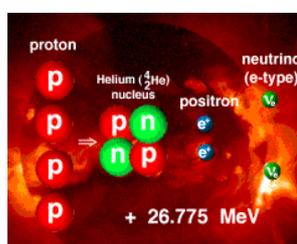
²² <http://portal.if.usp.br/fnc/pt-br/pagina-de-livro/fusão>

as dificuldades naturais para se aproximar os reagentes (devido a repulsão eletrostática entre os dois núcleos) para que as forças nucleares possam atuar.

Reações de fusão estão acontecendo por bilhões de anos no universo. De fato, as reações de fusão são responsáveis pela produção de energia na maioria das estrelas, incluindo o nosso sol. Cientistas na Terra foram capazes de produzir reações de fusão nuclear somente nos últimos 60 anos.

Fusão entre núcleos mais pesados são produzidas, em pequenas quantidades, corriqueiramente em aceleradores de partículas. Podemos dizer que a fusão nuclear é a base de nossas vidas, uma vez que a energia solar, produzida por esse processo é indispensável para a manutenção da vida na Terra.

Figura 26 - Fusão nuclear.



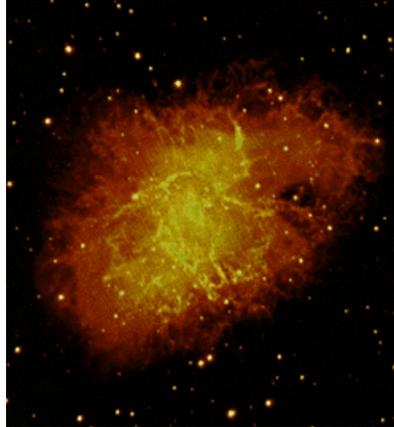
<http://portal.if.usp.br/fnc/pt-br/pagina-de-livro/fusao>. Acesso 13 abr 2017.

Quando uma estrela é formada, ela consiste inicialmente de hidrogênio e hélio criados no Big-Bang, o processo que deu origem ao universo. Devido o enorme campo gravitacional, átomos de hidrogênio na estrela colidem e fundem formando núcleos de hélio. Posteriormente o hélio, colidindo com o hidrogênio e outros núcleos de hélio, vai dando origem aos elementos mais pesados. Essas reações continuam, até que o núcleo de ferro é formado (número de massa cerca de 60).

A partir do Fe (ferro), não ocorre mais fusão na estrela pois o processo passa a ser energeticamente desfavorável. Quando uma estrela converteu uma apreciável fração de seu hidrogênio e hélio em elementos mais pesados, ela passa para a etapa final de sua vida. Algumas estrelas passam a se contrair, numa bola constituída em grande parte de ferro. Entretanto, se a massa da estrela for suficientemente grande, uma tremenda, violenta e brilhante explosão pode ocorrer.

A estrela subitamente se expande e produz, num pequeno intervalo de tempo, mais energia que o sol irá produzir em toda sua vida. Quando isso ocorre, dizemos que a estrela se tornou uma supernova. Quando a estrela está na fase supernova, muitas reações nucleares importantes acontecem.

Figura 27 – Supernova.

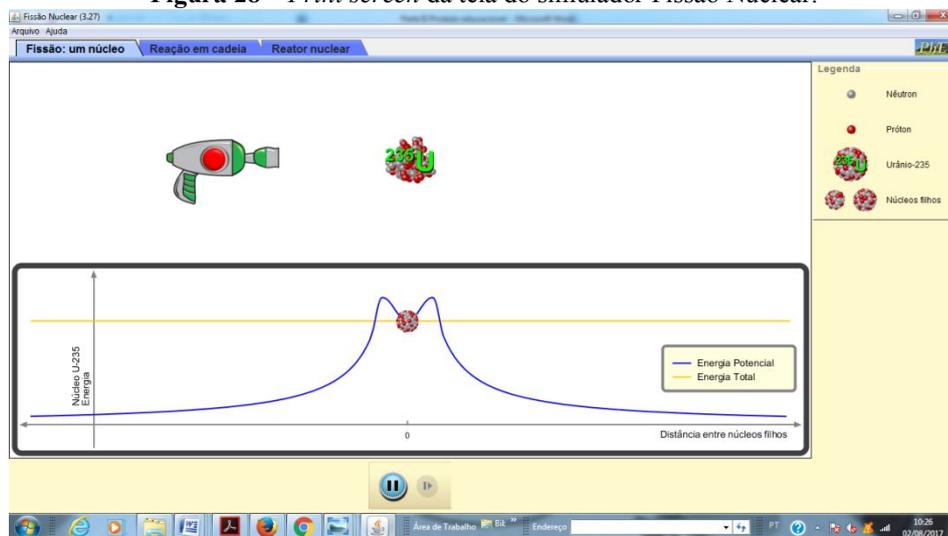


<http://portal.if.usp.br/fnc/pt-br/pagina-de-livro/fusão>. Acesso 13 abr 2017.

Na explosão, os núcleos são acelerados a velocidades muito maiores que as que eles normalmente tinham na estrela. Na nova condição, os núcleos em alta velocidade colidem e podem agora fundir, produzindo os elementos com massa maior que a do ferro. A energia extra vinda da explosão é necessária para superar a enorme força repulsiva entre os núcleos devido a carga elétrica nuclear. Elementos como chumbo, ouro e prata encontrados na Terra foram antes restos da explosão de uma supernova. O ferro que encontramos em grande parte da superfície da Terra, bem como em seu núcleo deriva-se tanto de restos de supernovas quanto de estrelas mortas.

3.4.4 Fissão nuclear²³

Figura 28 – Print screen da tela do simulador Fissão Nuclear.



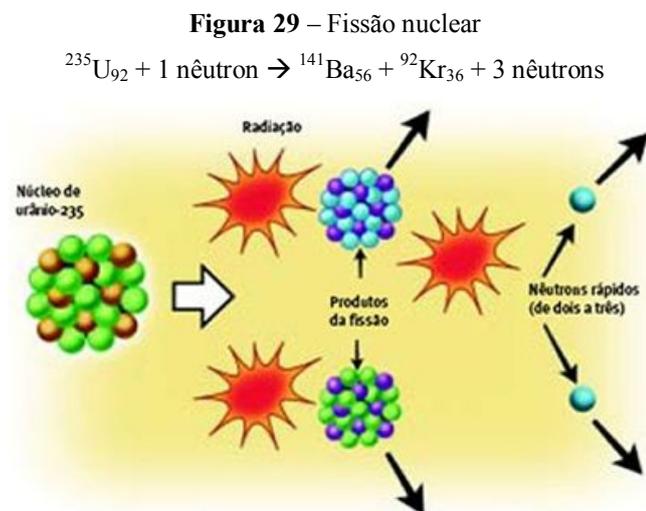
Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/nuclear-fission. Acesso em: 14 nov. 2016.

²³ PIETROCOLA, Maurício. *Física: conceitos e contextos*. Vol.3. 1 ed. São Paulo: FTD, 2013.

No caso das estrelas, e em particular do Sol, vimos que os átomos de hidrogênio e de outros elementos leves como hélio, carbono e oxigênio, combinam-se em um processo chamado *fusão nuclear* e irradiam luz e calor. Nas reações de *fissão nuclear*, como ocorre nas usinas, temos o oposto: em vez de fundir, existe a quebra de átomos mais pesados, formados por muitos núcleons. Tanto na fusão como na fissão existe uma diminuição de massa do núcleo que é transformada em energia.

A fissão nuclear foi descoberta pelos físicos alemães Otto Hahn (1879-1968) e Fritz Strassmann (1902-1980) e nomeada pelo biólogo americano William A. Arnold pela associação com os processos biológicos de divisão celular.

A comunicação da fissão foi apresentada no dia 22 de dezembro de 1938. Um ano mais tarde, Niels Bohr e o físico estadunidense John A. Wheeler (1911-2008) desenvolveram a teoria da fissão. Uma das possíveis reações de fissão do urânio é a seguinte:



Fonte: GONÇALVES; ALMEIDA (2005)

A presença do bário, fragmento da fissão, foi identificada como produto do bombardeamento do urânio por nêutron. Esse processo é denominado fissão induzida por nêutrons.

Nesse caso, o átomo de urânio foi quebrado em duas partes: um átomo de bário e um átomo de criptônio. Nessa reação há a produção de $3 \cdot 10^{-11}$ J, o que equivale à perda de 0,215 u.m.a ou o equivalente a $35,7 \cdot 10^{-26}$ g. Também há produção de muita energia a partir do uso de uma pequena quantidade de combustível nuclear.

Nessa reação, o urânio teve de ser bombardeado com nêutrons para poder se dividir. Não imagine a quebra do urânio como um impacto do nêutron, como acontece com uma vidraça sendo espatifada por uma pedra. O processo ocorre por causa da instabilidade gerada no núcleo do urânio ao receber um nêutron adicional.

Existem átomos que possuem núcleos instáveis por natureza. A fissão espontânea é muito rara; por exemplo, a fissão espontânea do urânio-238 (^{238}U) tem meia-vida igual a 10^{16} anos.

A compreensão do mecanismo da fissão nuclear e de como controlá-la foi rapidamente aplicada à construção de usinas nucleares. Nesse tipo de usina nuclear, a reação de fissão urânio-235 não contém apenas um átomo, ocorre o que chamamos *reação em cadeia*. A partir do momento em que um átomo se fissiona e libera mais nêutrons, estes reagem com outros átomos de urânio da amostra que também se fissionam. Quase instantaneamente uma grande quantidade de energia é gerada pela fissão nuclear.

Enquanto esse procedimento é incontrolável em uma bomba atômica, nas usinas há maneiras de controlar o número de fissões por segundo pela inserção de hastes de comando feitas de cádmio e boro, materiais que absorvem nêutrons. A estrutura de detenção, em geral construída de espessas paredes de concreto e barras de chumbo, é construída para impedir que os nêutrons e a radiação produzida escapem.

O processo de fissão nuclear começa no reator, e a energia liberada é utilizada para aquecer a água, que é então conduzida ao gerador de vapor. Ao esquentar e ebulir a água, o vapor produzido a alta pressão é direcionado para a turbina, que entra em movimento. Acoplado a ela, há um gerador que, ao ser acionado, produz energia elétrica. Podemos considerar as usinas nucleares semelhantes às usinas termelétricas, com exceção da fonte de energia primária, que nas usinas nucleares são reações nucleares e nas usinas termelétricas são reações químicas.

3.4.5 Decaimento radioativo

Existem núcleos estáveis e instáveis e estes se desintegram espontaneamente. Porém, eles se desintegram e sobram o quê? A famosa frase de Lavoisier: “Na natureza tudo se transforma” pode ser aplicada nessa situação. Os núcleos instáveis se desintegram, mas isso não significam que somem. Eles emitem partes de seu interior transformando-se em outros núcleos. Esse processo é chamado de decaimento radioativo.

A ideia de que os átomos se transformam em outros átomos teve origem nos trabalhos de alguns cientistas dessa época.

Em 1895, o físico alemão Wilhelm Konrad Röntgen (1845-1923) começou a investigar as propriedades dos raios catódicos emitidos pelo tubo de Crookes. Ele observou que, quando um feixe incidia em um alvo sólido, havia uma segunda emissão. Sem saber a natureza dessa emissão, denominou-se a de raio X. Ao estudar as propriedades desse novo tipo de radiação, elaborou experimentos que mostravam que o raio X tem grande poder de penetração, podendo passar por substâncias opacas à luz e excitar substâncias fosforescentes e fluorescentes, além de ionizar o ar.

Quando apresentou o resultado de seu trabalho, em 1896, Röntgen demonstrou como o raio X podia atravessar o corpo de uma pessoa, mas não os ossos. Aparecia então a primeira chapa de radiografia da história, com uma mão humana. No fim desse ano, mais de mil trabalhos foram publicados sobre o tema.

Röntgen recebeu em 1901 o primeiro prêmio Nobel de Física. O impacto de seu trabalho foi tremendo na Medicina, mas ele recusou todo e qualquer ganho financeiro por sua descoberta, declarando que as descobertas científicas deveriam ser distribuídas livremente para todos.

Ao tomar conhecimento da descoberta dos raios X, o físico francês Henri Becquerel (1820-1908), fascinado, no mesmo ano de 1896, estabeleceu que sais de urânio emitiam radiações análogas ao raio X e que também impressionam chapas fotográficas.

O próprio Becquerel escreveu sobre sua expectativa ao verificar os raios X emitidos por uma amostra de urânio. Essa não foi a primeira vez que se impressionaram chapas fotográficas com as radiações de sais de urânio. Trinta anos antes, Abel Niepce de Saint Victor (1805-1870) já havia feito essa mesma descoberta, mas na época ainda não existiam conhecimentos que permitissem obter conclusões sobre isso.

No decaimento radioativo, o núcleo emite partículas ou radiação (ondas eletromagnéticas). Na emissão de partículas, altera-se o número de prótons e/ou de nêutrons do núcleo atômico, transmutando o átomo original em outro átomo. Como é o número de prótons que define o nome do átomo, se esse número não se altera após a emissão, continuamos a chamá-lo pelo mesmo nome, identificando-o como isótopo por ter quantidades diferentes de nêutrons. Muitas vezes, porém, o decaimento implica a alteração do número de prótons do núcleo, que é transmutado em outro.

A transmutação é um processo natural em que um átomo radioativo se transforma espontaneamente em outro elemento por meio de três processos: decaimento α (alfa),

decaimento β (beta) e fissão espontânea. Nesses processos os núcleos podem emitir quatro tipos diferentes de radiação: alfa, beta, gama e um nêutron.

Tipos de decaimento

Vamos estudar três tipos de radiação, que têm diferentes origens e podem ser diferenciados pelos desvios causados pelo campo elétrico e por seu poder de penetração.

O decaimento α

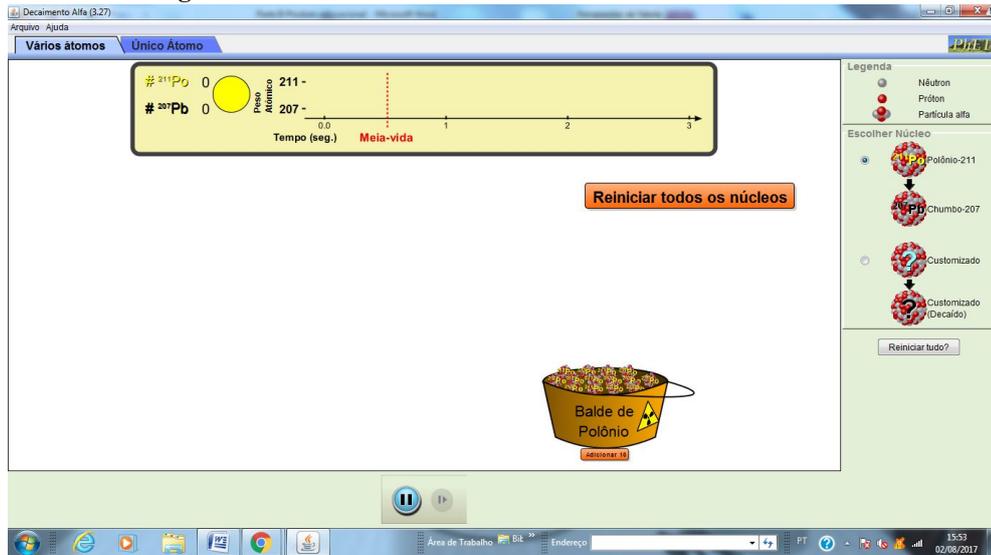
No experimento de Rutherford, as partículas α são núcleos dos átomos de hélio, ou seja, uma partícula constituída de dois prótons e dois nêutrons. No decaimento de alguns átomos radioativos, essas partículas são ejetadas do núcleo que se transforma em outro. No caso do urânio-238, o núcleo original perde dois prótons transformando-se no tório-234, com 90 prótons e 144 nêutrons.



A seta indica que o urânio, ao ejetar uma partícula α , se transformou em um átomo de tório. Avaliando o balanço energético desse decaimento, a energia final do sistema é constituída de três formas: radiação γ (onda eletromagnética de grande intensidade, alta frequência), energia cinética da partícula α e energia cinética do núcleo de tório.

O alcance das partículas α é muito pequeno, ou seja, as partículas α possuem um pequeno poder de penetração. Elas podem ser detidas por uma camada de 7 cm de ar, uma folha de papel ou uma chapa de alumínio, com 0,06 mm de espessura. Ao incidir sobre o corpo humano, são detidas pela camada de células mortas da pele, podendo, no máximo, causar queimaduras.

Figura 30 – Print screen da tela do simulador Decaimento Alfa.



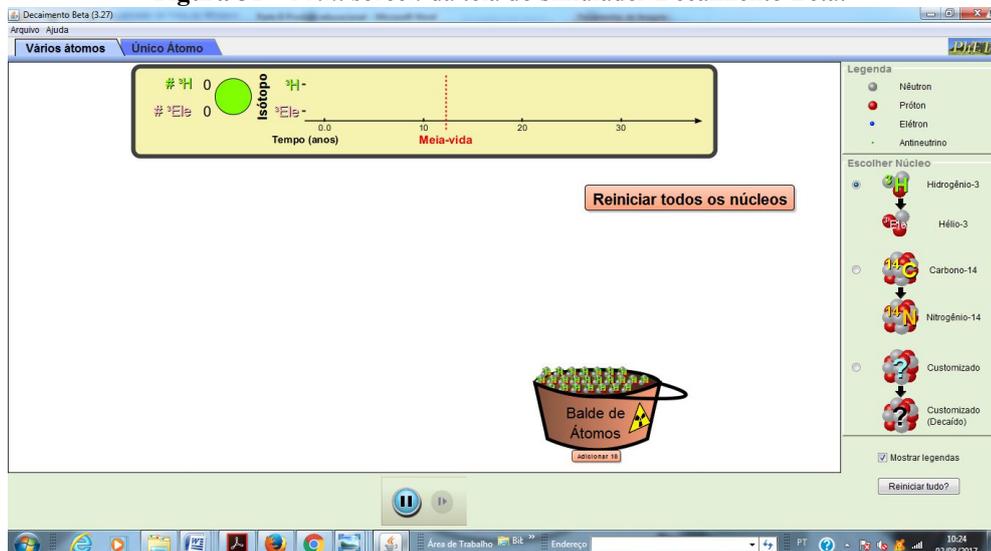
Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/alpha-decay. Acesso em: 14 nov. 2016.

O decaimento β

O decaimento β ocorre quando um núcleo atômico tem um número insuficiente ou excessivo de nêutrons próton, um elétron e um antineutrino. O próton permanece no núcleo, e o elétron e o antineutrino são emitidos para o interior do núcleo. O elétron emitido a elevada velocidade recebe o nome de partícula β . Note que, nesse decaimento, o núcleo “ganha” um próton e por isso é transmutado em um elemento de número atômico maior por uma unidade.

Vale notar que as partículas β podem ser tanto elétrons como pósitrons, sua antipartícula. O pósitron é uma partícula idêntica ao elétron, exceto pelo sinal de sua carga que é positiva.

Figura 31 – Print screen da tela do simulador Decaimento Beta.



Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/beta-decay. Acesso em: 14 nov. 2016.

O neutrino do elétron

O neutrino (ν) é uma partícula sem carga, proposta em 1930 por Wolfgang Pauli para explicar a aparente violação do princípio da conservação da energia em um decaimento β . Observações experimentais mostraram que a energia cinética dos elétrons emitidos no decaimento β não era compatível com a energia prevista pela teoria.

Trata-se de uma partícula leve, neutra, menor que um nêutron e que interage muito pouco com a matéria. Como não tem carga elétrica, o neutrino, nome sugerido pelo físico italiano Enrico Fermi, não era detectado pelos instrumentos de medida. Para se ter idéia do poder de penetração do neutrino, ele pode atravessar uma parede de chumbo com cerca de 50 anos-luz de espessura.

A existência dessa partícula neutra apresentou a necessidade de uma nova interação nuclear, que em 1933 Fermi denominou força fraca. Esse nome foi dado por essa força ser menos intensa que a força forte e a força eletromagnética. Além disso, ela interage de modo diferente, é conhecida durante o processo de decaimento β e atua em pequenas distâncias, da ordem de 10^{-18} m. Em 1960, uma nova teoria foi apresentada pelos físicos Sheldon L. Glashow, Steven Weinberg e Abdus Salam, em que as interações fraca e eletromagnética foram apresentadas como manifestações diferentes de uma única força, a força eletrofraca.

Por interagir fracamente com a matéria e ser uma partícula neutra, ou seja, não sensível à força eletromagnética, o neutrino foi muito difícil de ser detectado.

O decaimento γ

No decaimento γ , um núcleo em um estado excitado decai para um estado de menor energia, emitindo um fóton muito energético (alta frequência). Ao contrário do que ocorre nos decaimentos α e β , o núcleo atômico continua a ser o mesmo, não havendo transmutação.

No decaimento do cézio-137 em bário-137, por exemplo, temos duas etapas:



Na primeira etapa, o cézio é transmutado em bário pela emissão de uma partícula β^- . Sendo instável, o bário decai em radiação γ , radiação (fótons) de elevada frequência e energia.

Os raios γ são mais penetrantes que os raios X, pois possuem comprimentos de onda bem menores. Atravessam milhares de metros de ar, até 25 cm de madeira ou 15 cm de aço. São detidos por placas de chumbo com mais de 5 cm de espessura ou por grossas paredes de concreto. Um fóton de radiação γ pode perder toda, ou quase toda energia em uma única

interação, e a distância que ele percorre até interagir não pode ser prevista. Esse tipo de radiação pode atravessar completamente o corpo humano, causando danos irreparáveis.

Lei do decaimento radioativo

Um ponto fundamental a respeito dos átomos radioativos é sua instabilidade. Isso indica que, por exemplo, no decaimento α de um átomo de urânio-238, este é transmutado em um átomo de tório após a ejeção da partícula α e de energia. Mas quanto tempo um átomo de urânio permanece como tal? E o tório resultante do decaimento, como é sua “vida” em relação ao urânio?

Existe uma lei geral que descreve esse tipo de decaimento e recebe o nome de *lei de desintegração radioativa* ou *lei do decaimento radioativo*. Ela foi proposta por Rutherford e trata do decaimento coletivamente e em termos estáticos. Sua formulação é:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Em que t é o tempo; N_0 é o número de partículas no instante $t = 0$; λ a constante de desintegração, igual a $\lambda = 1/\zeta$; e ζ é a *meia-vida* do elemento dada pela condição na qual $\frac{1}{2}$ dos átomos da amostra tenha decaído.

Alguns elementos são naturalmente radioativos, outros são produzidos pelo ser humano em laboratórios e também podem se desintegrar. O urânio é o exemplo mais clássico, o elemento radioativo mais pesado encontrado na natureza. A radioatividade natural acontece em três séries de átomos que geram os seguintes elementos instáveis: polônio, ástato, radônio, frâncio, rádio, actínio, tório e protactínio.

- I) O isótopo de urânio-238 ($^{238}\text{U}_{92}$) decai em outros átomos até se transformar em um isótopo estável de chumbo ($^{206}\text{Pb}_{82}$). O urânio -238 tem meia-vida de 4,5 bilhões de anos.
- II) O isótopo de urânio-235 ($^{235}\text{U}_{92}$) decai até se transformar em outro isótopo de chumbo ($^{207}\text{Pb}_{82}$). O urânio -235 tem meia-vida de 0,7 bilhão de anos.
- III) O isótopo de tório-232 ($^{232}\text{Th}_{90}$) decai até se transformar em um isótopo de chumbo ($^{208}\text{Pb}_{82}$). O de tório-232 tem meia-vida de 14 bilhões de anos.

3.5 Aprofundando os conhecimentos

3.5.1 Aplicações da radioatividade²⁴

Figura 32 – Print screen da tela do vídeo Método de datação por carbono 14.



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=UEAVXW-ZH-M>. Acesso em: 14 nov. 2016.

Introdução

Todos os materiais são formados por um número limitado de átomos, que, por sua vez, são caracterizados pela carga elétrica de seu núcleo e simbolizados pela letra Z . Em física, a descrição adequada do átomo para a compreensão de um determinado fenômeno depende do contexto considerado. Quanto às aplicações da energia nuclear, podemos considerar o núcleo como composto de prótons, com carga elétrica positiva, e nêutrons, sem carga. Ambos são denominados genericamente núcleons. A letra Z que caracteriza cada um dos átomos, naturais ou artificiais, representa o número de prótons no núcleo.

A maior parte da massa do átomo está concentrada em seu núcleo, que é muito pequeno (10^{-12} cm a 10^{-13} cm). Prótons e nêutrons têm massa aproximadamente igual, da ordem de $1,67 \times 10^{-24}$ gramas, e são caracterizados por parâmetros específicos (números quânticos) definidos pela mecânica quântica, teoria que lida com os fenômenos na escala atômica e molecular.

Os prótons, por terem a mesma carga, se repelem fortemente devido à força eletrostática. Isso tenderia a fazer com que essas partículas se afastassem umas das outras, o que inviabilizaria o modelo. Mas, como os núcleos existem, podemos concluir que deve

²⁴ <http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/aplica.pdf>

existir uma força de natureza diferente da força eletromagnética ou da força gravitacional – e muito mais intensa que estas – que mantém os núcleos coesos.

Quanto maior a energia de ligação média (soma de todos os valores das energias de ligação dividida pelo número de partículas), maior a força de coesão do núcleo. Este artigo irá tratar da energia nuclear, que está relacionada a essa força, bem como de seus usos na sociedade.

Tipos de radiação

Na natureza, existem 92 elementos. Cada elemento pode ter quantidades diferentes de nêutrons. Os núcleos com mesmo número de prótons, mas que diferem no número de nêutrons, são denominados isótopos de um mesmo elemento. Para determinadas combinações de nêutrons e prótons, o núcleo é estável – nesse caso, são denominados isótopos estáveis. Para outras combinações, o núcleo é instável (isótopos radioativos ou radioisótopos) e emitirá energia na forma de ondas eletromagnéticas ou de partículas, até atingir a estabilidade.

Dá-se o nome genérico de radiação nuclear à energia emitida pelo núcleo. As principais formas de radiação são: i) emissão de nêutrons; ii) radiações gama, ou seja, radiação eletromagnética, da mesma natureza que a luz visível, as microondas ou os raios X, porém mais energética; iii) radiação alfa (núcleos de hélio, formados por dois prótons e dois nêutrons); iv) radiação beta (elétrons ou suas antipartículas, os pósitrons, cuja carga elétrica é positiva).

Nas ciências nucleares, a unidade de energia geralmente utilizada é o elétron-volt (eV). As energias emitidas pelo núcleo são acima de 10 mil eV, valor que é cerca de bilhões de vezes menor que o das energias com que lidamos no dia-a-dia. Esse valor se torna significativo quando lembramos que em cerca de 100 gramas de urânio existem em torno de 10^{23} átomos. Uma bomba como a de Hiroshima contém apenas 20 kg de matéria-prima, aproximadamente.

A liberação de energia do núcleo se dá através de dois processos principais: decaimento radioativo (também chamado desintegração) e fissão.

Os benefícios da energia nuclear e das radiações

Infelizmente são pouco divulgados os grandes benefícios da energia nuclear. A cada dia, novas técnicas nucleares são desenvolvidas nos diversos campos da atividade humana, possibilitando a execução de tarefas impossíveis de serem realizadas pelos meios convencionais. A medicina, a indústria, particularmente a farmacêutica, e a agricultura são as

áreas mais beneficiadas. Os isótopos radioativos ou radioisótopos, devido à propriedade de emitirem radiações, têm vários usos. As radiações podem até atravessar a matéria ou serem absorvidas por ela, o que possibilita múltiplas aplicações. Mesmo em quantidades cuja massa não pode ser determinada pelos métodos químicos, a radiação por eles emitida pode ser detectada. Pela absorção da energia das radiações (em forma de calor) células ou pequenos organismos podem ser destruídos. Essa propriedade, que normalmente é altamente inconveniente para os seres vivos, pode ser usada em seu benefício, quando empregada para destruir células ou microorganismos nocivos.

A propriedade de penetração das radiações possibilita identificar a presença de um radioisótopo em determinado local.

Na pesquisa e no ambiente

A utilização de radioisótopos na pesquisa permite obter dados que seriam inviáveis por outros processos. Um grande número de processos físicos e biológicos investigativos emprega material radioativo. Na alimentação animal, por exemplo, é possível verificar e acompanhar o metabolismo de rações e outros alimentos utilizando radioisótopos que emitem radiação ao longo do processo metabólico.

Na pesquisa de plantas, os radioisótopos permitem verificar a absorção de nutrientes e o efeito de microrganismos, enquanto, no estudo de solos, possibilita observar os processos de infiltração de água no solo (lixiviação), bem como o processo de filtração (percolação), possibilitando a verificação da qualidade do terreno estudado e das formas de melhorar sua produtividade. Vale comentar, ainda que brevemente, mais três aplicações de técnicas nucleares no meio ambiente:

i) a análise por irradiação com nêutrons, que permite medir quantidades extremamente pequenas de poluentes;

ii) o uso de traçadores radioativos para mapear a origem de vazões da água e de contaminantes, o que possibilita obter, entre outras características, o tempo de recarga de aquíferos, facilitando seu manejo e uso racional;

iii) a esterilização de lixo e dejetos orgânicos, de forma a garantir que não contenham microrganismos nocivos, é particularmente útil no tratamento de esgotos ou de lixo hospitalar.

Datação por carbono-14

Fósseis de madeira, papiros e animais contêm C-14, cuja meia-vida é de 5.600 anos. Isso significa que, a cada 5.600 anos, a atividade do C-14 é reduzida à metade. Medindo-se a

proporção de C-14 que ainda existe nesses materiais é possível saber a “idade” deles. Foi assim, por exemplo, que se determinou a idade dos Pergaminhos do Mar Morto.

O C-14 resulta da absorção contínua dos nêutrons dos raios cósmicos pelos átomos de nitrogênio nas altas camadas da atmosfera.

Esse isótopo radioativo do carbono se combina com o oxigênio, formando o CO₂, que é absorvido pelas plantas.

Fósseis de madeira, papiros e animais contêm C-14, cuja meia-vida é de 5.600 anos. Isso significa que, a cada 5.600 anos, a atividade do C-14 é reduzida à metade. Medindo-se a proporção de C-14 que ainda existe nesses materiais é possível saber a “idade” deles. Foi assim, por exemplo, que se determinou a idade dos Pergaminhos do Mar Morto.

Os raios-x

Os raios-X são radiações da mesma natureza da radiação gama (ondas eletromagnéticas), com características idênticas. Só diferem da radiação gama pela origem, ou seja, os raios-X não saem do núcleo do átomo. Raios-X não são energia nuclear

Os raios-X são emitidos quando elétrons, acelerados por alta voltagem, são lançados contra átomos e sofrem frenagem, perdendo energia. Não têm, pois, origem no núcleo do átomo Raios-X são energia atômica

Toda energia nuclear é atômica, porque o núcleo pertence ao átomo, mas nem toda energia atômica é nuclear.

Outro exemplo de energia atômica e não nuclear é a energia das reações químicas (liberadas ou absorvidas).

A descoberta dos raios-x

O físico alemão Roentgen (pronúncia portuguesa: rêntguen) observou que saíam raios misteriosos de uma ampola de Crookes (físico inglês), capazes de atravessar folhas de papelão. Por isso, ele os chamou de raios “X” .

A ampola de Edison, que ficou conhecida como lâmpada incandescente, depois de aperfeiçoada, deu origem à ampola de Crookes, usada por Roentgen. Atualmente, a ampola mais famosa é o tubo de televisão.

A descoberta de Roentgen permitiu “fotografar” o interior de muitos objetos e o corpo humano, opacos à luz mas transparentes aos raios-X. Quando se eleva a voltagem de alimentação da ampola ou “tubo” de raios-X, eles se tornam mais penetrantes.

As primeiras aplicações dos aparelhos de raios-X ocorreram na Medicina, para diagnóstico de fraturas ósseas e, logo após, na Odontologia, para diagnóstico de canais dentários. Foram desenvolvidos aparelhos mais potentes para uso em radiografia industrial (semelhante à gamagrafia). As principais desvantagens de tais aparelhos, para a indústria, são as seguintes:

- as peças têm que ser levadas até eles, uma vez que é impraticável deslocar os aparelhos (de grande porte) e acessórios;
- depende de fonte de alimentação (energia elétrica);
- têm limitações, impostas pela forma das peças a serem radiografadas.

Os aparelhos de Raios-X não são radioativos, só emitem radiação quando estão ligados, isto é, em operação.

Em relação ao ser humano, os raios-X requerem os mesmos cuidados que a radiação gama e, por isso, não podem ser usados indiscriminadamente.

Na saúde

Uma ferramenta importante no tratamento e diagnóstico de doenças são os radiofármacos, que são obtidos a partir de radioisótopos produzidos em reatores nucleares ou em aceleradores de partículas.

Esses radioisótopos são, em geral, associados a substâncias químicas (fármacos) que se associam a órgãos ou tecidos específicos do corpo humano.

Na medicina nuclear, os radiofármacos são injetados no paciente, concentrando-se no local a ser examinado e emitindo radiação, que, por sua vez, é detectada no exterior do corpo por um detector apropriado, que pode transformar essa informação em imagens, permitindo ao médico observar o funcionamento daqueles órgãos.

Os radiofármacos são utilizados no diagnóstico de diversas patologias. Têm meia vida curta – da ordem de dias ou horas – e, em um curto período de tempo, diminuem sua atividade para níveis desprezíveis, minimizando a possibilidade de dano ao paciente. O principal material empregado em medicina nuclear é o tecnécio-99m, que tem meia-vida de seis horas, ou seja, a cada seis horas a radiação emitida cai pela metade. Outros radiofármacos são o tálio-201 (meia-vida de três dias), gálio-67 (meia-vida de três dias), iodo-131 (meia-vida de oito dias) e flúor-18 (meia-vida de duas horas). Uma técnica nova e importante na medicina nuclear é a PET (sigla, em inglês, para tomografia por emissão de pósitrons e elétrons), que utiliza radioisótopos de meia-vida muito curta e que têm como característica o decaimento com a liberação de pósitrons, sendo considerada por muitos especialistas a melhor e mais

precisa forma de radiodiagnóstico por imagem disponível hoje. Esses radioisótopos são produzidos em aceleradores de partículas específicos (ciclotrons), sendo o principal produto o flúor-18, injetado no sangue do paciente na forma de fluorodeoxiglicose (FDG).

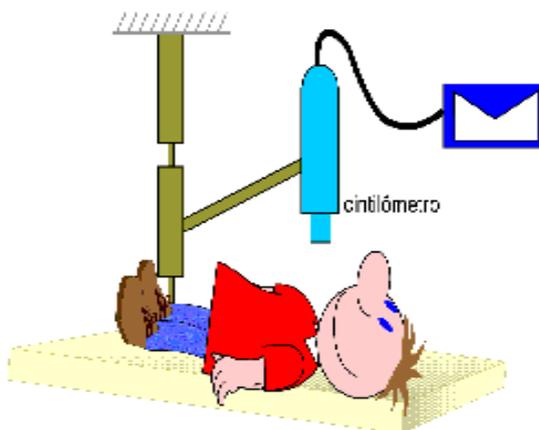
O Brasil produz esses radioisótopos no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen), em São Paulo, e no Instituto de Engenharia Nuclear (IEN), no Rio de Janeiro, ambos da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Devido à meia-vida muito curta, os radiofármacos para PET devem ser produzidos próximos ao local de uso.

As radiações nucleares são utilizadas também em diversas terapias, principalmente no tratamento de câncer. Nesse caso, a irradiação das células cancerosas tem o objetivo de matá-las e impedir sua multiplicação. Uma das formas de aplicação da radiação consiste em se colocar uma fonte externa ao paciente, a uma certa distância do tumor a ser tratado (teleterapia). Tradicionalmente, utiliza-se uma fonte de cobalto-60 nesse tratamento, mas esse processo vem sendo substituído por aceleradores lineares, que produzem feixes de elétrons que, ao incidir em um alvo, geram fótons, que irão interagir com o tecido.

Outra forma de aplicação consiste em se colocar pequenas fontes em contato direto com a área do tecido a ser irradiada (braquiterapia). Essas fontes podem ser aplicadas por um determinado período de tempo e depois retiradas – como é feito, por exemplo, em tratamentos de câncer de útero – ou ser implantadas no corpo do paciente, como no tratamento de câncer de próstata. Outro uso da radiação em medicina é a irradiação de sangue com raios gama. Esse método é usado no sangue a ser ministrado em pacientes que têm deficiência imunológica. Entre outras coisas, o tratamento com a radiação diminui a quantidade de linfócitos T (células de defesa) no sangue doado, o que reduz em muito no paciente o risco de rejeição do órgão ou do tecido transplantados.

Traçadores radioativos

Figura 33 – Cintilografia.



Fonte: <http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/aplica.pdf>. Acesso 15 mar 2017.

As radiações emitidas por radioisótopos podem atravessar a matéria e, dependendo da energia que possuem, são detectadas (“percebidas”) onde estiverem, através de aparelhos apropriados, denominados detectores de radiação. Dessa forma, o deslocamento de um radioisótopo pode ser acompanhado e seu percurso ou “caminho” ser “traçado” num mapa do local. Por esse motivo, recebe o nome de traçador radioativo. Traçadores Radioativos são radioisótopos que, usados em “pequeníssimas” quantidades, podem ser “acompanhados” por detectores de radiação.

Medicina nuclear

A Medicina Nuclear é a área da medicina onde são utilizados os radioisótopos, tanto em diagnósticos como em terapias. Radioisótopos administrados a pacientes passam a emitir suas radiações do lugar (no caso, órgão) onde têm preferência em ficar. Um exemplo prático bem conhecido é o uso do iodo-131 (I-131), que emite partícula beta, radiação gama e tem meia-vida de oito dias. O elemento iodo, radioativo ou não, é absorvido pelo organismo humano preferencialmente pela glândula tireóide, onde se concentra. O funcionamento da tireóide influi muito no comportamento das pessoas e depende de como o iodo é por ela absorvido. O fato de ser radioativo não tem qualquer influência no comportamento de um elemento químico em relação aos demais elementos.

Para diagnóstico de tireoide, o paciente ingere uma solução de iodo-131, que vai ser absorvido pela glândula. “Passando” um detector pela frente do pescoço do paciente, pode-se observar se o iodo foi muito ou pouco absorvido em relação ao normal (padrão) e como se distribui na glândula. O detector é associado a um mecanismo que permite obter um

“desenho” ou mapeamento, em preto e branco ou colorido, da tireóide. Um diagnóstico, no caso um radiodiagnóstico, é feito por comparação com um mapa padrão de uma tireóide normal. A mesma técnica é usada para mapeamento de fígado e de pulmão.

Os radiofármacos usados em medicina no Brasil são, em grande parte, produzidos pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN, da CNEN, em São Paulo. O tecnécio-99 (Tc-99m) é utilizado, para obtenção de mapeamentos (cintilografia) de diversos órgãos: • cintilografia renal, cerebral, hepato-biliar (fígado), pulmonar e óssea; • diagnóstico do infarto agudo do miocárdio e em estudos circulatórios; • cintilografia de placenta.

Outro radioisótopo, o Samário-153 (Sm-153), é aplicado (injetado) em pacientes com metástase óssea, como paliativo para a dor. Esses produtos são distribuídos semanalmente pelo IPEN para os usuários.

Os radioisótopos na medicina

A radioterapia teve origem na aplicação do elemento rádio pelo casal Curie, para destruir células cancerosas, e foi inicialmente conhecida como “Curieterapia”. Posteriormente, outros radioisótopos passaram a ser usados, apresentando um maior rendimento. O iodo-131 também pode ser usado em terapia para eliminar lesões, identificadas nos radiodiagnósticos da tireóide, aplicando-se, no caso, uma dose maior do que a usada nos diagnósticos.

O iodo radioativo apresenta as características ideais para aplicação em Medicina, tanto em diagnóstico como em terapia:

- tem meia-vida curta;
- é absorvido preferencialmente por um órgão (a tireóide);
- é eliminado rapidamente do organismo;
- a energia da radiação gama é baixa.

Fontes radiativas (= fontes de radiação) de césio-137 e cobalto-60 são usadas para destruir células de tumores, uma vez que estas são mais sensíveis à radiação do que os tecidos normais (sãos).

Um dos aparelhos de radioterapia mais conhecidos é a Bomba de Cobalto, usada no tratamento contra o câncer, e que nada tem de “bomba” (não explode). Trata-se de uma fonte radiativa de cobalto-60 (Co-60), encapsulada ou “selada” (hermeticamente fechada) e blindada, para impedir a passagem de radiação. Até bem pouco tempo, para este fim, eram utilizadas fontes de césio-137, que foram substituídas pelas de cobalto-60, que, entre outras razões técnicas, apresentam maior rendimento terapêutico.

No momento da utilização, a fonte é deslocada de sua posição “segura”, dentro do cabeçote de proteção (feito de chumbo e aço inoxidável), para a frente de um orifício, que permite a passagem de um feixe de radiação, concentrado sobre a região a ser “tratada” ou irradiada. Após o uso, a fonte é recolhida para a posição de origem (“segura”).

Deve ficar bem claro que um objeto ou o próprio corpo, quando irradiado (exposto à radiação) por uma fonte radiativa, NÃO FICA RADIOATIVO.

É muito comum confundir-se irradiação com contaminação. A contaminação se caracteriza pela presença de um material indesejável em determinado local. A irradiação é a exposição de um objeto ou de um corpo à radiação.

Portanto, pode haver irradiação sem existir contaminação, ou seja, sem contato entre a fonte radiativa e o objeto ou corpo irradiado. No entanto, havendo contaminação radioativa (= presença de material radioativo), é claro que haverá irradiação do meio contaminado.

Não se deve confundir o efeito (construtivo ou destrutivo) da radiação com o fato de tornar radioativo um material, só possível por outros processos (em Reatores Nucleares ou aceleradores de partículas).

Usos na indústria

A indústria é uma das maiores usuárias das técnicas nucleares no Brasil, respondendo por cerca de 30% das licenças para utilização de fontes radioativas. Elas são empregadas principalmente para a melhoria da qualidade dos processos nos mais diversos setores industriais. As principais aplicações são na medição de espessuras e de vazões de líquidos, bem como no controle da qualidade de junções de peças metálicas. As fontes mais utilizadas são o cobalto-60, o irídio-192, o césio-137 e o amerício-241. A facilidade de penetração da radiação em diversos materiais, bem como a variação de sua atenuação com a densidade do meio que atravessa, tornam seu uso conveniente em medidores de nível, espessura e umidade. Na indústria de papel, esses medidores são utilizados para garantir que todas as folhas tenham a mesma espessura (padrão de gramatura), para atender às exigências de qualidade do mercado mundial, enquanto, na indústria de bebidas, a radiação é usada para controle de enchimento de vasilhames.

Outro uso importante das radiações nucleares está na aplicação de traçadores radioativos. Nesse método, uma substância com material radioativo é injetada em um meio, e é feito um acompanhamento de seu comportamento nos processos que se deseja observar. Traçadores radioativos também têm sido cada vez mais utilizados para detectar problemas de

vazamentos e mau funcionamento em grandes plantas da indústria química, permitindo economia de tempo e de dinheiro.

Na exploração de petróleo, fontes de nêutrons são utilizadas em processos para determinar o perfil do solo, enquanto outras podem auxiliar a distinguir, nesse processo, a quantidade de água, gás e óleo existentes no material extraído, facilitando e barateando o processo de exploração.

Cada vez mais utilizados, os irradiadores industriais são instalações com compartimentos onde o material a ser tratado é exposto à radiação que irá matar bactérias e microrganismos, podendo ser usado como um processo de esterilização. Existem no mundo hoje cerca de 160 irradiadores industriais funcionando, sendo seis no Brasil. Essas instalações são utilizadas para irradiar e esterilizar materiais cirúrgicos, remédios, alimentos, materiais de valor histórico etc.

O cobalto-60 é o material mais utilizado como fonte de radiação. A exposição à radiação gama não contamina os materiais irradiados nem os transforma em materiais radioativos. Portanto, ao cessar o processo, não existe mais radiação nos materiais.

Leva grande vantagem sobre substâncias químicas que são, às vezes, usadas para o mesmo fim e que deixam resíduos tóxicos. Também leva vantagem sobre a esterilização com calor – na qual os materiais são submetidos a altas temperaturas –, uma vez que a técnica permite a irradiação de materiais plásticos, como seringas e fios cirúrgicos, sem afetar sua integridade.

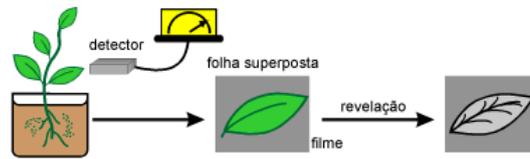
Nos alimentos para consumo humano, a radiação gama elimina microrganismos patogênicos, como a *Salmonella typhimurium*. A irradiação de frutas, além de suprimir infestações indesejadas, eleva a vida útil do produto e aumenta o tempo para seu consumo, ao contrário da desinfecção com calor, que acelera o processo de amadurecimento.

Outra aplicação na agroindústria é o uso da técnica de ‘macho estéril’ para o combate a pragas na lavoura. Nessa técnica, são produzidos machos esterilizados da praga a ser combatida e que depois são soltos na região infestada, diminuindo a população ao afetar sua capacidade de reprodução. Esse processo é usado por países como Estados Unidos, México, Guatemala e Argentina no combate à mosca-da-fruta (*Ceratitis capitata*).

No Brasil, está em implantação um projeto semelhante no Nordeste, na região de produção de mangas e uvas, com patrocínio de prefeituras, governos estadual e federal, contando com auxílio da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA).

Aplicações na agricultura

Figura 34 - Traçadores radioativos na agricultura.

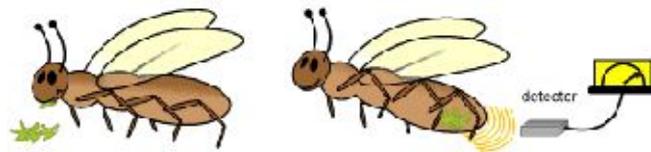


<http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/aplica.pdf>. Acesso em 15 mar 2017.

É possível acompanhar, com o uso de traçadores radioativos, o metabolismo das plantas, verificando o que elas precisam para crescer, o que é absorvido pelas raízes e pelas folhas e onde um determinado elemento químico fica retido.

Uma planta que absorveu um traçador radioativo pode, também, ser “radiografada”, permitindo localizar o radioisótopo. Para isso, basta colocar um filme, semelhante ao usado em radiografias e abreugrafias, sobre a região da planta durante alguns dias e revelá-lo. Obtém-se o que se chama de auto-radiografia da planta.

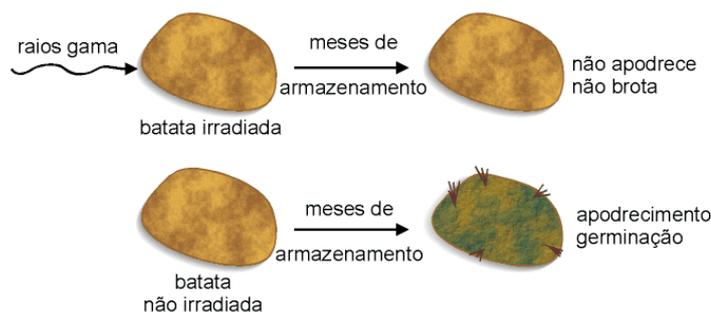
Figura 35 - Traçadores radioativos nos insetos.



<http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/aplica.pdf>. Acesso em 15 mar 2017.

A técnica do uso de traçadores radioativos também possibilita o estudo do comportamento de insetos, como abelhas e formigas. Ao ingerirem radioisótopos, os insetos ficam marcados, porque passam a “emitir radiação”, e seu “raio de ação” pode ser acompanhado. No caso de formigas, descobre-se onde fica o formigueiro e, no caso de abelhas, até as flores de sua preferência. A “marcação” de insetos com radioisótopos também é muito útil para

Figura 36 - Irradiação para conservação de alimentos.



<http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/aplica.pdf>. Acesso em 15 mar 2017.

eliminação de pragas, identificando qual predador se alimenta de determinado inseto indesejável. Neste caso o predador é usado em vez de inseticidas nocivos à saúde. Outra forma de eliminar pragas é esterilizar os respectivos “machos” por radiação gama e depois soltá-los no ambiente para competirem com os normais, reduzindo sua reprodução sucessivamente, até a eliminação da praga, sem qualquer poluição com produtos químicos.

Em defesa da alimentação e do meio ambiente, pode-se, também, determinar se um agrotóxico fica retido nos alimentos ou quanto vai para o solo, para a água e para a atmosfera. Ainda no campo dos alimentos, uma aplicação importante é a irradiação para a conservação de produtos agrícolas, como batata, cebola, alho e feijão. Batatas irradiadas podem ser armazenadas por mais de um ano sem murcharem ou brotarem.

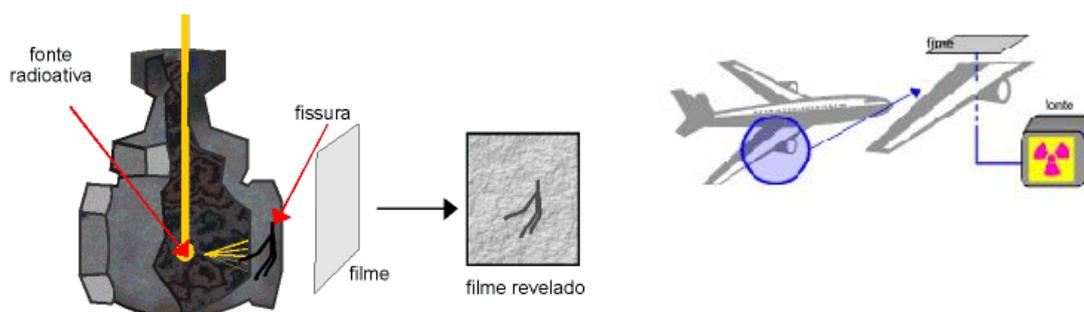
Aplicação na indústria

A aplicação de radioisótopos mais conhecida na indústria é a radiografia de peças metálicas ou gamagrafia industrial.

Gamagrafia é a impressão de radiação gama em filme fotográfico. Os fabricantes de válvulas usam a gamagrafia, na área de Controle da Qualidade, para verificar se há defeitos ou rachaduras no corpo das peças.

As empresas de aviação fazem inspeções freqüentes nos aviões, para verificar se há “fadiga” nas partes metálicas e soldas essenciais sujeitas a maior esforço (por exemplo, nas asas e nas turbinas) usando a gamagrafia. Para ter-se indicação de nível de um líquido em um tanque, coloca-se uma fonte radiativa em um dos lados e, no lado oposto, um detector ligado a um dispositivo (aparelho) de indicação ou de medição.

Figura 37 - Gamagrafia industrial.



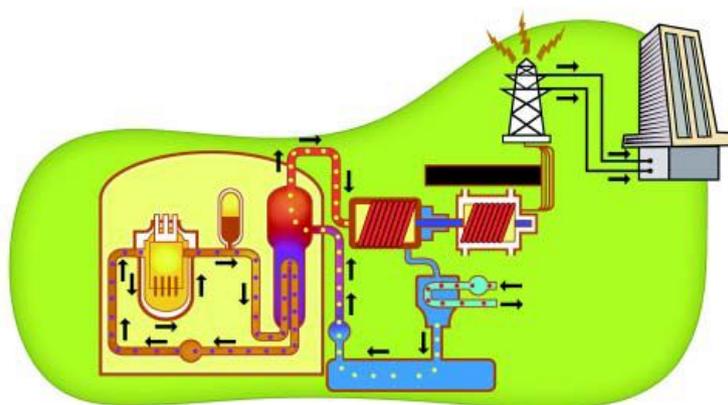
<http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/aplica.pdf>. Acesso em 15 mar 2017.

Quando o líquido alcança a altura da fonte, a maior parte da radiação emitida pela fonte é absorvida por ele e deixa de chegar ao detector, significando que o líquido atingiu aquele nível. O mesmo artifício serve para indicar um nível mínimo de líquido desejado em um tanque. Nesse caso, a fonte e o detector devem ser colocados na posição adequada e, quando o líquido atingir esse ponto, deixará de absorver a radiação, que chegará ao detector com maior intensidade. A Indústria Farmacêutica utiliza fontes radioativas de grande porte para esterilizar seringas, luvas cirúrgicas, gaze e material farmacêutico descartável, em geral. Seria praticamente impossível esterilizar, pelos métodos convencionais que necessitam de altas temperaturas, tais materiais, que se deformariam ou se danificariam de tal forma que não poderiam ser mais utilizados.

Geração de energia

Uma das principais utilizações da energia nuclear é a geração de energia elétrica. Usinas nucleares são usinas térmicas que usam o calor produzido na fissão para movimentar vapor de água, que, por sua vez, movimenta as turbinas em que se produzem a eletricidade. Em um reator de potência do tipo PWR (termo, em inglês, para reator a água pressurizada), como os reatores utilizados no Brasil, o combustível é o urânio enriquecido cerca de 3,5%.

Figura 38 – Funcionamento de uma usina nuclear.



<http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/aplica.pdf>. Acesso em 15 mar 2017.

Isso significa que o urânio encontrado na natureza, que contém apenas 0,7% do isótopo ^{235}U , deve ser processado ('enriquecido') para que essa proporção chegue a 3,5% (figura 5). Em reatores de pesquisa ou de propulsão – estes últimos usados como fonte de energia de motores em submarinos e navios –, o enriquecimento pode variar bastante.

Para a confecção de bombas nucleares, é necessário um enriquecimento superior a 90%. O processo completo de obtenção do combustível nuclear é conhecido como ciclo do combustível e compreende diversas etapas: i) extração do minério do solo; ii) beneficiamento para separar o urânio de outros minérios; iii) conversão em gás do produto do beneficiamento, o chamado yellow cake (ou ‘bolo amarelo’); iv) enriquecimento do gás, no qual a proporção de ^{235}U é aumentada até o nível desejado; v) reconversão do gás de urânio enriquecido para o estado de pó; vi) fabricação de pastilhas a partir da compactação do pó; vii) e finalmente a montagem dos elementos combustíveis, quando se colocam as pastilhas em cilindros metálicos que irão formar os elementos combustíveis do núcleo do reator. Atualmente, no mundo, estão em operação 440 reatores nucleares voltados para a geração de energia em 31 países. Outros 33 estão em construção. Cerca de 17% da geração elétrica mundial é de origem nuclear, a mesma proporção do uso de energia hidroelétrica e de energia produzida por gás. Alguns países desenvolvidos têm seu abastecimento de energia elétrica com um alto percentual de geração nuclear. Entre eles, a França tem 78%, a Bélgica 57%, o Japão 39%, a Coreia do Sul 39%, a Alemanha 30%, a Suécia 46%, a Suíça 40%. Somente nos Estados Unidos, os 104 reatores em funcionamento, que geram 20% da eletricidade daquele país, produzem mais eletricidade que todo o sistema brasileiro de geração elétrica. Além desses reatores, funcionam mais 284 reatores de pesquisa em 56 países, sem contar um número estimado de 220 reatores de propulsão em navios e submarinos.

Confiança e resíduos

A confiança na utilização de energia nuclear para geração de energia elétrica sofreu bastante em anos recentes devido a dois acidentes. O primeiro foi o de Three Mile Island (Estados Unidos), que, apesar de não ter tido consequências radiológicas significativas, levou os países ocidentais a fazer uma revisão das medidas de segurança nas usinas nucleares em funcionamento, aumentando o rigor do licenciamento nuclear. O segundo foi o de Chernobyl (Ucrânia), que lançou na atmosfera grande quantidade de material radioativo.

Enquanto Three Mile Island fez com que se aumentassem os custos das usinas nucleares em funcionamento – devido à exigência de investimentos adicionais nos sistemas de segurança, causando atraso no licenciamento dos projetos em andamento –, Chernobyl aumentou a desconfiança em relação às centrais nucleares. Não foi devidamente considerado e divulgado, entretanto, o fato de aquela usina ter projeto e dispositivos de segurança totalmente diferentes dos reatores ocidentais.

Em parte em função desses fatores, os países ocidentais passaram algum tempo para voltar a investir em centrais nucleares. A exceção foi a França, que reafirmou sua opção pela energia nuclear, tornando-se o grande exportador de energia elétrica da Europa. Mesmo sem novas usinas, entretanto, a geração nuclear elétrica aumentou, graças à maior eficiência das usinas.

Nos Estados Unidos, as empresas nucleares passaram a modernizar suas usinas e, através da troca de alguns equipamentos, estão prorrogando a vida útil dos reatores por até mais 20 anos. Já se submeteram a esse processo e conseguiram aprovação 32 usinas nucleares. Estão sendo analisadas mais 16, e cerca de 30 outras já manifestaram seu interesse pela prorrogação. A previsão é de que, nos próximos anos, cerca de 80% das usinas nucleares norte-americanas tenham sua vida útil prolongada.

Na Ásia, não houve paralisação na construção de usinas nucleares. No Ocidente, outros países estão revendo sua posição. O que se observa é uma grande mudança, com vários países voltando a considerar a energia nuclear como opção viável, principalmente após a verificação do efeito crítico dos poluentes emitidos por outras formas de geração de energia elétrica. A Finlândia está começando a construir o que seria a primeira usina na Europa ocidental fora da França em muitos anos. A Suécia e a Suíça se recusaram a rejeitar a opção nuclear, deixando em aberto essa possibilidade. A Alemanha e a Itália, apesar de terem feito no passado uma opção por deixar de utilizar a energia nuclear na geração elétrica, hoje utilizam energia de origem nuclear importada da França.

A Itália, em particular, já está reavaliando a questão. Vale ressaltar que, entre as formas de geração de energia, a nuclear é uma das que produzem menor volume de rejeitos e a que tem maior cuidado com o acondicionamento e guarda deles. A dificuldade com essas ações é que os rejeitos radioativos podem durar até milhares de anos e, por isso, devem ficar isolados e protegidos. O maior volume dos rejeitos corresponde àqueles de baixa e média atividade, que são os produzidos pelas áreas médica e industrial. Os rejeitos de alta atividade, provenientes dos combustíveis já utilizados das usinas nucleares, são armazenados nas próprias usinas, que contam com local adequado para armazenar todo o volume produzido em sua vida útil, até que surja solução definitiva para o problema.

Milhões de dólares vêm sendo gastos na busca de uma solução – de preferência, que torne o resíduo não radioativo e inócuo. Em todo o mundo, os depósitos de rejeitos radioativos têm que ser gerenciados e administrados pelo país, sendo controlados pelas respectivas agências reguladoras de atividades nucleares, segundo normas nacionais e internacionais, de modo a garantir a segurança dos mesmos.

Energia nuclear no país

O Brasil tem um programa amplo de uso de energia nuclear para fins pacíficos. Cerca de 3 mil instalações estão em funcionamento, utilizando material ou fontes radioativas para inúmeras aplicações na indústria, saúde e pesquisa. No ano passado, o número de pacientes utilizando radiofármacos foi superior a 2,3 milhões, em mais de 300 hospitais e clínicas em todo o país, com um crescimento anual da ordem de 10% nos últimos 10 anos.

Novos ciclotrons, que permitem a produção de radioisótopos para o uso de técnicas nucleares avançadas, foram instalados em São Paulo e no Rio de Janeiro – a CNEN irá instalar, nos próximos anos, ciclotrons em Belo Horizonte e Recife, para tornar disponível essa tecnologia à população dessas regiões.

A produção de radioisótopos por reatores também tem aumentado, graças à modernização dos equipamentos e da melhoria dos métodos de produção. Novas técnicas de combate ao câncer, com maior eficácia e menos efeitos colaterais, têm surgido, fazendo aumentar a procura pelos radiofármacos, de forma que a demanda sempre supera a produção brasileira.

O uso de técnicas com materiais radioativos na indústria tem aumentado com a modernização dos equipamentos importados e com a sofisticação das técnicas de controle de processos e de qualidade. A demanda por controle de qualidade leva a indústria a utilizar cada vez mais os processos de análise não destrutiva com radiações.

Na área de geração de energia, o Brasil é um dos poucos países do mundo a dominar todo o processo de fabricação de combustível para usinas nucleares. O processo de enriquecimento isotópico do urânio por ultracentrifugação, peça estratégica dentro do chamado ciclo do combustível nuclear, é totalmente de domínio brasileiro. Hoje, o combustível utilizado nos reatores de pesquisa brasileiros pode ser totalmente produzido no país. Entretanto, comercialmente ainda fazemos a conversão e o enriquecimento no exterior. As reservas brasileiras de urânio já confirmadas são de 300 mil toneladas e estão entre as seis maiores do mundo. Em termos energéticos, mesmo com apenas uma terça parte do país prospectado, essas reservas são da mesma ordem de grandeza daquelas atualmente existentes em petróleo e seriam suficientes para manter em funcionamento 10 reatores equivalentes aos existentes – Angra 1 e Angra 2 – por cerca de 100 anos.

O funcionamento dessas duas usinas foi importante no período de falta de energia no Brasil. O Ministério da Ciência e Tecnologia coordenou um grupo de trabalho encarregado de rever o programa nuclear e formular planos de médio prazo. O grupo apresentou um plano realista para ser executado em 18 anos e que objetiva o fortalecimento de todas as atividades,

inclusive a aquisição de novos reatores para chegar em 2022 com, pelo menos, a mesma participação nuclear (4%) na matriz energética brasileira. A proposta encontra-se em análise na presidência da República.

A segurança

A geração de eletricidade por reatores nucleares é uma das áreas tecnológicas que mais se preocupam com a segurança. Prova dessa segurança é que, entre todos os reatores em funcionamento, o único acidente com vítimas foi o de Chernobyl, onde as condições de segurança eram notadamente insipientes.

A segurança nuclear é constantemente aperfeiçoada, sendo fruto de um esforço internacional, com projetos e sistemas cada vez mais seguros e confiáveis, procurando reduzir as possibilidades de falhas e acidentes com conseqüências. Os novos aperfeiçoamentos são introduzidos nos reatores mais antigos, atualizando sempre a condição de segurança. A garantia de que as experiências e novas exigências sejam estendidas a todos os países é dada pelos acordos internacionais, geridos pela AIEA. Outros acordos, destacando-se o Tratado de Não-proliferação (TNP), garantem um amplo controle que inibe a proliferação das armas nucleares e que busca a redução dos arsenais existentes.

No Brasil, esse controle é responsabilidade da CNEN, que licencia e inspeciona as instalações que utilizam material nuclear em todas as áreas, inclusive instalações médicas e industriais, para garantir que esse uso seja feito dentro das mais modernas normas de segurança. Além disso, a CNEN credencia os profissionais responsáveis pela segurança, que, por lei, devem ter um vínculo formal ou fazer parte do corpo de funcionários da instalação. Como já mencionado, toda tecnologia carrega algum risco, e acidentes podem acontecer, mas cabe à humanidade criar condições para que as vantagens superem de forma ampla e compensadora os riscos existentes. Isso é o que tem sido feito com a energia nuclear, cada vez mais segura e cada vez mais presente e indispensável em nosso cotidiano.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

D'AGOSTIN, A. Física Moderna e Contemporânea: com a palavra professores do Ensino Médio. *Universidade estadual do Paraná*. Dissertação de mestrado. Curitiba, 2008.

FELTRE, Ricardo. *Química*. 6 ed. Vol. 1 - Química Geral. São Paulo: Moderna, 2004.

GONÇALVES, O. D.; ALMEIDA, I. P. S. A energia nuclear. *Revista Ciência Hoje*. v. 37. N. 220, 2005.

GURGEL, I. NUPIC/ Faculdade de Educação – USP. In: PIETROCOLA, M. *Física: conceitos e contextos*. Vol.3. 1 ed. São Paulo: FTD, 2013.

HALLIDAY, D; RESNICK, R. WALKER, J. *Fundamentos da Física*. Volume 1. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

LONGHINI, M. D. O Universo representado em uma caixa: introdução ao estudo da Astronomia na formação inicial de professores de Física. *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia*, v. 7, p. 31-42, 2009.

LOPES, V. C. Q. Peça teatral: O sistema solar. Disponível em: <<http://www.oba.org.br/site/?p=conteudo&pag=conteudo&idconteúdo=47&idcat=12&subcat=>>> acesso em: 12 ago. 2015.

MERÇON, F; QUADRAT S. V. A radioatividade e a história do tempo presente. *Química Nova na Escola*, n.19, pp.27-30, 2004.

MOREIRA, M. A. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas. *Aprendizagem Significativa em Revista*. Vol.1, n.2, pp 43-63, 2011.

MOREIRA, M. A. Mapas Conceituais e aprendizagem significativa. *Instituto de Física – Universidade Federal do Rio Grande do Sul*. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>> . Acesso em: 23 fev. 2017.

NOGUEIRA, Salvador. *Astronomia: ensino fundamental e médio*. Coleção Explorando o ensino, v. 11. Brasília : MEC, SEB ; MCT ; AEB, 2009, p. 48-52.

PIETROCOLA, Maurício. *Física: conceitos e contextos*. Vol.1. 1 ed. São Paulo: FTD, 2013.

SANTOS, D. J. A.; OLIVEIRA, D. B.; OLIVEIRA, J. B.; GUIMARÃES, C. B. A Radioatividade: Uma perspectiva de contextualização na aula de Química. *XV Encontro Nacional de Ensino de Química (XV ENEQ) – Brasília, DF, Brasil, 2010 Sites*

<http://portal.if.usp.br/fnc/pt-br/pagina-de-livro/fusão>
<http://www.fisica.ufmg.br/dsoares/reino/cosmolg.htm>
<http://www.portalsaofrancisco.com.br/astrologia/dia-e-noite>
<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/movimento-translacao.htm>
<http://www.infoescola.com/sistema-solar/fases-da-lua/>
<http://www.iag.usp.br/siae98/fenomastro/mares.htm>
<http://www.iag.usp.br/siae98/astroinstrum/modernos.htm>

APÊNDICE A – UEPS Cosmologia

UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA ENSINAR TÓPICOS DE COSMOLOGIA

Objetivos: Comparar as ideias do Universo geostático de Aristóteles-Ptolomeu e heliostático de Copérnico-Galileu-Kepler. Conhecer as relações entre os movimentos da Terra, da Lua e do Sol para a descrição de fenômenos astronômicos (duração do dia/noite, estações do ano, fases da lua, eclipses, marés, etc.). Reconhecer ordens de grandeza de medidas astronômicas. Compreender a relatividade do movimento. Compreender os conceitos de velocidade e aceleração associados ao movimento dos planetas. Apresentar os modelos cosmológicos modernos, em especial, a teoria do big bang como um modelo sofisticado para a evolução do Universo.

Sequência:

(Cada aula tem a duração de 50 minutos)

1. Atividades iniciais (3 aulas)

1.1. Os alunos receberão um texto com o Estudo de Caso: Origem do Universo do qual farão a leitura e apresentarão soluções para os problemas propostos. Ao término, devolverão as respostas ao professor. Em seguida, serão incentivados a representar o Universo que conhecem; bem como, a localização do planeta Terra. Essa atividade é uma adaptação de (LONGHINI, 2009) na qual os alunos divididos em cinco grupos receberão uma espécie de caixa vazada, com furos nas laterais das arestas, fio de nylon, tesoura e algumas folhas de papel em branco. Com esses materiais, eles representarão um modelo tridimensional do universo envolvendo a distribuição espacial dos astros. Ficarão livres para utilizar as folhas de papel para confeccionar os astros, os quais deverão ser inseridos nos seus “universos-caixa”. Para tal, eles poderão escolher livremente a forma de utilizar o papel, como, por exemplo, recortar, dobrar, amassar etc. Em seguida, os astros serão distribuídos pelo “universo”, empregando o fio de nylon para fixá-los nas posições que desejarem. Os fios serão presos na caixa a partir dos orifícios presentes nela, e os alunos deverão explicar onde está localizada a Terra nos modelos por eles confeccionados. Nessa atividade, entrarão em cena os conhecimentos prévios dos alunos sobre a representação da Terra e do Sol em relação ao

restante do Universo. Ao final da atividade cada grupo deverá apresentar brevemente o modelo de universo construído. Estas atividades serão realizadas em 2 aulas.

1.2. Os alunos receberão um *kit* contendo Terra, Sol, Lua e lanterna, confeccionados com materiais de baixo custo para simular os movimentos da Terra, Sol e Lua e os fenômenos astronômicos como dia/noite, estações do ano, fases da Lua, eclipses. Cada grupo vai gravar um vídeo mostrando e explicando os movimentos dos astros e seus respectivos fenômenos astronômicos. A partir das respostas dos alunos nas atividades propostas, o professor vai elaborar situações-problema para o próximo encontro.

2. Situações-problema (1 aula)

Serão entregues aos alunos, por escrito, as questões para a discussão em sala.

- a) *Se o Sol está parado, como o vemos realizar um movimento no céu?*
- b) *Se existem outras galáxias, todas elas têm como centro o Sol?*
- c) *Se o Universo tiver um fim, o que existe além desse limite?*
- d) *As galáxias estão realmente se afastando umas das outras, ou é o espaço que está sendo esticado pela expansão cósmica?*

3. Introdução aos conceitos fundamentais (6 aulas)

3.1. Aula expositiva abordando desde os mitos de criação, passando pelos modelos geocêntrico e heliocêntrico até o Big Bang. Também serão apresentados os vídeos *Astronomia* <Disponível em: <https://www.youtube.com/Watch?v=0JfksHOJX5U>>. Acesso em 10 out. 2016. e *Heliocentrismo* <Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ZzSEIdjwOE4>>. Acesso em 14 nov. 2016.

Em seguida, o texto da peça teatral: *O SISTEMA SOLAR* de Vanessa Crituchi Quartin Lopes, será distribuído para que os alunos leiam e fora da classe, em grupos, elaborem um texto teatral sobre um dos tópicos da Cosmologia para ser apresentado futuramente para os colegas.

3.2. Aula expositiva sobre os fenômenos astronômicos como rotação e translação da Terra, dia e noite, estações do ano, fases da Lua, eclipses e marés. Será utilizado o vídeo sobre fases da Lua <Disponível <https://www.youtube.com/watch?v=N2wTtaJEtNY>>. Acesso em: 14 nov. 2016. Nessa aula serão retomados os materiais que os alunos utilizaram para simular os movimentos da Terra, Sol e Lua para que seja verificada a evolução da aprendizagem dos alunos sobre tais movimentos.

3.3. Serão apresentados aos alunos também os conceitos de velocidade, período e aceleração centrípeta, a partir dos movimentos dos planetas e satélites. Para isso, será apresentada de forma conceitual a lei da gravitação universal. Serão estudados também o tema Ordem de grandeza das medidas astronômicas e os instrumentos que são utilizados para realizar tais medidas. Os alunos resolverão alguns exercícios sobre os conceitos estudados.

4. Aprofundando conhecimentos (4 aulas): Teoria do Big Bang

Nessa aula, serão apresentados os modelos cosmológicos modernos numa apresentação de slides e será retomada a teoria do Big Bang como um modelo sofisticado para explicar a evolução do Universo e o tema espaço-tempo, abordando a teoria da Relatividade. Será realizada a leitura e discussão do texto “Uma breve história do Universo”. NOGUEIRA, Salvador. *Astronomia: ensino fundamental e médio*. Coleção Explorando o ensino, v. 11. Brasília : MEC, SEB ; MCT ; AEB, 2009, p. 48-52.

Em seguida, os alunos receberão parte do texto de Moreira (2012, p. 14) com orientações de como construir um Mapa Conceitual.

Como tarefa de casa eles deverão construir um Mapa Conceitual com os conceitos abordados no texto.

5. Avaliação somativa (2 aulas)

Antes da avaliação será retomado o estudo de caso: Origem do Universo e os alunos responderão novamente as questões propostas no mesmo, bem como as situações-problema do tópico 2. Pedir aos alunos que respondam novamente as questões com base nos novos conceitos aprendidos.

Em seguida serão propostas questões abertas, nas quais os alunos possam expressar sua compreensão dos conceitos da unidade.

6. Aula final e avaliação da aprendizagem (2 aulas)

Os alunos apresentarão nessa aula, a peça teatral que eles escreveram e prepararam durante o período desta UEPS.

Comentários finais integradores sobre o assunto abordado. Os alunos farão em uma avaliação oral sobre as estratégias de ensino utilizadas e sobre seu aprendizado.

7. *Avaliação da UEPS*: Análise qualitativa feita pelo professor, em função dos resultados de aprendizagem obtidos e das observações dos alunos. Reformular algumas atividades, se necessário.

Total de horas-aula: 20

APÊNDICE B – UEPS Radioatividade

UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA ENSINAR RADIOATIVIDADE

Objetivos: Conhecer a natureza das interações e a dimensão da energia envolvida nas transformações nucleares para explicar seu uso em, por exemplo, usinas nucleares, indústria, agricultura ou medicina; Compreender que a energia nuclear pode ser obtida por processos de fissão e fusão nuclear; Compreender as transformações nucleares que dão origem à radioatividade para reconhecer sua presença na natureza e em sistemas tecnológicos; Identificar que a energia solar é de origem nuclear; Analisar, argumentar e posicionar-se criticamente em relação a temas de ciência, tecnologia e sociedade.

(Cada aula tem a duração de 50 minutos)

Sequência:

1. Atividade inicial (2 aulas)

Inicialmente os alunos, em grupos, serão incentivados a elaborar um mapa livre sobre os tópicos que serão trabalhados. No mapa livre os alunos terão a liberdade para fazer associações entre seus conhecimentos e suas representações a partir de palavras chaves distribuídas pelo professor. Cada grupo receberá fichas com as seguintes palavras: Radioatividade – núcleos atômicos – aplicações – usinas nucleares – indústrias – agricultura – medicina – fissão nuclear – fusão nuclear – energia elétrica – decaimento radioativo – conservação de alimentos – arqueologia – usinas nucleares – bombas atômicas.

Após entregar os mapas construídos ao professor, os alunos receberão um texto com uma estória, tratada neste contexto como um caso, do qual farão a leitura e apresentarão soluções para os problemas propostos. O objetivo é sondar os conhecimentos prévios dos alunos sobre tais questões. Ao término, eles devolverão as respostas ao professor.

2. Situações-problema iniciais (2 aulas)

Baseadas em dificuldades já apontadas em pesquisas (SANTOS, et al, 2010), relativas aos conhecimentos prévios expostos pelos alunos. Tais questões poderão ser modificadas se constatados outros erros conceituais.

- a) *Vários elementos são considerados radioativos, entre eles: cézio, urânio e outros. Em sua opinião, o que faz um elemento químico ser radioativo?*
- b) *Você acha que a radioatividade é prejudicial ao ser humano? Se acha que sim, como você explica o uso dela no tratamento de doenças?*
- c) *Você já ouviu falar sobre o uso de radiações para conservação de alimentos? Se os alimentos que são irradiados ficam contaminados, por que será que esse procedimento não foi abolido pelos órgãos competentes?*
- d) *Você considera que a construção de uma usina nuclear pode trazer benefícios para a sociedade? E problemas? Se uma usina nuclear pode trazer problemas para o local onde ela está instalada, por que ela é considerada uma forma de energia com pouco impacto ambiental?*

Estas questões deverão ser discutidas em grande grupo, sob a mediação do professor, com a intenção de ouvir a opinião do grupo, estimular a curiosidade sobre o assunto, sem a necessidade de chegar a uma resposta final. Pois espera-se que as respostas sejam construídas progressivamente em aulas posteriores, no aprofundamento dos conhecimentos.

Na sequência, apresentar o vídeo Radioatividade - um organizador prévio <Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=ZMEMNuTUUa0>>. Acesso em 14 nov. 2016.

Em seguida, os alunos receberão um questionário com algumas perguntas sobre o vídeo, que serão discutidas entre os alunos e professor. O questionário respondido será entregue para avaliação.

3. Revisão (2 aulas)

Iniciar a aula com uma revisão sobre o que foi visto até o momento sobre a radioatividade, abrindo espaço para perguntas dos alunos.

Em seguida, distribuir cópias individuais do texto *A radioatividade e a história do tempo presente* (Fábio Merçon e Samantha Viz Quadrat, 2004, *Química Nova na Escola*, n.19, pp.27-30;), e dar tempo aos alunos para que o leiam e, logo após, se reúnam em pequenos grupos (dois ou três participantes) para a discussão e elaboração de um esquema com a linha do tempo destacando os pontos mais importantes da história da radioatividade. Feito isso, o grupo deverá entregá-lo ao professor.

4. Introdução aos conceitos fundamentais (2 aulas)

Aula expositiva destacando pontos importantes para discussão: descoberta da radioatividade por Henri Becquerel; substâncias fosforescentes ao ser expostas ao Sol; fenômeno da luminescência; descobertas de Madame Curie. Serão introduzidos também os conceitos de força nuclear, número atômico, massa, meia-vida e vida média, fusão e fissão nuclear.

Iniciar a aula com a exibição do vídeo *Descoberta da radioatividade* <Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=XJyxvUz-qkk>>. Acesso em 14 nov. 2016. Em seguida, apresentar os conteúdos em forma de slides, sendo estimuladas discussões em grupo.

Apresentar os experimentos em vídeo: *Radioatividade: partículas alfa e beta* <Disponível em <http://www.youtube.com/watch?v=NOW0yGgvMml>> e o *Experimento de Becquerel* <Disponível em https://www.youtube.com/watch?v=qQlvBKJ__TQ>.

A seguir, os alunos em pequenos grupos vão construir um modelo de núcleo atômico com materiais de baixo custo.

5. Aprofundando conhecimentos (6 aulas)

5.1 Retomar os conteúdos de fusão e fissão nuclear, meia vida, decaimento radioativo e transformações nucleares que dão origem à radioatividade de forma mais específica. Neste momento, o professor mostrará simulações computacionais sobre decaimento radioativo e fissão nuclear. Essas simulações estão disponíveis em: <<https://phet.colorado.edu>>. Para concluir, os alunos resolverão alguns exercícios relacionados aos temas estudados.

5.2 Neste momento serão apresentadas as diversas aplicações da radioatividade por meio do vídeo disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=UEAVXW-ZH-M>>. Acesso em e suas implicações para a sociedade. Em seguida, a turma será dividida em quatro grupos. Cada grupo receberá trechos dos textos de Gonçalves; Almeida, 2005) e Cardoso, referente a uma das aplicações da energia nuclear (1 - Na pesquisa; 2 - Na saúde; 3 - Na indústria; 4 - Geração e segurança), após leitura e discussão nos grupos, farão a exposição de uma síntese a toda à turma como forma de socialização dos temas. Após esse momento, eles receberão parte do texto de Moreira (2012, p. 14) com orientações de como construir um Mapa Conceitual.

5.3 Em seguida, será apresentado aos alunos um vídeo sobre o funcionamento de um reator nuclear nas usinas e os acidentes nucleares disponível em <https://www.youtube.com/watch?annotation_id=annotation_705230221>. Acesso em

Na sequência os alunos, em pequenos grupos, vão construir um mapa conceitual sobre Radioatividade. Os mapas serão apresentados ao grande grupo e todos deverão ser entregues ao professor para avaliação qualitativa.

6. Avaliação individual (2 aulas)

Serão propostas questões abertas, nas quais os alunos possam expressar sua compreensão dos conceitos da unidade e algumas questões sobre decaimento radioativo, fissão nuclear, etc.

7. Aula final e avaliação da aprendizagem (2 aulas)

Será retomado o caso: Radioatividade e os alunos responderão novamente as questões propostas no mesmo, bem como as situações-problema do tópico 2. Pedir aos alunos que respondam novamente as questões com base nos novos conceitos aprendidos e farão comentários finais integradores sobre o assunto abordado.

Os alunos farão uma avaliação sobre as estratégias de ensino utilizadas e sobre seu aprendizado. As manifestações dos alunos serão respondidas em forma de questionário.

8. Avaliação da UEPS: Análise qualitativa feita pelo professor, em função dos resultados de aprendizagem obtidos e das observações dos alunos. Reformular algumas atividades, se necessário.

Total de horas-aula: 18

APÊNDICE C – Lista de exercícios



C. E. José do Patrocínio

Data: ___/___/___

Aluno(a): _____ Turma: _____

LISTA DE EXERCÍCIOS DE FÍSICA

1. Marte tem dois satélites: Fobos, que se move em órbita circular de raio 10000 km e período $3 \cdot 10^4$ s, e Deimos, que tem órbita circular de raio 24000 km. Determine o período de Deimos.

2. A Terra descreve uma elipse em torno do Sol cuja área é $A = 6,98 \cdot 10^{22} \text{ m}^2$. Qual é a área varrida pelo raio que liga a Terra ao Sol entre 0,0 h do dia 1º de abril até 24 h do dia 30 de abril do mesmo ano.

3. Na figura que representa esquematicamente o movimento de um planeta em torno do sol, a velocidade do planeta é maior em:

<p>a. A</p> <p>b. B</p> <p>c. C</p> <p>d. D</p> <p>e. E</p>	
---	--

4. Qual a intensidade do campo gravitacional da Terra sobre a Lua?

Dados:

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$$

$$M_{\text{Terra}} = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

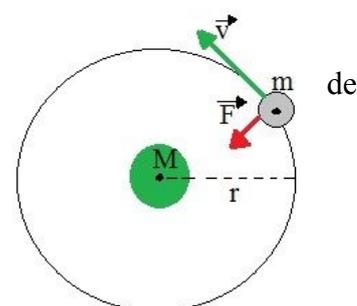
$$M_{\text{Lua}} = 7,36 \cdot 10^{22} \text{ kg}$$

$$R_{\text{Terra-Lua}} = 3,82 \cdot 10^8 \text{ m}$$

5. Um satélite é lançado horizontalmente em órbita circular à uma altura de 150 km da superfície da Terra. Adote o raio da Terra $R = 6400 \text{ km}$, massa da Terra $M = 6,0 \cdot 10^{24} \text{ kg}$, a constante gravitação $G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ e $\pi = 3$.

a) Qual é a velocidade orbital do planeta?

b) Qual é o período orbital?



APÊNDICE D– Avaliação de cosmologia



C. E. José do Patrocínio

Data: ____/____/____

Aluno(a): _____ Turma: _____

AVALIAÇÃO DE FÍSICA

1. Uma jovem moradora do campo certa vez decidiu observar o céu. Todos os dias ela observava o Sol se pôr no horizonte. Primeiramente, ela percebeu que o Sol não estava se pondo exatamente no Oeste, mas um pouco mais ao lado. Após um ano, ela descobriu que o Sol fez um movimento de vai e vem no horizonte, pondo-se às vezes mais à direita e, em outras épocas do ano, mais à esquerda do Oeste. Esse movimento observado pela jovem dá origem à qual fenômeno astronômico?

2. Júpiter é o quinto planeta mais próximo do Sol, e a distância média entre eles é $7,78 \times 10^{11}$ m. Qual é a ordem de grandeza da distância entre esses dois astros?

3. Partindo das questões a seguir, escreva um texto descrevendo a teoria *Big Bang*. Utilize o verso da folha para escrevê-lo.

- O Universo teve um começo ou sempre existiu?
- Que cientistas participaram das descobertas referentes ao Big Bang?
- O Universo tem um centro?
- O Big Bang é uma explosão? Por que o modelo tem esse nome?
- O Big Bang está provado?

4. Avalie sua aprendizagem e as aulas de Física desde o estudo de caso *Origem do Universo*.

APÊNDICE E – Questionário sobre o vídeo “Radioatividade, um organizador prévio”.

Após assistir ao vídeo, responda às questões abaixo:

1) Que acidentes com radioatividade são mencionados no texto?

2) Quem foi o descobridor da radioatividade? Em que ano isso ocorreu?

3) Quais são as quatro forças presentes na natureza? Qual dessas forças é responsável pelo decaimento radioativo?

4) Quais os principais elementos químicos que são usados para a produção de energia nas usinas?

5) Qual foi a finalidade do projeto Manhattan?

6) Quais as aplicações da radioatividade são mencionadas no vídeo?

7) Quais as vantagens das usinas nucleares em relação às termelétricas?

8) Que desvantagens no uso da radioatividade são enumeradas no vídeo? Que malefícios ela pode provocar?

APÊNDICE F– Lista de exercícios



C. E. José do Patrocínio

Data: ____/____/____

Aluno(a): _____ Turma: _____

Lista de Exercícios de Física

1. O que acontece com o número atômico (Z) e o número de massa (A), de um núcleo radiativo quando ele emite uma partícula alfa?

2. Determine o número atômico e o número de massa do elemento resultante, de duas etapas do processo de desintegração de urânio ${}_{92}^{235}\text{U}$;

a) em uma partícula α ;

b) em uma partícula β ;

3. (MACK-SP) Em 13 de setembro de 1987, em Goiânia, ocorreu um dos maiores acidentes radiológicos do mundo, que expôs o ambiente a 19,26g de céσιο-137, cuja meia-vida é de 30 anos. O lixo contaminado está armazenado em depósito, em Abadia de Goiás, e deverá permanecer isolado por 180 anos. Ao final desse período, qual será a massa restante do céσιο-137?

4. Sabe-se que a meia-vida do rádio 228 é de 6,7 anos. Partindo de 80g, que massa desse material radioativo restará após 33,5 anos?

5. (CEESU – 2003) As estrelas, incluindo o Sol, funcionam à custa de reações nucleares, o que significa que no seu interior, ocorre transformação de um elemento químico em outro. Como é chamada a divisão do núcleo do átomo que ocorre nas reações nucleares?

6. A liberação de energia do Sol é proveniente da fusão nuclear que converte hidrogênio em hélio. Assim a liberação dessa energia se deve à transformação de massa de repouso em energia, conforme a equação de Einstein, $E=mc^2$. Calcule o valor da energia liberada em uma estrela, numa única reação de fusão de três partículas alfa (${}_2\text{He}^4$) para formar um núcleo de carbono, ${}_6\text{C}^{12}$.

Massa de repouso da cada partícula alfa = 3728,3 MeV/C²

Massa de repouso do núcleo de carbono = 11 177,7 MeV/C²

APÊNDICE G– Avaliação de radioatividade

C. E. José do Patrocínio

Data: ____/____/____

Aluno(a): _____ Turma: _____

AVALIAÇÃO DE FÍSICA

1. Descreva a descoberta da radioatividade, por Becquerel.

2. Defina “meia-vida” de um elemento radioativo.

3. O chumbo emite alguma radiação? Justifique.

4. O que são raios cósmicos? Qual a importância do estudo dos raios cósmicos?

5. A energia nuclear resulta de processos de transformação de núcleos atômicos. Alguns isótopos de certos elementos apresentam a capacidade de se transformar em outros isótopos ou elementos através de reações nucleares. Baseia-se no princípio da equivalência de energia e massa, observado por Albert Einstein. E foi descoberta por Hahn, Frita e Meitner com a observação de uma fissão nuclear depois da irradiação de urânio com nêutrons. Com base em seus conhecimentos relacionados à energia nuclear, explique o processo de obtenção de energia numa usina nuclear.

6. De todas as aplicações da radioatividade, qual delas você destacaria? Justifique.

APÊNDICE H – Questionário de avaliação da UEPS pelos alunos



C. E. José do Patrocínio

Data: ____/____/____

Turma: _____

QUESTIONÁRIO AVALIATIVO (AULAS SOBRE RADIOATIVIDADE)

1. Qual a sua opinião sobre o tema abordado neste bimestre?
 ótimo bom razoável ruim

2. O que você achou das aulas?
 ótimas boas razoáveis ruins

3. Avalie, numa escala de 1 a 5, os tópicos estudados que você considerou os mais interessantes. *(Sendo 5 para o mais interessante e 1 para o conteúdo menos interessante)*
 - descoberta da radioatividade
 - fissão e fusão nuclear
 - decaimento radioativo
 - meia vida
 - raios cósmicos
 - aplicações da radioatividade
 - usinas nucleares

4. Como você avalia o seu aprendizado dos tópicos estudados, numa escala de 1 a 5? *(Sendo 5 para o que você mais aprendeu e 1 para o que você menos aprendeu)*
 - descoberta da radioatividade
 - fissão e fusão nuclear
 - decaimento radioativo
 - meia vida
 - raios cósmicos
 - aplicações da radioatividade
 - usinas nucleares

5. Com qual(is) estratégia(s) de ensino você mais se identificou?
 mapa mental estudo de caso texto vídeo experimento simulação computacional mapa conceitual _____

6. Quanto à avaliação, você considera que está de acordo com o que foi estudado? Justifique.
 sim não

7. Você ficou satisfeito com o resultado da sua avaliação? Justifique.
 sim não

ANEXO A – Como construir um mapa conceitual²⁵

1. Identifique os conceitos-chave do conteúdo que vai mapear e ponha-os em uma lista. Limite entre 6 e 10 o número de conceitos.
2. Ordene os conceitos, colocando o(s) mais geral(is), mais inclusivo(s), no topo do mapa e, gradualmente, vá agregando os demais até completar o diagrama de acordo com o princípio da diferenciação progressiva. Algumas vezes é difícil identificar os conceitos mais gerais, mais inclusivos; nesse caso é útil analisar o contexto no qual os conceitos estão sendo considerados ou ter uma ideia da situação em que tais conceitos devem ser ordenados.
3. Se o mapa se refere, por exemplo, a um parágrafo de um texto, o número de conceitos fica limitado pelo próprio parágrafo. Se o mapa incorpora também o seu conhecimento sobre o assunto, além do contido no texto, conceitos mais específicos podem ser incluídos no mapa.
4. Conecte os conceitos com linhas e rotule essas linhas com uma ou mais palavras-chave que explicitem a relação entre os conceitos. Os conceitos e as palavras-chave devem sugerir uma proposição que expresse o significado da relação.
5. Setas podem ser usadas quando se quer dar um sentido a uma relação. No entanto, o uso de muitas setas acaba por transformar o mapa conceitual em um diagrama de fluxo.
6. Evite palavras que apenas indiquem relações triviais entre os conceitos. Busque relações horizontais e cruzadas.
7. Exemplos podem ser agregados ao mapa, embaixo dos conceitos correspondentes. Em geral, os exemplos ficam na parte inferior do mapa.
8. Geralmente, o primeiro intento de mapa tem simetria pobre e alguns conceitos ou grupos de conceitos acabam mal situados em relação a outros que estão mais relacionados. Nesse caso, é útil reconstruir o mapa.
9. Talvez neste ponto você já comece a imaginar outras maneiras de fazer o mapa, outros modos de hierarquizar os conceitos. Lembre-se que não há um único modo de traçar um mapa conceitual. À medida que muda sua compreensão sobre as relações entre os conceitos, ou à medida que você aprende, seu mapa também muda. Um mapa conceitual é um instrumento dinâmico, refletindo a compreensão de quem o faz no momento em que o faz.
10. Não se preocupe com “começo, meio e fim”, o mapa conceitual é estrutural, não sequencial. O mapa deve refletir a estrutura conceitual hierárquica do que está mapeado.
11. Compartilhe seu mapa com colegas e examine os mapas deles. Pergunte o que significam

²⁵ <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>

as relações, questione a localização de certos conceitos, a inclusão de alguns que não lhe parecem importantes, a omissão de outros que você julga fundamentais. O mapa conceitual é um bom instrumento para compartilhar, trocar e “negociar” significados.