

O ENSINO DE FÍSICA MODERNA COM ENFOQUE CTS: UMA PROPOSTA
METODOLÓGICA PARA O ENSINO MÉDIO USANDO O TÓPICO RAIOS X.

Fabio Ferreira de Oliveira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Educação (PPGE), Faculdade de
Educação, da Universidade Federal do Rio de Janeiro,
como parte dos requisitos necessários à obtenção do
título de Mestre em Educação.

Orientadores: Prof. Dr. Reuber Scofano Gerbassi

Prof. Dr. Deise Miranda Vianna.

Rio de Janeiro

Maio de 2006

Oliveira, Fabio Ferreira de.

O Ensino de Física Moderna com Enfoque CTS: Uma proposta Metodológica para o Ensino Médio usando o tópico raios X / Fabio Ferreira de Oliveira. – Rio de Janeiro: UFRJ / PPGE, 2006.

viii, 178f : il.; 31 cm.

Orientadores: Reuber Scofano Gerbassi e Deise Miranda Vianna.

Dissertação (mestrado) – UFRJ / PPGE / Programa de Pós-graduação em Educação, 2006.

Referências Bibliográficas: f. 65-68.

1.Introdução. 2. Por que Física Moderna no Ensino Médio?
3. Construindo a Proposta 4. Dados e Análise dos Resultados da Pesquisa. 5. Conclusões e Recomendações. I. Gerbassi, Reuber Scofano ; Vianna, Deise Miranda. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Educação, Programa de Pós-graduação em Educação. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, Reuber Scofano Gerbassi e Deise Miranda Vianna, pelas orientações decisivas para um trabalho sério e determinado.

À Maria da Conceição de Almeida Barbosa Lima, cujas orientações na minha graduação na UERJ contribuíram para uma formação científica sólida e minuciosa.

Aos meus tios, Ana Maria Mônica de Oliveira e Evandro Mascarenhas de Oliveira, que foram fundamentais em todo o processo de elaboração desse trabalho, pelas suas experiências de vida na área acadêmica e por suas revisões e dicas inigualáveis.

Aos meus pais, Irene e Martius, e minha esposa, Andréia
Greenhalgh, forças propulsoras da minha vida e que sem eles,
nada disso seria possível.

ABSTRACT

MODERN PHYSICS TEACHING FOCUSING ON STS (SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIETY) : A METHODOLOGICAL PROPOSAL FOR HIGH SCHOOL LEVEL USING THE X-RAY TOPIC.

Fabio Ferreira de Oliveira

Orientadores: Reuber Scofano Gerbassi e Deise Miranda Vianna.

Abstract da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Educação, Faculdade de Educação, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Educação.

The deficit in up-to-date Physics contents at high school level as to the scientific and technological changes taken place over the last decades has led to an atmosphere where students continually question the purpose of studying Physics since they cannot bridge the gap between Physics and their everyday reality, teachers have found themselves more and more unable further from an effective pedagogical means. In view of such state of affairs, researches have been carried out in order to develop strategies which can encourage relish and constructive conversations in Science classes, particularly in Physics ones, so that it all brings the academic contents closer to the students' daily reality. What is more, it sure will show them the importance of Science in their lives as well as in the scientific and social development of society. Two approaches have been highlighted in the field: the use of academic material focusing on Science, Technology, and Society (STS) and the introduction of Modern Physics (MP) into High School Curriculum (HSC). The present work aims to show the outcome of a survey into private and public high school teachers' view of MP introduced to HSC. The surveyed teachers agreed on the importance of up-to-date topics to be brought into HSC, and are willing to make use of such contents provided that there are available material and refresher courses. Grounded on these data, a methodological proposal has been elaborated on, emphasizing on STS, and also based on research conducted in the Physics teaching methodology, the X-ray topic was decided upon. The present text has been submitted to high school teachers for validation. The outcome was quite satisfactory as to acceptance and availability to put this material into practice. The present work is expected to contribute considerably to a better scientific education and closer approach to classroom reality.

Keywords: STS. Modern Physics. X-Ray. Physics Teaching.

Rio de Janeiro
Maio de 2006.

RESUMO

O ENSINO DE FÍSICA MODERNA COM ENFOQUE EM CTS: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O ENSINO MÉDIO USANDO O TÓPICO RAIOS X.

Fabio Ferreira de Oliveira.

Orientadores: Reuber Scofano Gerbassi e Deise Miranda Vianna.

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Educação, Faculdade de Educação, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos à obtenção do título de Mestre em Educação.

O déficit de conteúdos mais atuais apresentados pelo currículo de Física na escola média, comparado as transformações científicas e tecnológicas ocorridas nas últimas décadas, tem estabelecido em sala de aula uma relação onde o aluno se questiona constantemente do por quê estudar Física, já que não consegue associá-la ao seu dia a dia, e o professor, cada vez mais impotente e distante de uma ação pedagógica eficaz. Nesse sentido, pesquisas estão sendo realizadas a fim de desenvolver estratégias que possam promover a motivação e o diálogo nas aulas de Ciência, especificamente as de Física, no sentido de tornar o conteúdo ministrado mais próximo da realidade do aluno e fazê-lo perceber a importância das Ciências na sua vida e no desenvolvimento científico e social da sociedade. Duas vertentes têm se destacado nesse contexto: uso de materiais com enfoque em Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) e a introdução de tópicos de Física Moderna (FM) na grade curricular do Ensino Médio (EM). Esse trabalho tem por objetivo apresentar o resultado de uma pesquisa realizada com professores de Física que atuam no ensino público e privado sobre a introdução de tópicos de FM no EM. Com base nesses dados elaboramos uma proposta metodológica com ênfase em CTS, onde apoiados em pesquisa na área de Ensino de Física, escolhemos como tópico de FM os raios X. Esse texto foi submetido à validação com os professores e obtivemos um resultado bastante satisfatório em termos de aceitação e disponibilidade para utilização desse material. A distribuição em módulos e o conteúdo de cada um deles foram elogiados, assim como as orientações metodológicas. Esperamos que o trabalho possa contribuir de forma significativa para uma formação científica mais atual e mais próxima da sala de aula.

Palavras-chave: CTS. Física Moderna. Raios X. Ensino de Física.

Rio de Janeiro

Maio de 2006.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.2	DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS	12
2	POR QUE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO	12
2.1	O QUE DIZEM AS PESQUISAS	14
2.2	QUAIS OS TÓPICOS DE FMC MAIS IMPORTANTES	18
2.3	O QUE CONSTA NA LEGISLAÇÃO	19
2.4	A ESCOLHA DO TÓPICO	23
2.5	O ENFOQUE CTS	25
3	CONSTRUINDO A PROPOSTA	31
3.1	A PESQUISA COM OS PROFESSORES	33
3.2	A PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	36
3.3	A CONSTRUÇÃO DA PROPOSTA	37
3.3.1	PROCEDIMENTOS PARA A CONSTRUÇÃO DOS MÓDULOS DIDÁTICOS DA PROPOSTA METODOLÓGICA	39
3.4	A VALIDAÇÃO DA PROPOSTA PELOS PROFESSORES	42
4	DADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS DA PESQUISA	45
4.1	ANÁLISE DOS DADOS DAS ENTREVISTAS COM OS PROFESSORES DE FÍSICA DO EM	46

4.2	ANÁLISE DO CONTEÚDO DOS LIVROS DIDÁTICOS E REVISTAS DA ÁREA DE ENSINO DE FÍSICA	56
4.2.1	LIVROS DIDÁTICOS	56
4.2.2	REVISTAS DE ENSINO DE FÍSICA	59
4.3	ANÁLISE DOS DADOS DO QUESTIONÁRIO DE VALIDAÇÃO DA PROPOSTA METODOLÓGICA	64
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	74
5.1	A OPINIÃO DOS PROFESSORES	74
5.2	O ASSUNTO RAIOS X NOS LIVROS DIDÁTICOS E REVISTAS DA ÁREA DE ENSINO DE FÍSICA	76
5.3	A VALIDAÇÃO DA PROPOSTA METODOLÓGICA	77
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
	ANEXO I – Entrevistas com os professores de Física	87
	ANEXO II – Respostas dos professores ao questionário de validação da proposta metodológica	123
	ANEXO III – A proposta metodológica	142

1 Introdução

Os constantes avanços tecnológicos ocorridos na sociedade a partir do final do século XIX e início do século XX têm levado diversos pesquisadores na área de Ensino de Ciências, em particular de Física, a se articularem no sentido de propor novos caminhos e novas diretrizes que permitam uma reformulação no atual currículo das escolas de ensino médio.

A enorme lacuna que se apresenta hoje, entre o conteúdo formal de Física ministrado nesse segmento do ensino e as profundas transformações tecnológicas ocorridas, mostra que tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) passam a ser fundamentais no sentido de contextualizar o aluno no mundo tecnológico atual e conseqüentemente permitir ao aluno participar da atual sociedade, exercendo plenamente seu papel de cidadão. No entanto, fatores como a má formação docente nos cursos de licenciatura, a falta de uma formação continuada e a escassez de material didático mais atual (OSTERMANN; MOREIRA, 2000a e 2000b; VIANNA, 1998; TERRAZZAN, 1994, GIL PÉREZ, 1996; CARVALHO; GIL-PÉREZ, 2001) fazem da prática pedagógica dos professores de Ciências, particularmente de Física, um processo onde o dinamismo e a motivação passam longe da sala de aula.

Tudo isso contribui para perpetuar os problemas encontrados no Ensino Médio (EM) de Física, e conseqüentemente, compromete a formação social, cultural e científica que se deveria promover.

Esse trabalho de pesquisa surgiu dos problemas encontrados no dia a dia como professor de Física da rede pública e particular, onde no contexto educativo pode-se perceber que o ensino da Física tem-se mostrado desvinculado das reais necessidades formativas requeridas pela atual estrutura apresentada pela sociedade contemporânea. O aluno não consegue entender porque estuda Física. O professor não consegue abordar um conhecimento mais atual.

Habilidades e competências, previstas pelos Parâmetros Curriculares Nacionais -PCN's (BRASIL, 2000) e que deveriam estar sendo desenvolvidas junto ao corpo discente para promover a educação e conscientização para o exercício pleno da cidadania, não são instrumentalizadas na prática, o que acaba perpetuando um currículo de Física desatualizado e desvinculado do dia a dia dos alunos.

O professor de Física do EM privilegia a matematização e a resolução de exercícios, onde cálculos e fórmulas são o objetivo principal em detrimento a parte conceitual, raramente abordada profundamente na sala de aula, pelo fato de não ter uma boa formação nas licenciaturas, de não ter uma formação continuada e pelos programas dos vestibulares priorizarem esse tipo de abordagem.

É difícil para o professor de Física do EM encontrar material didático disponível que busque um enfoque metodológico em Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), apoiado num tópico de FM, especificamente, os raios X.

Nossas questões para a pesquisa tornaram-se então:

- Qual a opinião dos professores de Física do EM com relação à introdução de tópicos de Física Moderna no currículo formal dessa disciplina?

- Existe material disponível sobre FM nos livros didáticos e nas revistas especializadas para ser usado no EM?

- Os professores estariam preparados para usar um material didático caso fosse disponibilizado para isso?

Nosso objetivo é contribuir para melhorar a qualidade do Ensino de Física no Nível Médio de Ensino, através de uma proposta metodológica onde um tema de Física Moderna foi eleito, baseado em suas aplicações no dia-a-dia e em suas implicações histórico-sociais.

Procuramos identificar no dia a dia dos professores de Ciências, em particular a Física, se a Física Moderna é privilegiada.

Verificamos que não existem propostas metodológicas para o ensino de Física no EM, com ênfase em Física Moderna, baseadas em CTS. E, a partir daí elaboramos uma proposta metodológica de concepção didático-científica com enfoque em Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), apoiada nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio de Física (BRASIL, 2000) e as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN's+ (BRASIL, 2002), privilegiando um tema de Física Moderna, particularmente os raios X.

Depois de elaborado o material, validamos a proposta com os outros professores, nossos pares, objetivando abrir caminhos para futuras pesquisas a partir da aplicação da proposta em sala de aula.

1.2 Descrição dos capítulos

Capítulo II - Mostra como foi feito o levantamento do corpo teórico do trabalho de pesquisa. Descreve pesquisas em Ensino de Física que estavam inseridas no contexto dos objetivos do trabalho, os pareceres oficiais (LDB, PCN's e PCN's +) e alguns referenciais importantes sobre CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade).

Capítulo III - Nesse capítulo descrevemos a metodologia usada nas etapas da pesquisa: a pesquisa de opinião com os professores de Física do Ensino Médio (EM), a análise de conteúdo de 13 livros didáticos de Física e revistas da área, a elaboração da proposta metodológica e a validação desse material com os professores de Física.

Capítulo IV – São apresentados os dados coletados nas etapas da pesquisa e suas respectivas análises. Nesse capítulo apresentamos a proposta metodológica elaborada sobre os raios X, decorrente dos resultados analisados.

Capítulo V – São feitas as considerações finais e algumas recomendações e sugestões.

2 Por que Física Moderna no Ensino Médio?

Nas últimas décadas os avanços científicos e tecnológicos têm despertado nos jovens olhares mais atentos sobre temas relacionados às Ciências de uma forma geral. A

Física, em particular, tem contribuído de forma significativa nesse sentido, principalmente para o desenvolvimento da Medicina e das Engenharias.

Porém, é preocupante como o Ensino de Ciências, particularmente a Física no Ensino Médio, não tem acompanhado esse desenvolvimento e cada vez mais se distancia das necessidades dos alunos no que diz respeito ao estudo de conhecimentos científicos mais atuais.

Um dos fatores que contribuem para ratificar esse quadro é a defasagem em termos de conteúdo do atual currículo de Física e o que o aluno acompanha e é divulgado pela mídia escrita e falada, sobre os avanços e descobertas científicas no campo da Física no Brasil e no mundo.

É comum, nas aulas de Física, os alunos trazerem discussões sobre assuntos que leram ou ouviram em revistas, jornais e telejornais, e que por serem mais atuais e/ou estarem presentes no seu no dia a dia, despertam um interesse em conhecê-los melhor e, muitas vezes, entender que princípios físicos explicam o fenômeno.

Portanto a lacuna provocada por um currículo de Física desatualizado resulta numa prática pedagógica desvinculada e descontextualizada da realidade do aluno. Isso não permite que ele compreenda qual a necessidade de se estudar essa disciplina, que, na maioria dos casos, se resume em aulas baseadas em fórmulas e equações matemáticas, excluindo o papel histórico, cultural e social que a Física desempenha na sua vida.

O quadro se agrava à medida que esse aluno, quando termina o Ensino Médio, pára de estudar ou envereda por carreiras onde não há mais ênfase numa formação científica.

O Ensino Médio constitui, portanto, o último contato formal com a Física. Dessa forma, os problemas encontrados nesse segmento do ensino, com respeito a uma formação científica mais atual e mais presente no dia a dia, contribuirão negativamente na formação cidadã desse indivíduo.

2.1 O que dizem as pesquisas

Algumas pesquisas na área de Ensino de Física têm contribuído com propostas que apontam caminhos para um ensino de Física mais atual, eficaz e contextualizado. Duas vertentes foram analisadas: a necessidade de uma atualização curricular (TERRAZZAN, 1992 e 1994; CAVALCANTE, 1999; OSTERMANN; MOREIRA, 2000a e 2000b; GARCIA, 2003) e a introdução de conceitos de Física Moderna e Contemporânea na grade curricular do Ensino Médio (OSTERMANN; CAVALCANTI, 2001; VALADARES; MOREIRA, 1998; PINTO; ZANETIC, 1999; CAVALCANTE; JARDIM; BARROS, 1999; BASSO, 2000; OSTERMANN; MOREIRA, 2000a e b; MACHADO; NARDI, 2003; REZENDE JUNIOR; SOUZA CRUZ, 2003).

Ostermann & Moreira (2000b, p.391), apoiados numa revisão de literatura sobre atualização do currículo de Física do Ensino Médio, destacam algumas razões como mais importantes:

“- Despertar a curiosidade dos alunos e ajudá-los a reconhecer a física como um empreendimento humano;

- Os estudantes ouvem falar em temas como buracos negros e big bang na televisão ou em filmes de ficção científica, mas nunca nas aulas de física.
- O ensino de temas atuais da física pode contribuir para transmitir aos alunos uma visão mais correta dessa ciência e da natureza do trabalho científico, superando a visão linear do desenvolvimento científico, hoje presente nos livros didáticos e nas aulas de física.”(tradução nossa).

É importante ressaltar que a atualização do currículo não pode ser desvinculada da preocupação com a formação inicial e continuada de professores. Não basta introduzir novos assuntos que proporcionem análise e estudos de problemas mais atuais se não houver uma preparação adequada dos alunos das licenciaturas para esta mudança e se o profissional em exercício não tiver a oportunidade de se atualizar. Os professores precisam ser os atores principais no processo de mudança curricular, pois serão eles que as implementarão na sua prática pedagógica. Nesse sentido, Carvalho & Gil-Pérez (2001) mostram ainda que necessidades formativas tais como a *“ruptura com visões simplistas da ciência, conhecimento da matéria a ser ensinada, análise crítica do ensino tradicional e preparação de atividades capazes de gerar uma aprendizagem efetiva”* devem fundamentar as bases necessárias para uma formação plena.

Baseados nesta análise, destacamos a importância de se buscar uma atualização curricular que seja mais adequada tanto ao aluno quanto ao professor.

“... sempre buscamos alternativas em que o conteúdo científico fosse aprofundado e atualizado, mas adequado à realidade do aluno e do professor, integrando assim duas áreas de conhecimentos: científica e pedagógica.”

(VIANNA, 1998, p.1).

Dessa forma, o professor engajado nessa proposta necessita ultrapassar o conhecimento meramente propedêutico e se preocupar com os problemas sociais relacionados com o científico e o tecnológico. Assim, favorece a construção em conjunto com seus alunos, de atitudes, valores e condutas que permitam a eles atuar com fundamento e responsabilidade nas questões sociais, seja de forma individual, seja de forma coletiva.

Machado & Nardi (2003) mostram, através de uma pesquisa sobre as condições que ocorrem o ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC) ¹ nas escolas públicas da cidade de Foz do Iguaçu, que dos professores de Física entrevistados, 67% não possuía graduação nesta área específica, fato que já havia sido sinalizado por Terrazzan (1992), de uma forma mais geral, há uma década atrás. Além disso, com relação aos temas de FMC abordados durante a graduação:

“[...] Estes dados mostram uma evidente lacuna na formação da maioria destes professores quanto aos temas considerados, acentuada pelo fato da minoria ser formada na área específica de Física.” (MACHADO; NARDI, 2003, p.2)

Assim, concluímos que propostas de atualização curricular que não contemplem no contexto de seus objetivos um olhar sobre a formação inicial e continuada de professores de Ciência, particularmente de Física, estarão distantes do êxito que se propõem.

¹ Em alguns Estados o ensino de FMC já faz parte do currículo formal do Ensino Médio, o que não é o caso do Rio de Janeiro. A Secretaria de Educação do Estado do Rio de Janeiro, em convênio com a Universidade Federal do Rio de Janeiro, iniciou no ano de 2004 e durante o ano de 2005 a elaboração de uma nova orientação curricular para o EM público, que está em fase de análise. A parte referente à Física Moderna não foi contemplada, com a alegação de falta de tempo disponível *pois tal inclusão só poderia se dar com o sacrifício de tópicos essenciais a própria compreensão do tema*. Mais informações em: <http://www.ccmn.ufrj.br/reorientacao.html>. Esse e outros fatores foram os que motivaram a elaboração desse trabalho.

Há um consenso entre os trabalhos analisados em relação à utilização de tópicos de FMC na atualização do currículo de Física do Ensino Médio (EM), entretanto, como fazê-lo, ainda constitui um problema em aberto.

Terrazzan (1992) afirma que a divisão curricular² adotada no ensino de Física nas escolas do EM segue, basicamente, a seqüência ditada pelos modelos estrangeiros, o que na prática exclui a Física desenvolvida no último século e não permite que os alunos a compreendam como um empreendimento humano. Adverte ainda que qualquer proposta que vise uma reformulação no currículo dessa disciplina deve respeitar a inserção dos professores que atuam nesse nível de ensino no processo de desenvolvimento dessa tarefa.

Ostermann & Moreira (2000a, p.11) num estudo sobre a introdução de dois tópicos de FMC (partículas elementares e supercondutividade), com alunos da graduação em Física, nas aulas dessa disciplina em escolas públicas e particulares concluíram que:

“[...] É viável ensinar FMC no EM, tanto do ponto de vista do ensino de atitudes quanto de conceitos. É um engano dizer que os alunos não têm capacidade para aprender tópicos atuais. A questão é como abordar tais tópicos [...] Se houve dificuldades de aprendizagem não foram muito diferentes das usualmente enfrentadas com conteúdos da Física Clássica [...] Os alunos podem aprendê-la se os professores estiverem adequadamente preparados e se bons materiais didáticos estiverem disponíveis.”

A discussão sobre a necessidade de atualização curricular, com base nas pesquisas analisadas, parece constituir um assunto esgotado. Os principais problemas que surgem

² Apesar dessa tese ter 13 anos, suas referências continuam atuais, o que mostra a inércia em termos de mudança nos currículos de Física do EM atual.

dessa análise referem-se ao ‘como fazer’, a fim de que os tópicos de FMC não se tornem mais um num currículo que necessita de uma reforma urgente.

O caráter formativo desses tópicos deve ser priorizado e faz-se necessário buscar propostas que fujam da mera informalidade do assunto, a fim de que não sejam inseridos como pontos isolados em um currículo que já é bastante extenso.

Destacamos como iniciativa isolada na cidade do Rio de Janeiro, a implantação de um projeto paralelo ao currículo formal de Física, realizada pelo Colégio Santo Inácio, onde a Olimpíada Brasileira de Astronomia (OBA) serviu de motivação para a introdução de assuntos da FMC. Segundo Marques e Silva (2005, p.35):

“[...] Após a experiência de 2004 [...] pareceu-nos possível propor o ensino da FMC através da astronomia [...] projetos independentes, de curta ou longa duração, podem ser ministrados com alunos que realmente se interessem pelo tema, motivando os demais e demonstrando a importância da FMC para toda a escola [...] O próprio aumento drástico pela OBA em nosso Colégio mostra que a persistência e a divulgação podem levar a criação de uma cultura que propicie à inclusão da FMC nas escolas brasileiras.”

2.2 Quais os tópicos de FMC mais importantes?

Numa pesquisa realizada entre físicos, pesquisadores em ensino de Física e professores de Física do EM, Ostermann & Moreira (1998, apud OSTERMANN;

MOREIRA, 2000) elaboraram uma lista consensual sobre quais tópicos de FMC deveriam ser abordados no EM no intuito de atualizar o currículo de Física deste nível.

Assim, os tópicos mais importantes na opinião dos entrevistados foram: *efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, leis de conservação, radioatividade, forças fundamentais, dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origem do universo, raios X, metais e isolantes, semicondutores, laser, supercondutores, partículas elementares, relatividade restrita, Big Bang, estrutura molecular e fibras ópticas.*

O resultado dessa pesquisa delimita um quadro favorável em termos de quantidade e diversidade de tópicos de FMC que podem ser utilizados no currículo do EM e que traduzem a vontade da comunidade científica.

Entretanto, como afirmam Rezende Jr. & Souza Cruz (2003), os tópicos não têm a mesma natureza com relação às bases conceituais, o que dependendo da proposta metodológica em que estejam inseridos, podem representar problemas na construção do conhecimento científico.

“[...] sugere-se aqui a necessidade de uma discussão sobre a natureza conceitual dos referidos tópicos, pois a partir disso, poderão ser clareados e trazidos à tona os aspectos epistemológicos, as relações da ciência com a tecnologia e seus impactos sociais [...] os conceitos de FMC carregam em sua essência um movimento único tanto do ponto científico quanto histórico e social.” (Ibid., 2003, p.2-3)

2.3 O que consta na legislação

Uma análise dos textos da **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional** (BRASIL, 1996), dos **Parâmetros Curriculares Nacionais** (BRASIL, 2000) e, mais recentemente das **Orientações Curriculares Nacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio** (BRASIL, 2002), mostra que o ‘Novo Ensino Médio’ deve priorizar “[...] *a formação geral em oposição à formação específica; o desenvolvimento de pesquisar, buscar informações, analisá-las e selecioná-las; a capacidade de aprender, criar, formular, ao invés do simples exercício de memorização.*” (BRASIL, 2000, p.5).

Com relação ao ensino de Física nesse nível de ensino, indicam que a escolha dos temas a serem abordados deve ser feita de modo que o conhecimento de Física deixa de se estruturar em um objeto em si mesmo, mas passa a ser entendido como um instrumento para a compreensão do mundo.

Os textos assinalam que os conhecimentos de Física são fundamentais para a formação científica do cidadão contemporâneo e que o estudo dos conceitos físicos deve ser contextualizado e interagir com outras disciplinas de forma a ganhar sentido quando aplicado ao dia a dia de jovens e adolescentes.

Apontam para o fato de que alguns aspectos da chamada **Física Moderna** são indispensáveis para permitir aos alunos adquirir uma compreensão mais abrangente dos conhecimentos físicos necessários para o entendimento das tecnologias mais recentes.

Além disso, o estudo da Física deve ser compreendido pelo aluno como um processo de construção humana, inserido num contexto histórico e social, abrangendo um corpo teórico de conhecimentos científicos e tecnológicos que têm contribuído para o desenvolvimento de pesquisas que podem melhorar a qualidade de vida da sociedade.

Assim, habilidades e competências precisam ser construídas no ensino de Física de forma a dar significados aos conhecimentos adquiridos e “... *os critérios que orientam a ação pedagógica deixam, portanto, de tomar como referência primeira ‘o que ensinar de Física’, passando a centrar-se sobre o ‘para que ensinar Física’...*” (BRASIL, 2002, p.78), visando uma formação científica mais crítica e, conseqüentemente, mais cidadã.

Com relação ao que o texto chama de **Temas Estruturadores**, onde seis deles foram privilegiados para organizar de forma mais abrangente o ensino de Física, nos interessa, mais particularmente, o tema **Matéria e Radiação**.

Como justificativa para escolha desse tema, ressalta a importância do estudo das radiações e suas interações com a matéria, tomando como base *os modelos de constituição da matéria e o espectro eletromagnético*, proporcionando uma abordagem e compreensão dos fenômenos associados a essas interações e ampliando dessa maneira, o entendimento do universo físico microscópico.

“... O cotidiano contemporâneo depende, cada vez mais intensamente, de tecnologias baseadas na utilização de radiações... Introduzir esses assuntos no ensino médio significa promover nos jovens competências para, por exemplo, ter condições de avaliar riscos e benefícios que decorrem da utilização de diferentes radiações, compreender os recursos de diagnóstico médico (radiografias, tomografias, etc.)...” (BRASIL, 2002, p.77).

Na sugestão das unidades temáticas relacionadas ao tema **Matéria e Radiação**, gostaríamos de ressaltar a unidade temática **Radiações e suas interações**, onde parte do conteúdo programático está presente nos assuntos que foram abordados em parte dos módulos de nossa proposta metodológica.

“Identificar diferentes tipos de radiações presentes na vida cotidiana, reconhecendo sua sistematização no espectro eletromagnético (das ondas de rádio aos raios gama) e sua utilização através de tecnologias a elas associadas (radar, rádio, forno de microondas, tomografia etc.) [...] Compreender os processos de interação das radiações com os meios materiais para explicar os fenômenos envolvidos em, por exemplo, fotocélulas, emissão e transmissão de luz, telas de monitores, radiografias.”
(BRASIL, 2002, p.78).

Em 2004, o Ministério da Educação (MEC) através da Secretaria de Educação Básica (SEB), promoveu uma discussão nacional com professores e estudantes da rede pública, além de equipes técnicas da SEB, a fim de discutir o texto dos PCN's, visto que na prática

“[...] é necessário considerar que tal proposta não se concretizou com a sua implementação por não ter conseguido, nas diferentes instâncias do Ensino Médio, aprofundar análise consistente que permitisse esclarecer e orientar as escolas, bem como, promover o estudo do documento e discutir as possibilidades didático-pedagógicas, por ela apresentadas, junto ao professor na execução da sua prática docente”. (BRASIL, 2004, p.6).

Com relação à Física no EM, o documento busca uma reflexão do texto dos PCN's no sentido de reorientar a prática pedagógica do professor dessa disciplina, revendo também a formação científica que se necessita desenvolver junto aos alunos.

“... O desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico no educando são finalidades do ensino médio, conforme o Art. 35 da LDB/96. Desse modo, seria fundamental que o professor se apresentasse aos alunos questionando suas verdades e os convidasse a fazer o mesmo [...] A ciência/física desempenha papel central nesse contexto, pois legitima discurso.” (BRASIL, 2004, p.26).

O documento final, disponível em <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/01Apresentacao.pdf> e <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/08Fisica.pdf>, ainda está em fase de análise e deve ser considerado em qualquer proposta que vise uma reformulação no atual currículo de Física.

2.4 A escolha do tópico

Apoiados nas pesquisas anteriores em Ensino de Física, nos documentos oficiais e na lista de tópicos eleitos como mais importantes na pesquisa de Ostermann & Moreira (1998 apud OSTERMANN; MOREIRA, 2000), escolhemos os raios X como tópico de Física Moderna (FM)³ da proposta metodológica que foi elaborada.

³ No desenvolvimento desse trabalho tomamos como base a divisão de Ostermann & Moreira (2000c), que apresenta a Física Moderna tendo seu início com Becquerel no final do séc. XIX e indo até meados da década

A opção por esse tópico justifica-se pelo fato de que o seu estudo permite uma abordagem sobre Física Moderna através de assuntos como os modelos atômicos, o espectro eletromagnético, as radiações ionizantes e suas aplicações, etc.

Dessa forma, devido à abrangência do assunto, pode-se relacionar a Física com outras áreas do conhecimento como a História, através da compreensão do momento histórico em que se deu a divulgação científica de Röntgen, por exemplo, influenciando rapidamente os diagnósticos na Medicina, e a Biologia, através dos efeitos nocivos da exposição excessiva das células aos raios X.

Busca-se assim, fugir do ensino compartimentalizado e memorístico dessa disciplina nos dias atuais, permitindo ao aluno uma visão mais integrada de mundo.

Por se tratar de um assunto que requer um tratamento matemático de nível superior e levando em consideração as limitações matemáticas do EM, em nossa abordagem na proposta metodológica, priorizamos a parte qualitativa dos fenômenos. A parte quantitativa só foi utilizada quando fazia referência ao modelo clássico, pois este é estudado nesse segmento do ensino.

O trabalho de Ostermann & Moreira (2000c, p.5-7) apóia-se três vertentes básicas para a inserção de tópicos de FMC: aquela que explora e se respalda nos limites da Física Clássica; a que não utiliza qualquer referência aos modelos clássicos e a terceira, que escolhe tópicos essenciais para serem inseridos mas busca sustentação na Física Clássica para sua abordagem.

Quando fizemos a opção de tratar exclusivamente os raios X, *a priori*, seguimos a terceira vertente e acrescentamos ainda a visão histórica e social, caracterizando um

de 40 do séc. XX.

enfoque metodológico em Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), que é nossa proposta para o ensino de Física.

2.5 O enfoque em CTS

Na construção da proposta metodológica procuramos privilegiar uma concepção de ensino Ciências onde o assunto raios X fosse abordado de forma que se possa compreender como são produzidos, quais foram suas implicações históricas, sociais e éticas, assim como avaliar os riscos para a saúde devido a sua utilização indiscriminada.

Isso permite ao aluno compreender quais os riscos e benefícios que a aplicação de uma teoria científica pode trazer para a sua vida e para a sociedade em que vive, habilitando-o a questionar e decidir sobre questões que envolvam conhecimentos de Ciência e Tecnologia, visando o seu entorno e as implicações sociais provenientes dessas situações.

Dessa forma, a proposta está centrada numa metodologia para o ensino com ênfase em Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), onde o objetivo central no Ensino Médio é *desenvolver a alfabetização científica e tecnológica voltada para a cidadania, no sentido de permitir que o aluno possa compreender e tomar decisões responsáveis sobre questões de ciência e tecnologia na sociedade e atuar na solução de tais questões* (AIKENHEAD, 1994, p.5).

Várias estruturas podem representar uma categoria de ensino em CTS, de acordo com Aikenhead (1994, p.11-12). Abaixo apresentamos três categorias nas quais entendemos que nossa proposta esteja enquadrada.

“Ciências através do conteúdo em CTS: O conteúdo em CTS serve para organizar os conteúdos de Ciência e sua seqüência. O conteúdo de Ciências é multidisciplinar, sendo ditado pelo conteúdo CTS. Os alunos são avaliados pela sua compreensão do conteúdo CTS, mas não na mesma proporção que o conteúdo de Ciência pura (exemplo, 30% CTS, 70% Ciência).

Ciências junto com o conteúdo CTS: O foco do ensino é o conteúdo em CTS. O conteúdo relevante de Ciências enriquece o aprendizado. Os alunos são avaliados na mesma proporção nos conteúdos em CTS e em Ciências pura.

Ciências incorporadas ao conteúdo CTS: O foco do ensino é o conteúdo em CTS. O conteúdo relevante de Ciências é mencionado, mas não é ensinado sistematicamente. Pode ser dada ênfase aos princípios gerais da Ciência. Os alunos são avaliados primeiramente no conteúdo em CTS, e são avaliados parcialmente no conteúdo de Ciências pura (exemplo, 80% CTS, 20% Ciências). “(tradução nossa).

Em pesquisas na área, Aikenhead (1994, p.7-8) mostra que os materiais de ensino em CTS são mais bem organizados quando seguem a seqüência apresentada no quadro abaixo:



Figura 1 – Esquema do Ensino em CTS. (Figura retirada do texto de Glen Aikenhead *What is STS Science Teaching*, 1994, p.7).

“O assunto a ser abordado começa no domínio da sociedade, representado na figura pelo quadrado branco. Nesse momento são levantadas questões-chave ou problemas do tipo: ‘Deveríamos nos preocupar com as linhas de alta voltagem na nossa comunidade?’ ‘Como podemos explicar o conflito de testemunhos científicos nos artigos de jornal?’ ‘Como é comprovado numa corte de justiça que um indivíduo dirigiu bêbedo?’ ou ‘Qual a finalidade de usarmos tipos diferentes de fontes de luz?’.

Para o entendimento dessas questões examina-se geralmente algum tipo de tecnologia que está associada ao assunto, mesmo que superficialmente. Na

figura, o domínio da tecnologia é representado pela área circular escura. A Tecnologia está preocupada primeiramente com o desenvolvimento de processos e projetos de conhecimento, em resposta as necessidades humanas e sociais.

Portanto, assuntos referentes ao aspecto social estão quase sempre relacionados com a tecnologia. Os alunos são mais influenciados pelo mundo tecnológico do que pelo mundo científico.

Como mencionado acima, a questão ou problema social (no início da seta na figura) cria a necessidade do entendimento de um conhecimento tecnológico exato (área cheia escura). Entretanto, ambos criam a necessidade de se conhecer algum conteúdo de Ciências (círculo central claro). Por exemplo: “Qual a diferença científica entre investigação etiológica e epidemiológica relatada nos jornais?” “Como o etanol se espalha pela circulação sanguínea através do sistema respiratório?” ou “O que é luz?”. Esse conteúdo de Ciências irá ajudar os alunos a entender a tecnologia e como o assunto está inserido na sociedade.

A seqüência de ensino sugerida pela seta da figura começa no domínio da sociedade, atravessa o âmbito da tecnologia e da ciência tradicional, e passa novamente pela tecnologia. Existe uma vantagem em se retornar à tecnologia, principalmente para os alunos que já haviam estudado o assunto antes. Eles terão mais consciência do que aprenderam pelo uso da Ciência do que pelo uso da Tecnologia. Dessa forma, os alunos irão entender mais profundamente o significado de Ciência e Tecnologia. Nesse momento, podem ser introduzidas tecnologias mais complexas.

Finalmente, a seta termina no domínio da sociedade. Aqui os alunos geralmente discutem a questão ou o problema original e tomam as decisões necessárias. Essas decisões são pensadas numa compreensão profunda da base científica, no entendimento da relevância tecnológica e no anúncio de valores relevantes. Por exemplo, uma turma decide que posição deve ser adotada pela comissão local de eletricidade em relação às linhas de força de alta voltagem “(tradução nossa).

Acevedo Diaz (2002) mostra que a utilização do ensino em CTS, no âmbito educativo objetiva compreender melhor a Ciência e a Tecnologia no contexto social. Constitui uma proposta educativa que planeja uma mudança curricular em todos os níveis de ensino com a finalidade principal de dar uma formação em conhecimentos e valores, que favoreçam a participação cidadã responsável e democrática, na avaliação e controle das implicações sociais da Ciência da Tecnologia.

Para Manassero, Vázquez e Acevedo (2001, apud ACEVEDO DIAZ, 2002, p.2):

“... A educação CTS é uma inovação destinada a promover uma extensa alfabetização científica e tecnológica (*science and technology literacy*), de forma que se capacite todas as pessoas (*science and technology for all*) para poder tomar decisões responsáveis em questões controvertidas relacionadas com a qualidade das condições de vida, num sentido amplo, em uma sociedade cada vez mais impregnada de Ciência e Tecnologia.” (tradução nossa).

Do ponto de vista da formação inicial e continuada de professores, o professor engajado nessa proposta necessita ultrapassar o conhecimento meramente propedêutico e se

preocupar com os problemas sociais relacionados com o científico e o tecnológico. Assim, favorece a construção em conjunto com seus alunos, de atitudes, valores e condutas que permitam a eles atuar com fundamento e responsabilidade nas questões sociais, seja de forma individual, seja de forma coletiva.

Seguem abaixo algumas dificuldades relacionadas aos professores e apontadas por Acevedo Diaz (2002, p.3), para por em prática a educação em CTS no ensino de Ciências:

- “1- Sua formação é basicamente disciplinar para abordar algo que é essencialmente multidisciplinar;
- 2- Certo temor de perder sua identidade profissional, o que em parte está relacionado com a percepção que tem das finalidades do ensino de Ciências;
- 3- Suas crenças sobre a natureza das Ciências, tanto os aspectos epistemológicos quanto os sociológicos;
- 4- O caráter mais aberto, dialético e provisório dos materiais curriculares em CTS e a própria avaliação das questões em CTS, o que dá lugar a certa insegurança por parte dos professores;
- 5- A pouca familiaridade da maior parte dos professores com muitas das estratégias de ensino-aprendizagem e com os critérios, normas, técnicas e instrumentos de avaliação que são usados no ensino em CTS;
- 6- Determinadas estratégias que são adequadas e estimulantes para a maioria dos alunos exigem demais dos professores;
- 7- Outras resistências comuns a todas as novidades devido ao caráter geralmente conservador dos sistemas educativos.”(tradução nossa).

Um fator importante nessa implementação diz respeito ao momento da prática pedagógica. O professor, além de assumir uma postura que seja motivadora para conduzir o assunto, deve permitir que os alunos tenham voz ativa na discussão. Dessa forma, a relação professor-aluno necessita ser bastante valorizada, assim como os vínculos afetivos devem ser levados em consideração no decorrer das aulas, a fim de que os conteúdos do currículo em CTS sejam adaptados ao nível evolutivo e de interesse dos alunos.

Assim, um ensino de Ciências em CTS busca não só uma autonomia discente como docente, legitimado por um olhar mais cuidadoso sobre o papel científico nas questões sociais, e onde, de acordo com Teixeira (2003, p.188), é necessário construir

“[...] um novo perfil de educadores, que tenham visão mais ampla do papel da escola na sociedade, como real instrumento para converter os súditos em cidadãos, e para edificar uma nova realidade: justa, humana e, democrática [...]”.

3 Construindo a proposta

A metodologia adotada para o trabalho de pesquisa percorreu três etapas:

1ª etapa – Foi realizada uma série de 10 entrevistas com professores de Física que atuam no EM da cidade Rio de Janeiro, com o objetivo de verificar a opinião deles sobre a introdução de tópicos de FM no EM, particularmente os raios X.

2ª etapa – Após a análise dos dados da pesquisa de opinião com os professores foi necessário realizar uma análise de conteúdo em livros do EM e revistas da área de Física,

no intuito de verificar a existência de material que fizesse uma abordagem sobre FM, especificamente os raios X, num enfoque em CTS e numa linguagem pertinente ao EM.

3ª etapa - Na etapa final, nos apoiamos nos resultados anteriores e partimos para a elaboração de uma proposta metodológica para ser utilizada no EM regular de Física, o que constitui o objetivo principal desse trabalho. Essa proposta foi analisada por um professor do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro e, posteriormente, foi validada por um grupo de nove professores (não foram necessariamente os que participaram da primeira etapa) que atuam no EM regular de Física.

Com o objetivo de verificar a opinião dos professores de Física do EM sobre a introdução de tópicos de FM, particularmente os raios X, no currículo formal optamos por uma *pesquisa qualitativa*, nos termos de Triviños (1987, p.129-152), onde buscamos na fala dos professores subsídios que ratificassem as hipóteses iniciais e confirmassem a revisão de literatura, além de fornecer resultados importantes que confirmaram o quadro teórico analisado.

A pesquisa realizada procurou ampliar e aprofundar a questão do ensino de Física e por isso constitui-se também um *Estudo Exploratório*. Triviños argumenta que Estudos Exploratórios

“... permitem ao investigador aumentar sua experiência em torno de determinado problema. O pesquisador parte de uma hipótese e aprofunda seu estudo nos limites de uma realidade específica, buscando antecedentes, maior conhecimentos para, em seguida, planejar uma pesquisa descritiva ou de tipo experimental. Este tipo de investigação, por exemplo, não exige a revisão de literatura, as entrevistas, o emprego de questionários etc., tudo

dentro de um esquema elaborado com a severidade característica de um trabalho científico.” (TRIVIÑOS, 1987, p. 109-110).

Para Selltiz, esse tipo de estudo envolve:

“... (a) levantamento bibliográfico; (b) entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; e (c) análise que ‘estimulem a compreensão’” (SELLTIZ ET AL., 1967, p.63, apud GILL, 2002, p.41)

3.1 A pesquisa com os professores

Trabalhamos com uma amostra seletiva de dez professores de Física que atuam no Ensino Médio, público e privado, da cidade do Rio de Janeiro. O grupo foi composto de sujeitos que estavam cursando ou tinham concluído algum curso de pós-graduação (seis sujeitos) e sujeitos com a graduação (quatro sujeitos).

Utilizamos para a coleta de dados a técnica de *entrevistas semi-estruturadas* que

“parte de certos questionamentos básicos, apoiados em teorias e hipóteses, que interessam à pesquisa, e que, em seguida, oferecem amplo campo de interrogativas, fruto de novas hipóteses que vão surgindo à medida que se recebem as respostas do informante.” (TRIVIÑOS, 1987, p.146).

Elaboramos como guia de entrevista um *questionário* com nove perguntas que serviram de base para dar suporte às entrevistas realizadas no período entre Julho e Setembro de 2004. Em média, cada entrevista durou entre 15 e 30 minutos e foi gravada em fita cassete com a autorização do entrevistado.

Segue abaixo a estrutura do questionário da pesquisa de opinião com os professores:

<p>1-Em que série(s) do Ensino Médio você atua?</p> <p>2- Em algum momento você já trabalhou com tópicos de Física Moderna, como por exemplo, as radiações eletromagnéticas? Quais tópicos já foram abordados? (Caso seja não a resposta: Você gostaria de trabalhar com esses tópicos?).</p> <p>3- Existem orientações oficiais (PCN's e PCN+) e pesquisas na área de Ensino de Física que indicam ser importante a introdução de tópicos de Física Moderna no ensino médio, no sentido de formar um cidadão mais inserido no contexto tecnológico atual através de uma abordagem mais interdisciplinar, contextualizada e apoiada em competências. O que você acha disso? Você já leu as orientações oficiais? Você acha que isso é realmente importante?</p> <p>4- Um dos tópicos em pauta são os raios X. Você acha que seria importante para o aluno estudar esse tópico? Por quê?</p> <p>5- E você, trabalharia esse tópico?</p> <p>6- Apesar das restrições matemáticas, como você usaria em sala de aula os conceitos sobre raios X? Em que parte do conteúdo seriam úteis?</p>

7- Você acha que a parte histórica da descoberta dos raios X seria útil como introdução do assunto em sala de aula? Como você começaria? Deixaria essa parte de lado e começaria logo pela Física dos raios X?

8- Você acha que seus alunos se sentiriam interessados por um tópico desses?

9- Se houvesse um material já disponível e dependendo da possibilidade de inserção na sua programação, você gostaria de usar esse material?

O local onde as entrevistas foram realizadas ficou a critério dos entrevistados. Foram realizadas entrevistas em universidade, em ambiente de trabalho e até mesmo num restaurante.

Informamos a cada entrevistado que sua identidade seria preservada, assim como sua instituição de trabalho, o que nos parece creditar confiabilidade e ética à pesquisa.

Procuramos desenvolver uma conversa informal durante a entrevista, fugindo de uma postura intimista de interrogação, a fim de que o professor não se sentisse pressionado a responder as perguntas, o que poderia ser desastroso em termos de fidelização das suas respostas.

Todos os professores entrevistados participaram espontaneamente da pesquisa, mostrando cordialidade e interesse pelo assunto do trabalho, o que facilitou muito as entrevistas.

3.2 A pesquisa bibliográfica

Segundo Gil (2002, p.44), a pesquisa bibliográfica,

“... é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos.”

Assim, com o objetivo de confirmar os dados obtidos nos trabalhos de Ostermann (2000a e b), Machado e Nardi (2003), Rezende Junior e Souza Cruz (2003) e na pesquisa com os professores com relação à escassez de material sobre radiações, especificamente os raios X, fizemos uma pesquisa bibliográfica nos principais livros didáticos e nas principais revistas de Física.

A pesquisa procurou verificar se o assunto radiações era parte integrante dos livros didáticos e se os raios X eram abordados nesse contexto. Foram analisados 13 livros de Física que estão entre os mais usados no EM regular. Como o assunto raios X faz parte do conteúdo de Ondas e do Eletromagnetismo, foram verificados os capítulos referentes a essas partes. Em alguns livros, o assunto é tratado num capítulo sobre Física Moderna. O enfoque metodológico em CTS também foi avaliado nos textos, assim como a abordagem didática sobre os raios X.

Nas revistas foram verificados os artigos que tratavam das radiações, especificamente os raios X. A avaliação procurou verificar se a linguagem era adequada ao EM e se o enfoque metodológico e didático era pertinente à linha CTS.

3.3 A construção da proposta metodológica

O resultado da análise de dados levantados junto aos professores, os trabalhos de Ostermann e Moreira (2000a e b), a análise de conteúdo dos livros didáticos e das revistas de Física e as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN's+ (BRASIL, 2002)⁴ contribuíram para que fosse elaborada uma proposta metodológica para a terceira série do EM, onde o tópico raios X foi abordado num enfoque metodológico em CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade).

O objetivo central da educação em CTS no Ensino Médio é (tradução nossa)

“desenvolver a alfabetização científica e tecnológica voltada para a cidadania, no sentido de permitir que o aluno possa compreender e tomar decisões responsáveis sobre questões de ciência e tecnologia na sociedade e atuar na solução de tais questões”. (AIKENHEAD, 1994).

Dessa forma o ensino de Ciências em CTS foi considerado como marco de referência para a estruturação da proposta metodológica.

Várias estruturas podem representar as categorias de ensino em CTS. Abaixo apresentamos três categorias coerentes com nossas intenções pedagógicas como multidisciplinaridade, relevância de conteúdo e ensino não sistematizado. O que vai

⁴ Na época de construção dessa proposta ainda não estava disponível o documento elaborado pela Secretaria Estadual de Educação do Estado do Rio de Janeiro (SEE-RJ) em parceria com o Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza da Universidade Federal do Rio de Janeiro (CCMN-UFRJ) que prevê uma reorientação curricular para o EM, cujo documento final está sendo entregue as escolas nesse ano de 2006. As nossas observações em relação a parte da Física estão no capítulo de Conclusões e Recomendações desse trabalho.

diferenciar uma da outra é o tipo de avaliação que será realizada, o que nos parece que deve ficar a cargo do professor decidir.

“Ciências através do conteúdo em CTS: O conteúdo em CTS serve para organizar os conteúdos de Ciência e sua seqüência. O conteúdo de Ciências é multidisciplinar, sendo ditado pelo conteúdo CTS. Os alunos são avaliados pela sua compreensão do conteúdo CTS, mas não na mesma proporção que o conteúdo de Ciência pura (exemplo, 30% CTS, 70% Ciência).

Ciências junto com o conteúdo CTS: O foco do ensino é o conteúdo em CTS. O conteúdo relevante de Ciências enriquece o aprendizado. Os alunos são avaliados na mesma proporção nos conteúdos em CTS e em Ciências pura.

Ciências incorporadas ao conteúdo CTS: O foco do ensino é o conteúdo em CTS. O conteúdo relevante de Ciências é mencionado, mas não é ensinado sistematicamente. Pode ser dada ênfase aos princípios gerais da Ciência. Os alunos são avaliados primeiramente no conteúdo em CTS, e são avaliados parcialmente no conteúdo de Ciências pura (exemplo, 80% CTS, 20% Ciências).”(AIKENHEAD, 1994). (Tradução nossa).

Apoiados na análise de dados da pesquisa com os professores onde, dentre outras sugestões, assinalaram a importância da utilização da parte histórica no conteúdo didático, utilizamos a História da Ciência como um dos alicerces da proposta no sentido de mostrar ao aluno a contextualização histórica da época do desenvolvimento da teoria científica e sua evolução até os dias atuais.

Assim, a História da Ciência pode, segundo Peduzzi (2001, p.157-158),

“Desmistificar um único método de fazer ciência, dando ao aluno os subsídios necessários para que ele tenha um melhor entendimento do trabalho do cientista; contribuir para um melhor entendimento das relações da ciência com a tecnologia, a cultura e a sociedade; tornar as aulas de ciência (e de Física) mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; levar o aluno a se interessar mais pelo Ensino da Física.”

3.3.1 Procedimentos para a construção dos módulos didáticos da proposta metodológica

Estruturamos a proposta metodológica para um ensino de Física mais inovador com uma apresentação inicial dos objetivos e dividimos o texto em módulos. Em termos didáticos entendemos módulo como unidade com conteúdos didáticos que podem ser apresentados independentemente.

Como o enfoque da proposta segue a linha metodológica de ensino em CTS, optamos por começar com um módulo onde pudéssemos identificar o que os alunos sabem sobre os raios X e de que maneira o assunto está inserido no seu dia a dia.

Dessa forma podemos desenvolver uma estratégia onde a fala do aluno é o foco principal, saindo do modelo tradicional de aula e motivando-o. Na pesquisa com os professores, essa ordenação também foi sugerida. No início de cada módulo são sugeridas **ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR**, onde são abordados Objetivos Gerais, Objetivos Específicos, Conteúdo do Módulo, Metodologia e Questões para Discussão.

Nos Objetivos Gerais apresentamos a idéia central do módulo, mostrando o que se pretende desenvolver em termos teóricos com os alunos.

Nos Objetivos Específicos mostramos que habilidades e competências pretendemos desenvolver com os alunos a fim de que o conhecimento adquirido possa estar integrado num contexto científico, histórico e social.

Na Metodologia sugerimos atividades para serem realizadas com os alunos, assim como, dependendo do módulo, indicamos endereços eletrônicos que complementam as atividades (caso o professor tenha disponível o recurso da Internet na escola) e selecionamos uma bibliografia de referência que dê apoio ao professor.

Na parte referente às Questões para Discussão, foram elaboradas perguntas que podem servir de motivação inicial para a introdução do assunto daquele módulo. É importante ressaltar que essas questões são apenas sugestões, portanto, ficando a critério do professor utilizá-las ou não, assim como modificá-las, dentro de seus objetivos, ou formular novas perguntas.

A ordenação e a estruturação dos módulos seguiu a seguinte ordem:

MÓDULO 1 - OS RAIOS X E SUAS APLICAÇÕES: Introdução; Aplicações na medicina: radiologia diagnóstica, radioterapia, teleterapia; Aplicações na indústria;

Aplicações na agricultura: melhoramento de plantas, tomografia de solos, irradiação de alimentos; Aplicações na química; Aplicações na genética; Aplicações na odontologia; Outras aplicações.

MÓDULO 2 - A DESCOBERTA DOS RAIOS X: Introdução; A experiência de Röntgen; Considerações importantes; Aplicações imediatas e uso indiscriminado.

MÓDULO 3 - A FÍSICA DOS RAIOS X: - O que são ondas?; O espectro eletromagnético; Produção dos raios X: dualidade onda-partícula, os postulados e o modelo atômico de Bohr e como os raios X são produzidos.

MÓDULO 4 - EFEITOS BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES E RISCOS PARA A SAÚDE: Introdução; Interação da radiação com a matéria; Efeitos da interação das radiações sobre as células; Classificação dos efeitos biológicos: efeitos estocásticos, determinísticos, somáticos, genéticos, imediatos e tardios.

O texto final ficou com 52 páginas, incluindo fotos, figuras, tabelas e as referências bibliográficas. Os módulos se completam, mas são independentes, isto é, podem ser estudados separadamente sem prejuízo didático. O enfoque metodológico adotado permite que tanto a fala do professor quanto a dos alunos sejam relevantes durante o estudo de cada módulo visando um dinamismo e uma participação de todos no processo de construção da aprendizagem.

3.4 A validação da proposta pelos professores

Optamos por validar a proposta metodológica com os pares, pois são estes que primeiro vão analisá-la para a utilização na sala de aula. Os professores que participaram dessa fase não foram necessariamente os mesmos que participaram da primeira etapa. Entretanto, os critérios de seleção da amostra foram os mesmos utilizados na pesquisa de opinião.

Dessa forma, foi entregue uma cópia da proposta metodológica e um questionário de avaliação a nove professores de Física do EM que atuam na rede particular e estadual do Estado do Rio de Janeiro.

Segue abaixo a estrutura do questionário de avaliação:

<p>Avaliação da proposta metodologia</p> <p>Nome: _____</p> <p>Formação: _____</p> <p>Instituição: _____</p> <p>Ano de conclusão: _____</p> <p>Escolas em que trabalha: _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>Tempo de profissão: _____ E-mail: _____</p> <p>OBS: Os dados acima não serão divulgados explicitamente na pesquisa. Farão parte de um levantamento estatístico no corpo da dissertação.</p>

1 – Numa avaliação geral, você acha que essa proposta está adequada para ser usada numa turma da terceira série do Ensino Médio?

2 – Você acha que a proposta alcançou os objetivos propostos?

3 – O que achou das *ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR* no início de cada módulo?

4 – Você acha que essas sugestões podem servir de base para que você possa planejar uma aula ou uma outra atividade pedagógica sobre o assunto raios X?

5- Com relação à linguagem dos módulos, você acha que está adequada à série proposta, isto é, a terceira série do ensino médio?

6 – O que você achou da estruturação da proposta em módulos?

7 – Você acha que a ordenação dos módulos está adequada? Caso ache que não, teria alguma sugestão de estruturação para o assunto?

8 – Você teria outras sugestões para serem acrescentadas aos módulos?

9	–	O	que	achou	das	ilustrações?
10 – Você acha que o módulo que trata da <i>FÍSICA DOS RAIOS X</i> deveria vir acompanhado de exercícios?						
11 – Você adotaria este tema e usaria este material em alguma de suas turmas?						
Muito obrigado pela sua participação! Fabio Ferreira de Oliveira proffabioferrei@globo.com						

Da mesma forma que na pesquisa inicial, seus nomes e instituições de trabalho foram mantidas em sigilo na fase de análise de dados.

Os professores levaram em média de 15 a 30 dias para devolver os questionários. Metade deles nos entregou sua avaliação pessoalmente e fizeram questão de fazer alguns comentários extras. A outra parte nos enviou os questionários pela Internet. Todos ficaram com a cópia da proposta metodológica.

Um dos professores, inclusive, chegou a aplicá-la em parte, em uma de suas turmas do EM, com boa aceitação, segundo ele, por parte dos alunos, que participaram da leitura de uma parte do texto da parte histórica dos raios X e fizeram uma discussão em grupo.

Um outro professor utilizou as referências sobre os endereços eletrônicos utilizados na proposta metodológica para fazer um trabalho de pesquisa com alunos da oitava série do ensino fundamental, mostrando que sua aplicação pode não se restringir estritamente ao EM.

4 Dados e Análise dos Resultados da Pesquisa

Para elaborar a proposta metodológica realizamos três tipos pesquisas. Na primeira etapa foi feita uma entrevista com os professores de Física que atuam no EM público e privado no sentido de verificar suas opiniões a respeito da introdução de tópicos de FM, especificamente os raios X, no currículo formal dessa disciplina.

Na segunda etapa, após a análise dos dados da primeira pesquisa, fizemos uma análise de conteúdo dos principais livros didáticos de Física usados no EM regular e de revistas da área de Ensino de Física, a fim de verificar se o assunto raios X era abordado e se o tipo de abordagem era pertinente a uma linha metodológica em CTS.

Na etapa final, fizemos uma nova pesquisa com os professores de Física a fim de validar a proposta metodológica que foi construída apoiada nos dados das duas pesquisas anteriores, nas orientações oficiais e nas pesquisas na área de Ensino de Física.

Esse capítulo mostra a análise dos dados obtidos em cada uma das etapas da pesquisa. As respostas às entrevistas estão disponibilizadas na íntegra nos Anexos.

4.1 Análise dos dados das entrevistas com os professores de Física do EM.

As entrevistas com os professores foram realizadas entre julho e setembro de 2004 e para isso foi elaborado como guia de entrevista, um questionário com 9 perguntas, apresentado no Capítulo 3. Todas as entrevistas foram gravadas em fita cassete com a autorização dos participantes. O tempo de cada entrevista ficou entre 15 e 30 minutos. Segue abaixo a relação de perguntas e suas respectivas análises.

1- Em que série(s) do ensino médio você atua?

A maioria dos professores entrevistados atua nas três séries do Ensino Médio.

- atuam nas três séries: 8 professores

- atuam na 1ª e na 2ª séries: 1 professor

- atuam na 3ª série: 1 professor

2- Em algum momento você já trabalhou com tópicos de Física Moderna, como por exemplo, as radiações eletromagnéticas? Quais tópicos já foram abordados? (Caso seja não a resposta: Você gostaria de trabalhar com esses tópicos?).

Apesar de nunca terem trabalhado formalmente com tópicos de Física Moderna, a maior parte dos professores se mostrou favorável a sua utilização no Ensino Médio. Outros, entretanto, apontam problemas como o programa dos exames vestibulares e a carga horária reduzida de Física no ensino público como fatores de limitação para a abordagem desses tópicos na atual conjuntura.

Dos 10 professores entrevistados, 7 nunca trabalharam com FM e, como exemplo, apontamos algumas falas importantes:

“... não, nenhum momento. Gostaria, falta mais é... oportunidade né. Porque as coisas são corridas, o tempo corrido e aí você acaba tendo vestibular e priorizando a matéria do vestibular em detrimento das outras.” (professor 5).

“... o Ensino Médio precisa ser totalmente reformulado... se desse um caráter mais conceitual... diminuir um pouco a matemática... seria mais fácil trabalhar a Física Moderna, raios X, física nuclear...” (professor 1).

Os outros 3 professores que trabalharam com alguns tópicos de FM fizeram uma abordagem bastante superficial, como se pode perceber:

“... algumas coisas de radiação, comprimentos de onda e do laser. Foi o ponto máximo que nós chegamos.” (professor 4).

“... no colégio não, só em turma preparatória pro IME/ITA... modelo atômico de Bohr, falamos do quantum de energia, da constante de Planck, mas de um modo bem superficial.” (professor 3).

3- Existem orientações oficiais (PCN's e PCN+) e pesquisas na área de Ensino de Física que indicam ser importante a introdução de tópicos de Física Moderna no ensino médio, no sentido de formar um cidadão mais inserido no contexto tecnológico atual através de uma abordagem mais interdisciplinar, contextualizada e apoiada em competências. O que você acha disso? Você já leu as orientações oficiais? Você acha que isso é realmente importante?

O texto oficial, seja a parte geral ou a específica de Física, é de desconhecimento da maior parte dos professores entrevistados, onde do total, apenas 4 professores afirmam ter conhecimento do texto. Desses, percebemos ainda que a interpretação do conteúdo das diretrizes propostas é limitada e muitas vezes equivocada, como podemos verificar:

“... já, mas há muito tempo atrás. Eu sei que o PCN aborda... ele faz uma abordagem de você tentar introduzir esses tópicos mais modernos como refrigeração, coisas do dia a dia deles. Acho os parâmetros muito importantes, só que vejo um problema pelo fato do PCN vim focado no Ensino Médio e Ensino Fundamental, e ele não vem disposto a fazer nada com o ensino superior.” (professor 3).

Abaixo, seguem algumas falas dos 6 professores que não leram os parâmetros, onde podemos perceber o descaso e o desinteresse em conhecer o texto oficial.

“... não, não li. Já tive acesso a alguns resumos, alguns textos, mas o parâmetro nunca me dei o trabalho de ler.” (professor 4).

“... pra falar a verdade (risos)... não!!!” (professor 5).

4- Um dos tópicos em pauta são os raios X. Você acha que seria importante para o aluno estudar esse tópico? Por quê?

Os professores em quase sua totalidade (9 professores) acham o tópico raios X muito importante. Apontam para o fato de o tópico fazer parte do dia a dia dos alunos e servir como fator de motivação para seu estudo e o estudo de outras partes da Física em geral, como podemos perceber em suas colocações:

“... é, o raio X... É importante, primeiro, vira e mexe todo mundo tira quase uma radiografia por ano, então tem que saber o que está influenciando... como corre essa

radiografia, é... o que que ela vai influenciar na vida dele. Saber que tirar muitas radiografias pode causar lesões, né? Então eu acho importante.” (professor 1).

“... é, eu conto um exemplo meu de vida que eu tinha... eu sou ambidestro e eu tenho tendinite nos dois cotovelos e eu jogava tênis, jogava hockey e vivia engessado por causa das duas tendinites, até o final de semana quando eu ia jogar. E eu pra não engessar de novo eu quebrava o gesso pra jogar final de semana e chegava segunda-feira, eu queria engessar de novo e pra ser engessado tinha de tirar outra radiografia. E eu trocava de clínica e nisso algumas reações no meu organismo foram acontecendo pela exposição e graças a Deus não foi nada muito grave e eu não tinha noção de que aquela radiação poderia afetar meu organismo e o meu pai me estimulou a ler alguns textos sobre radioatividade, raios x e aí que eu vi possibilidade de câncer, tudo mais... esse esclarecimento era um esclarecimento que deveria ter sido dado pela escola... eu tento falar certas coisas em sala de aula, mas que não ta escrito, não ta acessível aos alunos... em sala de aula tem pouco material pra trabalhar com eles.” (professor 4).

Apenas um professor (professor 9) não achou o tópico importante pelo fato de seus alunos nunca terem feito nenhuma pergunta sobre o assunto e terem mostrado interesse por outras partes da Física, como a Relatividade. Entretanto, quando questionado sobre usar o assunto como uma estratégia motivacional para a introdução de novos conteúdos, acabou mudando de idéia.

5- E você, trabalharia esse tópico?

A totalidade dos professores entrevistados se mostrou favorável à abordagem do tópico raios X em sala de aula. Entretanto, fatores como uma abordagem conceitual do assunto, falta de tempo e ausência de material adequado são limitações que precisam ser

considerados na implementação desse conteúdo didático no currículo, como podemos perceber em suas falas:

“... só a parte mesmo conceitual da coisa. Não precisa entrar na parte... só a qualitativa. Só analisar qualitativamente o fenômeno.” (professor 5).

“... com certeza, se eu pudesse... se eu tivesse um material adequado... se eu tivesse um tempo, né?” (professor 7).

6- Apesar das restrições matemáticas, como você usaria em sala de aula os conceitos sobre raios X? Em que parte do conteúdo seriam úteis?

Os professores se dividem quanto ao momento de introdução do tópico. Metade dos professores entrevistados (5) acha que o melhor momento é associado ao conteúdo de Ondas, quando estiverem abordando as ondas eletromagnéticas. Vejamos um exemplo:

“... a questão matemática aí é complicada. A física já sofre pela questão do português, da interpretação do aluno ou a falta de interpretação e da questão matemática... poderia ser na parte de ondas, já que é uma onda eletromagnética e a gente até às vezes faz isso quando está discutindo o espectro eletromagnético... coloca lá as ondas de TV, microondas, de telefonia celular, etc. E aparece o raio X também. A gente acaba comentando alguma coisa. Então se tivesse algum material didático pra gente poder aprofundar um pouco mais. Isso seria interessante.”

Quatro professores acham que o melhor momento é durante a abordagem do conteúdo de Eletromagnetismo, como exemplos:

“... já nos casos aí... do raio X, mesmo se você fosse trabalhar é... isso em sala de aula, eu acho que isso aí tinha que passar por uma coisa... o mais conceitual possível, né.”

É claro que a matematização em algum momento vai ter que entrar, mas isso aí também cabe... é... vai ser... tem que ter um estudo anterior numa base matemática... eu acho que deixaria pro final realmente... depois do eletromagnetismo você inserir esse assunto.”

“... só a parte conceitual da coisa. Não precisa entrar na parte... só a qualitativa. Só analisar qualitativamente o fenômeno... raio X? Radiação, né? No terceiro ano, né. Depois de ter visto um pouco de eletricidade e magnetismo, né.”

Apenas um professor usaria exemplos práticos do dia a dia sem entrar no conteúdo formal, se expressando:

“... raios X, o laser, tubo de imagem da TV que na verdade saiu do raio X a explicação do seu funcionamento, é... até o CD de hoje que usa o laser, é... caminhando para o tomógrafo, para a ressonância magnética. Qualquer equipamento desse aí que o professor tenha habilidade de expor pro aluno mesmo sem rigor matemático...” (professor 9).

De uma forma geral os professores sinalizaram a matematização do tópico como um problema e, portanto, trabalhariam apenas a parte conceitual. Além disso, indicam a terceira série do ensino médio como o melhor momento para trabalhar o tópico e mostram a necessidade de um material didático para auxiliá-los em sala.

7- Você acha que a parte histórica da descoberta dos raios X seria útil como introdução do assunto em sala de aula? Como você começaria? Deixaria essa parte de lado e começaria logo pela Física dos raios X?

Todos os professores entrevistados acham que a parte histórica é fundamental para o estudo do tópico raios X, sendo que 5 professores destacam esse momento para contextualizar a história da descoberta:

“... eu acho que a parte histórica é importante em qualquer assunto que a gente venha trabalhar. A contextualização histórica é fundamental. O aluno às vezes pega o conceito que o professor tenta passar e vira aquela coisa muito solta no ar. E essa contextualização histórica é fundamental. E a do raio X é uma das mais bonitas porque o Röntgen que descobriu o raio X ele publicou isso aí e um mês depois tava todo mundo fazendo e 2 meses depois os médicos já estavam aplicando e etc. então é uma coisa fundamental.” (professor 8).

Dois professores acreditam que o estudo da evolução da teoria desde a descoberta até os dias atuais seja um fator primordial para que os alunos possam compreender a contextualização histórica dos fatos, como podemos perceber:

“... usaria sim pra você mostrar o desenvolvimento mesmo da teoria. Como é que surgiram lá as primeiras... teorias, né? Onde estava errada até chegar na que a gente conhece no dia de hoje. Tem que ser falado mesmo na parte histórica.” (professor 5).

Como podemos verificar, um dos professores acha a parte histórica um fator importante para o aluno entender o momento histórico que se deu o processo de elaboração da teoria científica:

“... com certeza eu iria usar a parte histórica... eu sempre quero passar a Física pra eles com um tempero da sua história... não aquela história factual, colocando nossos pensadores como iluminados... mas uma história que a gente consiga motivar o aluno e

mostrar pra ele que as pessoas nas suas épocas eram pessoas normais como eles.”
(professor 9).

Uma outra opinião interessante, com relação à parte histórica, diz respeito a incentivar os alunos para a área científica:

“... lógico por que... é tem... eu sempre incentivo a experimentação... a descoberta que entre aspas por acaso né, mas que mostra que a ciência está tão presente que a gente não... às vezes a natureza tem que dar um pontapé na gente... o histórico das descobertas possibilitam a... mostrar o aluno... que todo mundo está apto talvez a descobrir se estiver envolvido com novas coisas...” (professor 4).

Citamos a seguir que um dos professores mostrou a importância de se relacionar o assunto com outras disciplinas, aproveitando também o momento histórico:

“... acho toda a parte histórica muito importante até pra eles poderem entender como surgiu isso, como é que foi descoberto e que contexto histórico-cultural estava inserido na época da descoberta. Pode puxar isso pra interdisciplinaridade de outras matérias, descobrir isso... trabalhar exatamente com a parte de biologia, as aplicações. Nesse momento você pode fazer um apanhado geral com várias matérias e você dar uma coisa mais bem interdisciplinar pros alunos.” (professor 3).

8- Você acha que seus alunos se sentiriam interessados por um tópico desses?

Todos os professores entrevistados acham que seus alunos se sentiriam motivados a estudar o tópico raios X. Desses, 5 professores acreditam que o fato dos raios X fazerem parte do dia a dia dos alunos, despertaria o interesse pelo seu estudo:

“... acredito que sim porque quando você ensina física, em várias partes eles não conseguem visualizar... não conseguem seguir o contexto do dia a dia deles e os raios X está totalmente inserido.” (professor 1).

“... acho que sim porque é uma coisa bem real pra eles... você ir num hospital e você bater uma chapa de raio X e você, por exemplo, levar pra sala algumas chapas de raio X, com desenhos bem feitos. Uma chapa de raio X de um pé, de uma mão, mostrar como é que é... a própria Biologia pode usar isso pra explicar a estrutura óssea. É bom quando você consegue explicar um negócio que é do dia a dia do aluno, é aplicável a ele e tem chance de ser interdisciplinar.” (professor 3).

Na opinião de outros dois professores, o interesse se daria pelo fato do assunto despertar motivação para o estudo das Ciências, como citado abaixo:

“... eu acredito que sim. Que é mais uma motivação, né, pra o estudo de ciências, o estudo de física em particular.” (professor 6).

Com relação ao material disponível sobre o assunto, 2 professores acreditam que o interesse dos alunos vai depender do material que será utilizado em sala de aula:

“... com certeza dependendo do material que você tenha disponível pra mostrar isso. Não adianta ficar no cospe e giz, né? Você teria que ter recursos pra poder tornar uma aula agradável, nesse caso, vídeo, algum experimento, sei lá.” (professor 5).

Fazendo uma análise mais particular para o ensino público, um professor acredita que o interesse dos alunos desse segmento seria pelo fato de ser uma novidade no conteúdo formal:

“... o aluno do ensino público se interessa por algumas coisas, de repente como é um assunto novo, ele poderia ter o interesse melhor...” (professor 2).

9- Se houvesse um material já disponível e dependendo da possibilidade de inserção na sua programação, você gostaria de usar esse material?

Todos os 10 professores entrevistados, dependendo de suas possibilidades, gostariam de ter um material disponível para trabalhar com o tópico raios X. Entretanto, alguns problemas são apontados como limitadores nesse processo. Questões como impossibilidade de utilização no ensino particular devido ao fato do tópico não ser assunto de vestibular, atualização e capacitação dos professores para abordar o “novo” tópico, disponibilidade de tempo são exemplos de problemas apontados pelos professores que necessitam ser analisados para que se possa incorporar essa proposta metodológica à sua prática pedagógica.

“... gostaria com certeza. Se pudesse aplicar ou se pudesse propor isso em qualquer colégio, acredito que as pessoas gostariam de usar porque é uma coisa muito interessante.” (professor 4).

“... é... por exemplo, no ensino particular nós temos uma carga horária maior, mas no ensino público nós temos dois tempos por semana, então fica complicado você dar todo aquele programa mais isso. Como eu falei, eu procuro orientar a nível de vestibular porque pra dar uma seqüência, a não ser no Estado à noite... o Estado à noite não dá pra você pensar em vestibular, então mesmo sacrificando determinadas matérias já ensinadas, muitas matérias dadas... agora quando você está tentando buscar pro vestibular já fica complicado porque você tem uma gama de matéria muito grande e tem nossa carga horária, essas coisas todas.” (professor 1).

“... sim... mas se o professor não fizer uma capacitação pra trabalhar daquela maneira, acaba saindo o tiro pela culatra... então, se vai trabalhar com uma metodologia diferente tem que ter algum tipo de capacitação e sendo um material novo, acrescentando no currículo do aluno esses tópicos de Física Moderna, tem que ter algum tipo de capacitação pra poder trabalhar com esse tipo de material.” (professor 8).

4.2 Análise do conteúdo dos livros didáticos e revistas da área ensino de Física.

Com o objetivo de verificar se o assunto raios X era parte integrante da bibliografia disponível para o ensino da Física no EM, foi realizada uma pesquisa nos livros didáticos mais utilizados pelas escolas públicas e privadas da cidade do Rio de Janeiro. Além disso, o conteúdo encontrado foi analisado de forma a verificar se enfoque metodológico era pertinente à linha CTS e se a parte histórica também era abordada.

4.2.1 Livros didáticos.

Segue abaixo a relação dos livros didáticos de Física analisados, assim como suas respectivas referências e uma análise do conteúdo encontrado em cada um deles sobre o assunto raios X:

1- Física para o ensino médio vol. Único, Aurélio Gonçalves Filho e Carlos Toscano – Editora Scipione, 1ª edição, 2003 – nas páginas 384 e 385 faz um pequeno apanhado histórico e fala do espectro eletromagnético, citando os raios X superficialmente.

2- Física Clássica – Eletricidade – Volume 5, Caio Sérgio Calçada e José Luiz Sampaio – Atual Editora, 2ª edição, 1998 - No capítulo 23 pág. 549 faz um estudo sobre as ondas eletromagnéticas. Analisa o espectro e aborda algumas características dos raios X assim como sua produção.

3- Física Clássica – Óptica e Ondas – Volume 4, Caio Sérgio Calçada e José Luiz Sampaio – Atual Editora, 2ª edição, 1998 – No capítulo 9 fala do espectro eletromagnético e cita algumas características dos raios X.

4- Curso de Física vol.3, Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga – Editora Scipione, 5ª edição, 2000 – No cap.24 faz um estudo sobre as características das ondas eletromagnéticas e descreve os espectro eletromagnético, incluindo os raios X, parte histórica, produção e aplicações.

5- Temas de Física, Bonjorno e Clinton – Editora FTD, 1ª edição, 1997 – Tem um capítulo sobre Física Moderna, entretanto, apesar de falar do modelo atômico de Bohr, não fala nada sobre os raios X.

6- Física: Eletromagnetismo e Física Moderna, Alberto Gaspar – Editora Ática, 1ª edição, 2000 – Nos capítulos 13 e 14 trata de assuntos referentes à FM. Fala da parte histórica dos raios X e suas aplicações. Fala ainda da difração dos raios X.

- 7- Universo da Física 3**, Caio Sérgio Calçada e José Luiz Sampaio – Atual Editora, 1ª edição, 2001 - No capítulo 17 faz uma referência pequena ao espectro eletromagnético de uma forma geral, incluindo uma pequena parte sobre os raios X.
- 8- Física Básica - volume único**, Nicolau e Toledo – Atual Editora, 1ª edição, 1998 – No capítulo 32 faz uma pequena referência ao espectro eletromagnético e aos raios X.
- 9- Física, Eletricidade volume 3**, Paraná - Editora Ática, 6ª edição, 1998 – No capítulo 11, faz uma pequena referência ao espectro e aos raios X.
- 10- Leituras de Física do GREF – Eletromagnetismo**, EDUSP, 1998, Disponível em <http://axpfep1.if.usp.br/~gref/eletro/eletro1.pdf>, Acesso em 11 jan 2006. No cap.36 faz uma abordagem sobre as radiações e comenta sobre os raios X. Esse livro faz uma abordagem metodológica em CTS.
- 11- Tópicos de Física 3**, Gualter, Newton e Helou - Editora Saraiva, 15ª edição, 2001 - Apesar de ter um capítulo sobre FM, não faz nenhuma menção aos raios X.
- 12- Física - volume único**, Alberto Gaspar – Editora Ática, 1ª edição, 2001 - Apesar de ter um capítulo sobre FM não faz referência aos raios X.
- 13- Fundamentos da Física 3**, Ramalho, Nicolau e Toledo - Editora Moderna, 7ª edição, 1999 - Fala do espectro eletromagnético e faz uma pequena referência aos raios X.
- 14- Física Completa – volume único**, Bonjorno e Ramos – Editora FTD, 2ª edição, 2001 – Não faz nenhuma referência aos raios X.

4.2.2 Revistas de Ensino de Física

A pesquisa realizada nas revistas da área de Ensino de Física procurou verificar a existência de artigos que fizessem referência às Radiações, especificamente os raios X. Nesse sentido, foi verificada nos textos sua adequação ao EM e seu enfoque metodológico em conformidade com a linha de CTS. No entanto, no sentido de enriquecimento da pesquisa no que se refere à informação, foram listados todos os artigos encontrados sobre temas transversais dos PCN's que estivessem relacionados com esse trabalho tais como: Radioatividade, Cidadania, Formação de Professores, História da Ciência, etc.

As consultas aos artigos foram realizadas entre os meses de Março e Abril de 2004 através de uma busca pela Internet. Conforme a disponibilidade de cada site, foram pesquisados artigos de 1933 até 2004. Os endereços eletrônicos das revistas consultadas estão disponíveis nas Referências Bibliográficas. Abaixo segue a lista dos sites consultados e os artigos encontrados.

1- Investigação em Ensino de Ciências (de 1996 a 2004)

Volume 5, número 1, março de 2000 – Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio” – Fernanda Ostermann e Marco Antonio Moreira.

2- Ciência e Educação (de 1999 a 2004)

nenhum artigo encontrado.

3- Ciência e Ensino – Grupo de Estudo e Pesquisa em Ciência e Ensino – FE – UNICAMP de 1996 a 2001

nenhum artigo encontrado.

4- A Física na Escola (SBF) de 2000 a 2004

nenhum artigo encontrado.

5- Ensaio – UFMG – FAE de 2003 a 2004

nenhum artigo encontrado.

6- Revista Brasileira de Ensino de Física (SBF) de 1996 a 2004

Volume 20, número 4, 1998 - A descoberta dos raios X – Roberto de Andrade Martins.

Volume 21, número 2, 1999 – Nascimento da Física – Idade Contemporânea: Física Atômica e Nuclear – José Maria Filardo Bassalo.

Volume 21, número 4, 1999 – O Ensino de uma nova Física e o exercício da cidadania – Marisa Almeida Cavalcante.

7- Caderno Brasileiro de Ensino de Física (Antigo Caderno Catarinense de Ensino de Física, de 1984 a 2004).

Volume 19, número 2, 2002 – Já lhe perguntaram... – Perguntas sobre os raios X elaboradas pela própria revista.

Volume 19, número 1, 2002 – Já lhe perguntaram... – Perguntas sobre os raios X elaboradas pela própria revista.

Volume 9, número 3, 1992 – A inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na Escola de 2º grau – Eduardo Adolfo Terrazzan.

Volume especial, 1990 – Como Becquerel não descobriu a Radioatividade – Roberto de Andrade Martins.

Volume 4, número 3, 1987 – Radioatividade e o acidente de Goiânia – F. F. de Souza Cruz.

Volume 4, número 1, 1987 – Proteção radiológica: alguns aspectos técnicos e legais – Abio V. A. Pinto.

8- Cadernos CED 2 – UFSC- 1998 a 2001

Tópicos de Ciências e Tecnologias Contemporâneas – José Angotti – Equipamentos Geradores e a Formação de Professores de Física

9- Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência (de 1976 a 2004)

Número 1, jan/jun 1985 – Depoimento: Os principais marcos históricos em ciência e tecnologia no Brasil – Shozo Motoyama.

Número 4, 1989 – Divulgação Científica p.29 – Convivendo com as radiações - Elizabeth Almeida e Suzanna Melo – número especial do II seminário latino-americano sobre alternativas de ensino da história da ciência e tecnologia.

Número 10, jul/dez 1983 – Das doutrinas à experimentação: rumos e metamorfoses da medicina no século XIX – Roberto de Andrade Martins.

Número 13, jan/jun 1995 – Novos horizontes para a Física no fim do séc.XIX – notas sumárias – José Leite Lopes.

Número 17, jan/jun 1997 – Investigando o invisível: as pesquisas sobre raios X após sua descoberta pro Röntgen – Roberto Martins.

10- A Física na Escola (SBF) de 2000 a 2004

Volume 1, 2000 – Uma física para o novo ensino médio – Luis Carlos Menezes

11- Ciência Hoje (SBPC) de 1999 a 2004

nenhum artigo encontrado.

12- Scientific American Brasil (de 2002 a 2004)

nenhum artigo encontrado.

12- Scientific American USA (de 1993 a 2004)

Novembro, 1995 – The discovery of X rays – Farmelo.

13- Enseñanza de Las Ciencias (de 1983 a 1998)

Modelos de partículas en la iniciación a las ciencias físicas – MEHEUT, M; LARCHER, C.; CHOMAT, A.; 1988; vol: 6,3; pag: 231-238.

Exploraciones gráficas de ideas extraescolares de los alumnos sobre radiactividad – POSADA, J.M.; PRIETO, T.; 1990; vol: 8,2; pag: 127-132.

Errores comunes sobre relatividad entre los profesores de enseñanza secundaria – ALEMÁN, RAFAEL A.; 1997; vol: 15,3; pag: 301-307.

Implicaciones de la historia y la filosofía de la ciencia en la enseñanza de las ciencias – GIL, D.; 1992; vol: 10,1; pag:102-104.

El modelo constructivista y las relaciones Ciencia-Técnica-Sociedad – VILCHES, A.; SOLBES, J.; 1992; vol: 10,2; pag: 181-186.

Qué piensan los jóvenes sobre radiactividad, estructura atómica y energía nuclear? – GUTIÉRREZ, E.E.; CAPUANO, V.C.; PERROTTA, M.T., 2000, vol: 18,2; pag: 247-254.

Física contemporánea en la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando formación de profesores. – OSTERMANN, F. ; MOREIRA, M.A.; 2000, vol: 18,3; pag: 391-404

Enseñanza por cambio conceptual: de la física clásica a la relatividad. – ALEMÁN BERENGUER, R.A.; PÉREZ SELLES, J.F.; 2000; vol: 18,3; pag: 463-471.

14- American Journal of Physics (AAPT) – USA (de 1933 a 2004)

Radioactivity: Environmental consequences of the radiological accident in Goiania (Brazil). – R.M. Anjos, A. ; Facure.... Vol.69, p.377(2001).

Effects of ionizing radiation at low doses.- Richard Wilson - Vol:67 pag. 372 (1998).

15- The physics teacher (AAPT) – USA (de 1975 a 2004)

Resources for physics teacher – april 2001, vol.39 p.235 - AAPT

16- Science Education – USA (de 1996 a 2003)

Nenhum artigo encontrado.

17- Journal of Research in Science Teaching – USA (de 1995 a 2004)

Nenhum artigo encontrado.

18- School Science Review- UK (de 2001 a 2004)

Nenhum artigo encontrado.

19- Education in Science – UK (de 2003 a 2004)

Nenhum artigo encontrado.

20- Journal of Science Teacher Education – UK (de 1997 a 2004)

Nenhum artigo encontrado.

21- International Journal of Science Education. – UK (de 1976 a 2004)

Nenhum artigo encontrado.

4.3 Análise dos dados do questionário de validação da proposta metodológica.

Após a elaboração da proposta metodológica, foi construído um instrumento de avaliação para verificar a opinião dos professores com relação a esse material. Foi utilizado um questionário com 11 questões fechadas onde foram avaliadas as seguintes características: adequação à série proposta, objetivos a que se propunha, estruturação em módulos, conteúdo dos módulos, linguagem dos módulos e aplicabilidade da proposta.

A amostra escolhida tinha um total de 10 sujeitos e todos foram consultados previamente quanto à disponibilidade para participar da avaliação. Todos os questionários juntamente com a proposta metodológica a ser analisada foram entregues pessoalmente aos participantes que tiveram um prazo de 45 dias para sua devolução. Esse prazo foi

estipulado porque os questionários foram entregues em meados de junho de 2004 e devido às proximidades do recesso escolar em julho de 2004.

No momento da devolução, um dos professores não devolveu seu questionário em tempo hábil e também não se manifestou quanto a uma possível devolução, portanto, ficando fora do processo de análise dos dados obtidos.

É importante ressaltar que um dos professores aplicou o módulo referente à parte histórica da proposta metodológica, obtendo um resultado bastante expressivo em termos de motivação, com uma de suas turmas.

Um outro professor utilizou as referências relativas aos endereços eletrônicos disponíveis na proposta como pesquisa e trabalho para uma de suas turmas da oitava série do ensino fundamental.

Abaixo seguem as perguntas utilizadas no questionário e uma análise das respostas obtidas:

1- Numa avaliação geral, você acha que essa proposta está adequada para ser usada numa turma da terceira série do Ensino Médio?

Dos professores que participaram da validação da proposta, oito concordam que a proposta se adequa melhor à terceira série do EM, devido aos conhecimentos prévios que os alunos desta série supostamente já adquiriram. Entretanto, apontam limites na utilização na sua utilização que deve respeitar o projeto político pedagógico de cada escola, o programa eleito para a disciplina Física e sua respectiva carga horária por semana.

“Sim. Acredito que essa proposta pode e deve ser aplicada para turmas de terceira série de ensino médio.” (Professor G).

“Sim. Apesar de reconhecer que isso depende do enfoque que cada colégio dá ao seu projeto pedagógico.” (Professor B).

Sugerem que poderia ser usada em outro segmento do ensino, sem prejuízos para os alunos, como podemos perceber abaixo:

“Sim, até mesmo na oitava série do ensino fundamental.” (Professor A).

Entretanto, houve uma pequena discordância quanto à utilização da proposta na terceira série. A justificativa deve-se ao fato de que nessa série o aluno está voltado para o vestibular, assim a sugestão é que seja aplicado na primeira ou na segunda série em forma de projeto complementar:

“... Não podemos deixar de lembrar que a 3ª série é uma concentração total para uma nova fase. Esta proposta deveria ser complementar na 1ª e 2ª séries. No meu ponto de vista, não se aplica à 3ª série.” (Professor F).

2- Você acha que a proposta alcançou os objetivos propostos?

Sete professores concordam que a proposta atingiu seus objetivos, como se segue:

“Baseado no PCN’s e na apresentação, sim.” (Professor C).

“Sim, já que ficou claro a distinção de alguns tópicos abordados.” (Professor E).

Entretanto, um dos professores afirmou que na introdução não estão claros os objetivos específicos, o que não permite uma avaliação mais profunda dos objetivos pretendidos.

“... o texto não explicita seus ‘objetivos específicos’... Acredito que seria importante mencionar os objetivos específicos a serem atingidos com este trabalho. Assim

os professores podem avaliar a adequação do grau de profundidade do texto elaborado pelo autor e seus objetivos pretendidos.” (Professor D).

Assim como, um dos professores acredita que só aplicando a proposta na prática é que se poderia validá-la:

“Só saberia disso aplicando-a... Sugiro sua aplicação na forma de um projeto com uma apresentação final dos alunos num momento cultural da escola a fim de avaliar a proposta.” (Professor F).

3- O que achou das *ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR* no início de cada módulo?

Há unanimidade quanto às orientações para os professores sugeridas na proposta. Alguns professores fizeram sugestões do tipo: trocar o nome *orientação* para *sugestão*, fornecer o gabarito das *questões para discussão*, apresentar uma metodologia de trabalho mais fechada devido ao tempo para sua aplicação.

“Bastante apropriadas, pois auxiliam o professor na implementação do projeto e orientam a abordagem dos aspectos mais relevantes de cada módulo. É um fator que diminui a ‘resistência’ do professor a usar esta proposta em aula.” (Professor B).

“Excelente. Toda orientação é bem vinda, ainda mais com assuntos um pouco diversos do básico que muitas vezes se aborda em sala de aula.” (Professor H).

“Faltou dar o ‘gabarito’ das questões para discussão. Isso complementaria as orientações para o professor.” (Professor F).

4- Você acha que essas sugestões podem servir de base para que você possa planejar uma aula ou uma outra atividade pedagógica sobre o assunto raios X?

As sugestões foram elogiadas e a maioria dos professores concordou que servem de base para o planejamento de uma aula ou de uma atividade pedagógica.

“Sim. O texto apresenta-se bastante completo, sendo um rico material de consulta para professores.” (Professor D).

“Com certeza. Na verdade, as sugestões servem não só como base, mas também, devido ao seu alto grau de abrangência, como referência global no assunto.” (Professor B).

Houve apenas uma ressalva onde foi sugerido que o professor tivesse em mãos todo o material citado para a consulta, o que foi justificado pela falta de intimidade com o assunto. Isso ratifica a importância de um curso de capacitação para a utilização do material, o que já havia sido sinalizado na primeira pesquisa com os professores.

“Em parte. Seria interessante para o professor ter em mãos o material citado para consulta. A falta de diálogo sobre o assunto poderia ser um problema para quem está acostumado a apenas repetir anualmente o mesmo conteúdo e Física Moderna não faz parte.” (Professor F).

5- Com relação à linguagem dos módulos, você acha que está adequada à série proposta, isto é, a terceira série do ensino médio?

Todos os professores concordaram que a linguagem está adequada à série proposta.

“Sim. A linguagem está perfeita, e os conceitos estão sempre bem explicados e exemplificados.” (Professor G).

“Acho que é mais seguro que seja nesta série. Em alguns trechos a linguagem realmente exige conhecimentos prévios que, só nesta etapa, o aluno tenha maturidade para compreensão.” (Professor B).

6- O que você achou da estruturação da proposta em módulos?

A maioria dos professores elogiou a estruturação em módulos afirmando que: facilita uma ordenação diferente a partir da interação e participação do aluno, torna a implementação mais flexível e possível de ser executada em conjunto com outras disciplinas, facilita o entendimento da proposta, ajuda a delinear as áreas, motiva os alunos à medida que vão avançando na leitura.

“Torna a implementação mais flexível e possível de ser executada em conjunto com outras disciplinas.” (Professor B).

“Muito boa. Essa estrutura faz com que os alunos fiquem mais motivados na medida que vão avançando na leitura.” (Professor G).

“Muito boa. Delineou as áreas.” (Professor F).

Apenas um professor foi totalmente contra a estruturação em módulos pelo fato de remeter ao didatismo e ao tradicionalismo já existente, o que para ele, descaracteriza a proposta em CTS.

“Acredito que a proposta em módulos fosse mais indicada para um curso técnico de Radiologia... Para nossos cursos de ensino médio, onde os alunos não terão que dominar essas técnicas, e para tornar mais flexível a utilização do material frente às imposições de tempo desta série específica, acredito que a apresentação em um texto único, dividido em itens, facilitaria sua inserção na sala de aula.” (Professor D).

7- Você acha que a ordenação dos módulos está adequada? Caso ache que não, teria alguma sugestão de estruturação para o assunto?

A ordenação em módulos foi elogiada pelo fato de despertar o interesse dos alunos pelo tema e da maneira como está dividida, os módulos podem ser trocados de ordem sem prejuízo para o entendimento dos alunos.

“Sim. Achei interessante a colocação do módulo 1 antes do módulo 2 para que fosse despertado o interesse no aluno pelo tema.” (Professor B).

“Gostei da ordenação proposta. Ela vai envolvendo o conteúdo de forma agradável.” (Professor I).

Houve apenas uma sugestão para comprimir os dois primeiros módulos em um único.

“Para os alunos do Ensino médio, acredito que se poderia comprimir os dois módulos iniciais em um único que tratasse das aplicações (para a motivação dos alunos) e da parte histórica (para estruturação do tema).” (Professor D).

8- Você teria outras sugestões para serem acrescentadas aos módulos?

Foram feitas algumas sugestões para serem inseridas na proposta: um índice geral relacionando os módulos; uma fórmula ou tabela que mostrasse o quanto de radiação X uma pessoa pode receber por ano; a resposta-padrão para as perguntas sugeridas nos módulos; maior aprofundamento na parte de Física em relação à Física Nuclear e as aplicações na Medicina (Física Médica); introdução de exercícios e atividades complementares.

“Talvez, a resposta-padrão esperada, para as perguntas. Seria mais um instrumento para a ‘conquista’ do projeto.” (Professor B).

“Maior aprofundamento na parte de Física, talvez em relação com a Física Nuclear e aplicações na Medicina (Física Médica).” (Professor C).

“Introduzir exercícios e atividades.” (Professor D).

9- O que achou das ilustrações?

Foi unânime a opinião sobre as ilustrações no sentido de que são extremamente necessárias no contexto da proposta, entretanto, alguns professores sugerem que fossem coloridas e mais nítidas. (Obs: a nitidez ficou comprometida devido à cópia não estar muito boa.).

“As ilustrações são fundamentais... Algumas estão ilegíveis, pelo menos nas minhas cópias...” (Professor D).

“Talvez algumas das ilustrações ficariam melhores se fossem coloridas.” (Professor E).

“Impactantes, embora na minha cópia algumas saíram ‘erradas’ ou com defeito. A maioria está bem ilustrada.” (Professor A).

10- Você acha que o módulo que trata da *FÍSICA DOS RAIOS X* deveria vir acompanhado de exercícios?

Os professores de uma forma geral concordam quanto à colocação de exercícios de fixação na proposta metodológica, o que ratifica sua prática pedagógica, a estruturação dos livros didáticos e o pensamento ‘comum’ voltado para os exames vestibulares.

“Seria legal, até mesmo porque, infelizmente, o aluno só vê importância se aparecerem números ou análise de tabelas, gráficos, etc. (problema do vestibular!).”
(Professor A).

“Sim. Poderiam ser explorados alguns exercícios, para verificar o entendimento de cada aluno.” (Professor G).

“Sim, mas não numérico.” (Professor E).

Entretanto, um dos professores, discorda completamente da utilização de exercícios pela falta de conhecimento do assunto por parte dos alunos.

“Não. Os alunos não dominam Física Moderna para isso. Não seria bom forçação de barra. Sugiro, no lugar, uma discussão maior sobre o assunto.” (Professor F).

11- Você adotaria este tema e usaria este material em alguma de suas turmas?

Todos os professores concordam que poderiam usar a proposta em suas turmas, inclusive um deles, utilizou o material em uma de suas turmas da terceira série do EM. No entanto, alguns acreditam que determinadas condições deveriam ser estabelecidas a fim de que não se prejudicasse o ‘objetivo maior’, que são os exames vestibulares.

“... Sim, desde que não entre em conflito com o foco do vestibular, se o colégio assim pré-determinar.” (Professor H).

Em outras fala percebe-se um tom mais discriminatório em relação à falta de capacidade dos alunos do ensino público, o que faria com que esse professor utilizasse apenas parte da proposta metodológica.

“... Infelizmente eu só poderia utilizar esse material nas minhas turmas do colégio estadual... eu poderia e gostaria de abordar esse tema, mas como curiosidade para eles, pois o nível desses alunos infelizmente é muito inferior.” (Professor G).

É interessante perceber que alguns professores sugerem usá-la em outras séries do ensino médio, assim como na oitava série do ensino fundamental.

“... Óbvio que sim! Já utilizei alguns dos sites citados para consultas e trabalhos para alunos da oitava série do ensino fundamental” (Professor A).

“... Sim, mas não apenas no terceiro ano do EM. Acho possível tais temas em qualquer série.” (Professor C).

Um dos professores usou o material numa turma da terceira série do EM e obteve um bom resultado, como podemos perceber:

“... Sim, já usei. O primeiro módulo foi apresentado a uma turma da terceira série... Os alunos ficaram interessados e participaram da leitura.” (Professor I).

5 Conclusões e recomendações

5.1 A opinião dos professores

Mesmo constituindo uma novidade em termos de conteúdo, o tópico raios X foi bem aceito pela maioria dos professores. Eles ratificam sua escolha pelo fato de ser um assunto que pertence ao dia a dia do aluno e pode servir como incentivo para estudá-lo e, além disso, pode-se relacioná-lo com outras disciplinas do currículo do Ensino Médio.

Não há maioria de opinião quanto ao momento da inserção desse assunto no currículo atual. Alguns professores acreditam ser melhor inseri-lo no conteúdo de Ondas, enquanto os outros preferem no momento em que estiverem falando de Eletromagnetismo. Há ainda sugestões que partem das aplicações do dia a dia do aluno para introduzir a parte relativa aos conceitos iniciais.

Quanto à série do Ensino Médio em que deve ser inserida, a maioria concorda que o aluno deve ter uma boa base de conhecimentos prévios, não só de Física, para que esse estudo não seja prejudicado. Assim, a série escolhida foi a terceira série.

Nesse sentido, a maioria dos professores concorda que a matematização deve ser feita de forma superficial (quando houver), priorizando a parte qualitativa (conceitual) e fenomenológica do assunto.

Com relação à parte histórica, há unanimidade por servir de base para contextualizar o desenvolvimento da teoria científica no tempo e no espaço, além de fazer com que o

aluno entenda sua evolução até os dias atuais, propiciando até mesmo, motivação para o desenvolvimento de habilidades e competências para a área das Ciências.

Houve uma distinção bem clara quanto à utilização do tema no ensino público e no ensino particular. Os professores em sua maioria indicam as instituições públicas como o melhor local para se introduzir o assunto. Mostram que fatores como o descompromisso com o vestibular, principalmente no ensino público noturno, flexibilidade curricular e a autonomia dos professores contribuem de forma significativa para essa escolha, apesar de indicarem que a carga horária de dois tempos por semana em cada turma para a disciplina Física é muito pouco para trabalhar mais um item no currículo.

Quanto ao ensino particular em geral, onde a preparação dos alunos para os exames vestibulares é prioridade e tópicos de Física Moderna e Contemporânea não fazem parte da grade curricular das escolas do Estado do Rio de Janeiro, ficaria impossível na visão da maioria dos professores de trabalhar esse assunto em detrimento aos tópicos que são cobrados nessas provas.

Os professores em sua totalidade acham importante ter disponível um material didático sobre os raios X e concordam que há necessidade de um curso de capacitação/atualização para que possam trabalhar com esse material em sala de aula. Indicam ainda a necessidade de se associar ao material recursos pedagógicos como vídeo, retro projetor, etc.

Concluimos que o resultado da análise de dados mostra um quadro favorável para a introdução de uma proposta metodológica com tópicos de Física Moderna e Contemporânea, particularmente os raios X, no atual currículo de Física do Ensino Médio do Estado do Rio de Janeiro. O trabalho de Ostermann e Moreira (1998, apud

OSTERMANN; MOREIRA, 2000c) já nos apontava essa conclusão, pois já havia obtido uma lista consensual entre professores de Física do ensino médio em que os raios X foram indicados como um dos temas de Física Moderna e Contemporânea a ser abordado em sala de aula.

Apesar dos problemas apontados pelos professores na pesquisa e que necessitam ser considerados pela proposta, não devemos nos afastar de um objetivo maior, respaldado também pelos PCN's e pelas Diretrizes Curriculares de Física para o Ensino Médio, que é a atualização curricular com unidades de estudo que permitem aproximar professores e alunos de uma Física mais atual e contextualizada, contribuindo de forma significativa para uma educação científica eficaz e necessária.

5.2 O assunto raios X nos livros didáticos e revistas da área ensino de física.

Em relação aos livros didáticos mais utilizados no EM regular verificamos que o assunto é abordado de forma bem superficial. Na grande maioria dos livros é feita apenas uma pequena menção ao assunto na parte relativa às Ondas, onde se faz a apresentação do espectro eletromagnético. Apenas um dos livros analisados fez uma abordagem mais detalhada, visando a parte histórica e as aplicações na medicina. A maioria dos textos analisados busca apenas apresentar o assunto, com exceção do livro do GREF, não se preocupando com o enfoque metodológico. O livro do GREF apesar de seguir uma linha metodológica em CTS, não faz uma abordagem relevante ao assunto.

As revistas da área de Ensino de Física analisadas também fazem pouca referência ao assunto. A maioria dos artigos encontrados trata apenas da parte histórica, apesar de alguns artigos terem um grau de detalhamento dessa parte muito bom. Um problema encontrado nesse material das revistas é que a parte didática para o EM é pouco explorada, assim fica difícil sua utilização nesse segmento do ensino. Existem bons artigos sobre radiações, que é um tema mais geral, mas seria necessário fazer um recorte específico para o EM.

Dessa forma, concluímos que há, como apontado na pesquisa de opinião com os professores de Física e em alguns trabalhos na área de Ensino de Física, uma escassez de material sobre FM, especificamente os raios X, apoiado numa linha metodológica em CTS, sendo este um dos fatores principais para que elaborássemos uma proposta metodológica com essas características e que pudesse ser utilizada no EM regular de Física.

5.3 A validação da proposta metodológica

A análise das respostas obtidas nos questionários de validação da proposta metodológica nos permite afirmar que a proposta foi validada com algumas ressalvas referentes à estruturação do conteúdo do material. De uma forma geral, os professores concordam que a proposta está adequada à terceira série do EM, visto que os alunos devem apresentar conhecimentos mínimos para o entendimento do conteúdo da proposta. Um dos professores descartou a utilização do material nessa série devido à preparação dos alunos para os exames vestibulares.

Nos parece que vincular atualização curricular aos programas dos exames vestibulares tem constituído um sério problema que anula qualquer tentativa de se desenvolver projetos que busquem trabalhar com conteúdos mais atuais, e que se agrava à medida que muitos professores adotam atitudes passivas a respeito do assunto ou, simplesmente, ignoram que o currículo de Física do Estado do Rio de Janeiro parou no século XIX. Não se trata de colocar a culpa de uma desatualização centenária nos professores, pois também somos professores atuantes no EM e no ensino Superior, mas de promover um diálogo mais efetivo que desencadeie um pensamento comum que essa atualização é mais do que necessária, é urgente.

Com relação às políticas públicas, cabe ressaltar que não têm contribuído para que isso aconteça. A Secretaria Estadual de Educação do Estado do Rio de Janeiro (SEE-RJ) em parceria com o Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IF-UFRJ) iniciaram um estudo para elaborar uma nova orientação curricular para o EM público. Analisando o documento provisório que está disponível no site do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza (CCMN/UFRJ), verificamos que na parte referente à Física no EM, especificamente o conteúdo de Física Moderna, consta que *A Física Moderna não foi incluída no currículo proposto, contrariando algumas tendências recentes. Essa opção deve-se em boa parte ao fator tempo, pois tal inclusão só poderia se dar com o sacrifício de tópicos essenciais à própria compreensão do tema.* (Livro II, parte VII, p.161).

Acreditamos que num estudo tão importante e necessário como esse, atitudes simplistas como essa de alegar *falta de tempo* e *sacrifício de tópicos essenciais* não creditam a seriedade que o assunto necessita. Reconhecemos que com a atual carga horária disponível para o ensino de física no EM público de dois tempos por semana, fica inviável

acrescentar mais conteúdo ao currículo. Esse problema já havia sido sinalizado na pesquisa de opinião que realizamos com os professores do EM. Substituir simplesmente um conteúdo pelo outro também não resulta na melhor solução. Entretanto, pode-se pensar o redimensionamento da carga horária disponível para a Física no ensino público visando uma educação científica mais sólida e atual, onde o aluno possa desempenhar na plenitude sua cidadania, inserido no contexto científico e tecnológico e tomando decisões conscientes que possam contribuir positivamente para sua vida e da sociedade em que vive. Não podemos negar ao estudante do EM público a chance de estudar conteúdos mais recentes e que se aproximem do seu dia a dia.

Com relação aos conteúdos mínimos de Física, não há necessidade de retirá-los do atual currículo, mas o tempo dispensado em sala de aula para o seu entendimento pode ser otimizado sem prejuízo do seu estudo. Um exemplo disso, diz respeito à parte da Cinemática. Perde-se muito tempo no estudo dos movimentos, onde a parte teórica pode ser minimizada e os exercícios diminuídos, já que são muito repetitivos. Isso pode resultar num tempo extra para introdução de novos tópicos no currículo. Isso foi apenas uma sugestão para um estudo mais aprofundado que deveria envolver todos que participam desse processo e não apenas os acadêmicos.

Retomando as conclusões sobre a validação da proposta metodológica pelos professores, percebemos que os professores gostaram do conteúdo elaborado e sinalizaram que o material deveria vir acompanhado de exercícios e seus respectivos gabaritos. Essa postura é compreensível visto que, na sua prática pedagógica, o livro-texto permeia todas as ações de inserção de conhecimento em sala de aula. A disposição dos assuntos em módulos independentes foi uma boa escolha na opinião da maioria dos professores, assim como os

assuntos dos conteúdos de cada módulo. Um dos professores, inclusive, chegou a usar na prática o módulo referente à parte histórica dos raios X, obtendo um bom resultado de aceitação e participação da turma. Um outro professor usou as referências de sites do material para realizar um trabalho com uma de suas turmas do Ensino Fundamental (oitava série).

Dessa forma, acreditamos que a pesquisa alcançou seus objetivos principais e que a proposta metodológica elaborada possa contribuir significativamente para o ensino de uma Física mais atual e, conseqüentemente, mais próxima do dia a dia dos alunos.

Esse trabalho prevê a possibilidade de uma segunda etapa onde a proposta metodológica, feitas as devidas modificações sugeridas pelos professores na etapa da validação, seja aplicada junto às turmas do EM.

Referências Bibliográficas

ACEVEDO DIAZ, José Antonio. **Cambiando la práctica docente en las ciências a través de CTS**. Madrid: Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciência e la Cultura, 2002. Disponível em <<http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo2.htm>> Acesso em 19 mar. 2006.

AIKENHEAD, Glen S. What is STS science teaching? In: SOLOMON, J.; AIKENHEAD, Glen S. **STS Education: International perspectives on reform**. New York: Teachers College Press, 1994. Disponível em <<http://www.usask.ca/education/people/aikenhead/sts05.htm>> Acesso em 19 mar. 2006.

BASSO, Délcio. **Abordagem de Física Moderna no Ensino Médio**. 2000. Trabalho apresentado ao VII International Conference on Physics Education, Florianópolis, 2000.

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura - Secretaria de Educação Básica. **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio**, 2000. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/seb/index.php?option=content&task=view&id=265&Itemid=255>> . Acesso em 18 mar. 2006.

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura - Secretaria de Educação Básica. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio**, 2002. Disponível

em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>> Acesso em 18 mar. 2006.

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura – Secretaria de Educação Básica. **Orientações Curriculares do Ensino Médio**, 2004. Disponível em:

<<http://portal.mec.gov.br/seb/index.php?option=content&task=view&id=409&Itemid=395>> Acesso em 18 mar. 2006.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de; GIL-PÉREZ, Daniel. **Formação de professores de ciências**. 6. ed. São Paulo: Cortez, 2001. 120p.

CAVALCANTE, Marisa Almeida. O Ensino de uma NOVA FÍSICA e o Exercício da cidadania. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v.21, n.4, p. 500-501, 1999.

CAVALCANTE, Marisa de Almeida; JARDIM, Vladimir; BARROS, José Antônio de Almeida. Inserção de Física Moderna no Ensino Médio: Difração de um feixe de laser. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.16, n.2, 1999.

GARCIA, Nilson Marcos Dias. **A Física que gostaríamos de ter estudado... na escola de nossos sonhos**. 2003. Trabalho apresentado ao IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Bauru, 2003.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL-PÉREZ, Daniel. Orientações didáticas para a formação continuada de professores de ciências. In: MENEZES, Luis Carlos de (Org.). **Formação continuada de professores de ciências no contexto ibero-americano**. Campinas: Autores Associados, 1996. P. 71-81.

MACHADO, Daniel Iria; NARDI, Roberto. **Avaliação do Ensino e Aprendizagem de Física Moderna no Ensino Médio**. 2003. Trabalho apresentado ao IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Bauru, 2003.

MARQUES, Adílio Jorge; SILVA, Cláudio Elias da. Utilização da Olimpíada Brasileira de Astronomia como Introdução à Física Moderna no Ensino Médio. **Física na Escola**, São Paulo, v.6, n.2, p. 34-35, 2005.

OSTERMANN, Fernanda; CAVALCANTI, Cláudio J. de H. Um pôster para ensinar Física de Partículas na escola. **Física na Escola**, São Paulo, v.2, n.1, p. 13-18, 2001.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antonio. **Atualização do currículo de Física na escola de nível médio: um estudo desta problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores.** 2000a. Trabalho apresentado na forma de comunicação oral ao VII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Florianópolis, 2000.

_____. Física Contemporânea en la escuela secundaria: una experiencia em el aula involucrando formación de profesores. **Enseñanza de las Ciências**, Barcelona, v. 3, n. 18, p. 391-404, 2000b.

_____. **Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”.** Porto Alegre: Investigações em Ensino de Ciências, 2000c, v. 5, n. 1. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>> Acesso em: 06 mar. 2006.

PEDUZZI, Luiz O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: PIETROCOLA, Maurício (Org.). **Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integrada.** Florianópolis: UFSC, 2001. P. 151-170.

PINTO, A.; ZANETIC, J. É possível levar a Física Quântica para o Ensino Médio? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.16, n.1, p. 7-34, 1999.

REZENDE JUNIOR, Mikael Frank; SOUZA CRUZ, Frederico Firmo. **Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: Do consenso de temas à elaboração de propostas.** 2003. Trabalho apresentado ao IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Bauru, 2003.

TEIXEIRA, Paulo Marcelo M. A Educação Científica sob a perspectiva da pedagogia histórico-crítica e do movimento CTS no Ensino de Ciências. **Ciência e Educação**, Bauru, v.9, n.2, p. 177-190, 2003.

TERRAZZAN, Eduardo Adolfo. 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, 1992.

_____. **Perspectivas para a Inserção da Física Moderna na Escola Média.** São Paulo: FEUSP, 1994. 241p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Educação, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

TRIVIÑOS, Augusto Nivaldo Silva. **Introdução à pesquisa em Ciências Sociais: a pesquisa qualitativa em Educação.** São Paulo: Atlas, 1987.

VALADARES, Eduardo de Campos; MOREIRA, Alysson Magalhães. Ensinando Física Moderna do Segundo Grau: Efeito Fotoelétrico, Laser e Emissão de Corpo Negro. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.15, n.2, 1998.

VIANNA, Deise Miranda. **Do fazer ao ensinar ciência**. São Paulo: FEUSP, 1998. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Educação, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 1998.

Anexo I – Entrevistas com os professores de Física

As entrevistas foram realizadas com os professores de Física entre Julho e Setembro de 2004. Segue abaixo o questionário usado como guia de entrevista e a transcrição literal das falas dos professores. As gravações foram feitas com a autorização de todos os entrevistados e na transcrição foi preservado o anonimato dos participantes no sentido de agregar ao trabalho, seriedade e ética.

ENTREVISTA 1: Professor 1 – Atua no ensino público e particular.

Entrevistador: Em que séries do EM você atua?

Professor 1: Todas! ... 1.^a, 2^a e 3^a séries.

Entrevistador: Em algum momento você já trabalhou com tópicos de Física Moderna, como por exemplo, às radiações eletromagnéticas?

Professor 1: Eletromagnetismo sim, raios X não.

Entrevistador: No eletromagnetismo que tópicos foram abordados?

Professor 1: Só mesmo os conceitos iniciais... indução e tal!

Entrevistador: Você já trabalhou com ondas?

Professor 1: Já! ... mas ondas eletromagnéticas não.

Entrevistador: Você gostaria de trabalhar com tópicos de FM no EM?
[antecipando a pergunta]

Professor 1: O EM precisa ser totalmente reformulado. Eles estão colocando as contas matemáticas muito pesadas, acho que deveria ser um trabalho mais conceitual. Então tem...

um... muita matéria pra se dar dessa forma. Se desse um caráter mais conceitual, não deixar de lado, mas diminuir um pouco a matemática, a própria matemática, seria mais fácil trabalhar a FM, raios X, Física Nuclear... !eu acho importante!

Entrevistador: Existem orientações oficiais (PCN's e PCN+) e pesquisas na área de Ensino de Física que indicam ser importante a introdução de tópicos de Física Moderna no ensino médio, no sentido de formar um cidadão mais inserido no contexto tecnológico atual através de uma abordagem mais interdisciplinar, contextualizada e apoiada em competências. O que você acha disso?... Você acha que isso é realmente importante?

Professor I: Eu acho porque a Física mesmo, o próprio nome fala, ciência que estudar a natureza, então tá estudando tudo.....você tem que ensinar pra ele o que está no [fumando].... dia a dia dele e tá no dia a dia a Física Nuclear, raios X, o eletromagnetismo, só que em partes mais conceituais. O que manda a nossa aula é o vestibular, e no vestibular ainda não está sendo abordado muito isso. A partir do momento que começarem a abordar no vestibular certamente os professores vão começar....vão ser obrigados a dar em sala de aula.

Entrevistador: Um dos tópicos em pauta são os Raios-X. Você acha que seria importante para o aluno estudar esse tópico?... Por quê?

Professor I: É, o raio X..... é importante, primeiro, vira e mexe todo mundo tira quase uma radiografia por ano, então tem que saber o que está influenciando..... como corre essa radiografia, é..... o que que ela vai influenciar na vida dele, saber que tirar muitas radiografias pode até causar lesões, né... Então eu acho importante!

Entrevistador: Apesar das restrições matemáticas, como você usaria em sala de aula os conceitos sobre raios X?... em que parte do conteúdo seriam úteis?

Professor 1: Eu não sei se eu entendi direito a pergunta mas o raio X seria um tópico à parte. Você poderia colocar ele.... ele em qualquer parte, após qualquer parte da matéria, um tópico extra. Eu não colocaria ele dentro..... pô claro, colocaria ele depois de determinadas matérias que seriam importantes, mas é um tópico..... não um tópico inserido na matéria e sim uma matéria a parte.

Entrevistador: Seria uma coisa extraconteúdo?

Professor 1: Não é que seja extra... [pensando] ...então você usaria em ondas, na parte de classificação pra você dar a primeira introdução, sim. Mas eu acho, por exemplo, deveria ser depois de ondas eletromagnéticas, quando você está abordando o eletromagnetismo, quando você está abordando a matéria eletromagnetismo. Após isso você dá o tópico raio X.

Entrevistador: Você acha que a parte histórica da descoberta dos raios X seria útil como introdução do assunto em sala de aula?... como você começaria?... deixaria essa parte de lado e começaria logo pela Física dos raios X?

Professor 1: Eu procuro sempre começar pela parte histórica quando ensino Física. Sempre é bom inserir..... mostrar pros alunos em que contexto aquilo foi descoberto e não só em raio X, mas em todas as matérias.

Entrevistador: Você acha que seus alunos se sentiriam interessados por um tópico desses?

Professor 1: É porque o [pensando]... acredito que sim porque quando você ensina Física, em várias partes eles não conseguem visualizar... não conseguem seguir o contexto do dia a dia deles e raios X está totalmente inserido.

Entrevistador: Se houvesse um material já disponível e dependendo da possibilidade de inserção na sua programação, você gostaria de usar esse material?

Professor 1: É... por exemplo, no ensino particular nós temos uma carga horária maior, mas no ensino público nós temos dois tempos por semana, então fica complicado você dar todo aquele programa mais isso. Como eu falei, eu procuro orientar a nível de vestibular porque pra dar seqüência, a não ser no Estado à noite... o Estado à noite não dá pra você pensar em vestibular, então mesmo sacrificando determinadas matérias já ensinadas, muitas matérias já dadas..... agora quando você está tentando buscar pro vestibular já fica complicado porque você tem uma gama de matéria muito grande e tem nossa carga horária, essas coisas todas.

Entrevistador: Então você só daria FM se fosse conteúdo do vestibular?

Professor 1: Certamente!

Entrevistador: E no ensino particular, é inviável?

Professor 1: Não, não é que seja inviável... você não vai poder perder tempo. Primeiro que no ensino particular tem colégio que deixa você fazer a sua própria programação e tem colégio que já dá tua programação. Tem que cumprir aquela programação dele. Eu posso até pegar uns ganchos e falar sobre raio X, sobre outro tópico de FM, mas isso tudo um gancho em sala de aula, não posso dispor de mais tempos de conteúdo pra isso. Agora, no

colégio que você possa... que você tenha essa liberdade é interessante você colocar. Só não vai poder perder muito tempo com isso por causa do restante do programa todo.

Entrevistador: E como você começaria a usar esse material?

Professor 1: Parte histórica e os dois mais ou menos juntos, a Física do raio X e aplicação. Vai dando a Física e vai mostrando a aplicação.

ENTREVISTA 2: Professor 2 - Atua no ensino público e particular.

Entrevistador: Em que séries do EM você atua?

Professor 2: Primeira, segunda e terceira séries.

Entrevistador: Em algum momento você já trabalhou com tópicos de Física Moderna, como por exemplo, às radiações eletromagnéticas?

Professor 2: Não.

Entrevistador: Gostaria de trabalhar?

Professor 2: Seria interessante!

Entrevistador: Em que sentido?

Professor 2: No sentido do conhecimento dos alunos, não em termos de cobrança.

Entrevistador: Mas você não acha que teria problemas com a matemática?

Professor 2: É [pensando]... seria mais um conhecimento teórico do que a parte matemática.

Entrevistador: Você já leu os PCN's?

Professor 2: Não.

Entrevistador: E a importância de introduzir tópicos de FM no EM apontadas por eles?

Professor 2: Eu acho importante, inclusive a gente fez um trabalho na faculdade, de instrumentação pro ensino, desenvolvemos um texto sobre FM pra alunos de EM, só que falta oportunidade ainda de aplicar nos colégios que eu dou aula.

Entrevistador: Um dos tópicos em pauta são os raios X. Você acha que seria importante para o aluno estudar esse tópico? Por quê?

Professor 2: É, seria importante porque engloba bastante teoria dessa.....da FM e de repente não é um tópico que precise de muita matemática, um tópico mais teórico. Seria interessante passar pros alunos inclusive pelo dia a dia deles, né?

Entrevistador: E você, trabalharia esse tópico?

Professor 2: Os conceitos teóricos sim.

Entrevistador: Apesar das restrições matemáticas, como você usaria em sala de aula os conceitos sobre raios X? Em que parte do conteúdo seriam úteis?

Professor 2: É, de repente poderia introduzir na parte de ondas, depois na parte elétrica, magnética. Introduzir na parte de ondas eletromagnéticas, por aí.

Entrevistador: Você teria autonomia nos seus locais de trabalho para abordar esses conceitos?

Professor 2: Em termos de autonomia no colégio particular não. No colégio público sim, mas aí já seria difícil alcançar o nível dos alunos, fazer com que os alunos percebessem esse tipo de coisa.

Entrevistador: O que faz com que você não tenha autonomia?

Professor 2: O colégio particular que eu dou aula, ele tem o conteúdo já fechado, né? Aí já fica difícil trabalhar.

Entrevistador: Não teria como introduzir novos conteúdos no programa?

Professor 2: É isso aí. E também no colégio particular eu não chego a entrar nessa matéria. Dou aula só no primeiro ano e não seria interessante pegar isso. O cara teria que ter uma outra visão um pouco mais avançada pra poder assistir esse tipo de aula.

Entrevistador: E no ensino público, quais as restrições?

Professor 2: O próprio nível mesmo dos alunos de aprendizado.....talvez um aluno de terceiro ano de ensino público ainda não tenha capacidade de perceber esse tipo de conteúdo, até porque pra chegar a esse tipo de teoria, por exemplo do raio X, ele precisaria pelo menos ter visto ondasa parte elétrica e magnética que infelizmente muitas vezes eles não vêem.

Entrevistador: Você acha que seus alunos se sentiriam interessados por um tópico desses?

Professor 2: O aluno do ensino público se interessa por algumas coisas, de repente como é um assunto novo, ele poderia ter o interesse melhor. No primeiro ano esse tipo de assunto seria um pouco cru ainda pra ele. De repente um pouco mais pra frente, se fosse trabalhado

um projeto pra desde o primeiro ano pra ele vir se acostumando e se adaptando, no terceiro ano ele aceitaria melhor esse tipo de assunto, mas como um texto complementar.

Entrevistador: Se houvesse um material já disponível e dependendo da possibilidade de inserção na sua programação, você gostaria de usar esse material?

Professor 2: Com certeza.

Entrevistador: No ensino público, independente de ser um tópico novo, você acha que isso estimularia os alunos?

Professor 2: Com toda a certeza se tivesse uma facilidade pra receber esse material, ele se incentivaria porque ele está vendo isso no dia a dia.

Entrevistador: Como não é um conteúdo formal, você participaria de um curso de capacitação?

Professor 2: Com toda a certeza!

Entrevistador: Você tem alguma sugestão para a introdução do tópico?

Professor 2: De repente não em termos de aula, mas sim em termos de palestra extraclasse, pros alunos mais interessados, pra dar um início, um incentivo. Depois vendo a reação dos alunos, aí introduzir aos poucos na aula, já tendo uma idéia de como é que os alunos estão recebendo esse tipo de material.

ENTREVISTA 3: Professor 3 – Atua no ensino particular

Entrevistador: Em que séries do EM você atua?

Professor 3: Primeira e segunda séries do ensino médio.

Entrevistador: Em algum momento você já trabalhou com tópicos de Física Moderna, como por exemplo, às radiações eletromagnéticas?

Professor 3: No colégio não. Só em turma preparatória pro IME/ITA.

Entrevistador: Quais foram os tópicos?

Professor 3: A gente trabalha o conceito de efeito fotoelétrico, trabalhamos o conceito inicial de FM, aquele modelo atômico de Bohr, falamos do quantum de energia, da constante de Planck, mas de um modo bem superficial. E só comentamos.....pincelamos aquela parte inicial de relatividade restrita de Einstein, só comenta que o tempo muda, a massa muda e tal. Comenta por alto que existe uma mudança em termos da parte inercial, não sei o que, e não entra muito em detalhe não. Não vê parte numérica por exemplo.

Entrevistador: E radiação, espectro eletromagnético, raios X?

Professor 3: Só comentando que raio X é um tipo de onda, que não é visível pro ser humano, só comentando uma especificação dele, mas não entrando em nada muito específico não. Comenta-se as aplicações, onde é que você usa raio-X na medicina, mas não entra muito em questão de calcular muita coisa não, é só mais uma abordagem qualitativa mesmo.

Entrevistador: Você já leu os PCN's?

Professor 3: Já, mas há muito tempo atrás... eu sei que o PCN aborda...ele faz uma abordagem de você tentar introduzir esses tópicos mais modernos como refrigeração, coisas do dia a dia deles. Acho os parâmetros muito importantes, só que vejo um problema pelo fato do PCN vim focado no Ensino Médio e Ensino Fundamental, e ele não vem disposto a fazer nada com o ensino superior. Não que se deva mexer talvez numa faculdade, até

acredito que também tem que haver uma reestruturação na grade de ensino da faculdade porque são totalmente ultrapassados e tudo o mais. Só que a entrada da faculdade, da universidade, que é através do vestibular pro qual os colégios preparam, bem ou mal os colégios sempre preparam para o vestibular, uns um pouco mais, uns um pouco menos, como o PCN não mexe nisso a faculdade não se adapta aos novos tempos, a nova necessidade dos alunos e o colégio nessa brincadeira também não consegue desvirtuar do foco da faculdade, então o colégio acaba não se adaptando as novas idéias do PCN porque ele tem que estar focado na entrada do aluno na faculdade e a faculdade também não modifica o que ela quer perguntar. E aí você acaba não tendo uma integração entre uma coisa e outra. A faculdade na verdade deveria ter uma mudança no como perguntar as coisas, pelo menos, por exemplo, na área de Física que poderia se perguntar mais à parte teórica, motivar os alunos a perguntarem o porque das coisas, dos fenômenos físicos, e com isso a faculdade mudando um pouco esse tópico, a matéria que elas cobram, até inserindo novos assuntos, tirando outros assuntos que não tenham muita correlação com o dia a dia dos alunos, o colégio com certeza ia focar nesse ponto e ia poder integrar melhor o PCN.

Entrevistador: Um dos tópicos em pauta são os raios X. Você acha que seria importante para o aluno estudar esse tópico? Por quê?

Professor 3: Acho que o tópico de raio X seria muito importante porque tem uma aplicação direta que todo mundo um dia deve fazer uma chapa de raio X no médico. E o cara não sabe porque tem que ficar atrás da proteção de chumbo. Ele não entende, ele não sabe como aquilo acontece, como a estrutura óssea, por exemplo, aparece. Eu acho que é importante porque a gente usa muito no nosso dia a dia além da parte da medicina obviamente que tem maiores implicações. Deveria ser dado, sim, agora tem que ver como

vai ser a estrutura em volta do raio X, o que você vai falar pra inserir o raio-x, pra não ficar uma coisa muito complexa pro aluno.

Entrevistador: E você, trabalharia esse tópico?

Professor 3: Trabalharia com certeza.

Entrevistador: Apesar das restrições matemáticas, como você usaria em sala de aula os conceitos sobre raios X? Em que parte do conteúdo seriam úteis?

Professor 3: Eu acho realmente que a parte matemática limita um pouco, mas você pode trabalhar o fator qualitativo com os alunos. Não precisa necessariamente realizar uma série de cálculos. Tudo cai em cima daquilo que eu comentei de você trabalhar o conceito, o porque, como funciona o raio X e da própria universidade, por exemplo, cobrar isso na hora da entrada do aluno. Isso poderia ser trabalhado muito bem, assim como vários outros conceitos que se pode aplicar no dia a dia, sem trabalhar com a parte matemática, só com o fenômeno mesmo na hora que você explica onda, a aparte de ondulatória em que você cita os tipos de onda e você cita as aplicações de ondas, ondas AM, ondas de FM e você pode estender pra uma boa parte do espectro, microondas.... os alunos não conseguem relacionar o que é um FM, um AM, o que é uma microonda, qual é a parte do raio X, qual é o raio gama, que eles também ouvem falar e eles não conseguem relacionar isso. Nessa hora você poderia estender esse leque todo e trabalhar exatamente nesse momento, sem a parte matemática. Talvez fazendo $v = \lambda.f$, que é o que eles sabem muito na parte de ondas e mexendo muito na parte do conceito que é muito importante.

Entrevistador: Você acha que a parte histórica da descoberta dos raios X seria útil como introdução do assunto em sala de aula?... como você começaria?... deixaria essa parte de lado e começaria logo pela Física dos raios X?

Professor 3: Acho toda a parte histórica muito importante até pra eles poderem entender como surgiu isso, como é que foi descoberto e que contexto histórico-cultural estava inserido na época da descoberta. Pode puxar isso pra interdisciplinaridade de outras matérias, descobrir isso....trabalhar exatamente com a parte histórica, com a parte de geografia, como é que foi descoberto.....com a parte de biologia, as aplicações. Nesse momento você pode fazer um apanhado geral com várias matérias e você dar uma coisa mais bem interdisciplinar pros alunos.

Entrevistador: Como você faria a estrutura dos tópicos?

Professor 3: Eu acho que seria ideal você entrar na parte das aplicações primeiro, até mesmo no campo da biologia, no campo da medicina e aí você com isso despertar o interesse do aluno do porque você está mostrando aquilo pra ele. Tá mostrando aquilo pra ele porque tem muita aplicação, tem uma série de precauções que você pode tomar. Você tem uma carga máxima de raio X que você pode submeter o corpo humano e ele com isso saber por exemplo se a saúde dele está sendo prejudicada ou não. Despertar nele o interesse e aí, naturalmente até surge à pergunta: como é que foi descoberto? E quando descobriram os caras se preocuparam com isso? E você já cai na parte histórica e dando seqüência você entra efetivamente na parte qualitativa do ponto de vista físico mesmo: o que é o raio X, o por quê que ele faz mal. Aí você volta explicando algumas situações que você acabou colocando pro aluno na parte inicial das aplicações.

Entrevistador: Você acha que seus alunos se sentiriam interessados por um tópico desses?

Professor 3: Acho que sim porque é uma coisa bem real pra eles....você ir num hospital e você bater uma chapa de raio X e você, por exemplo, levar pra sala algumas chapas de raio X, com desenhos bem feitos. Uma chapa de raio X de um pé, de uma mão, mostrar como é que é.... A própria Biologia pode usar isso pra explicar a estrutura óssea. É bom quando você consegue explicar um negócio que é do dia a dia do aluno, é aplicável a ele e tem chance de ser interdisciplinar.

Entrevistador: Se houvesse um material já disponível e dependendo da possibilidade de inserção na sua programação, ¿você gostaria de usar esse material?

Professor 3: Gostaria com certeza. Se pudesse aplicar ou se pudesse propor isso em qualquer colégio, acredito que as pessoas gostariam de usar porque é uma coisa muito interessante.

Entrevistador: Gostaria de participar de um curso de capacitação para aplicar o material já que não usual abordarmos esse tipo de conteúdo?

Professor 3: Gostaria!

ENTREVISTA 4: Professor 4 – Atua no ensino particular.

Entrevistador: Em que séries do EM você atua?

Professor 4: Primeira, segunda e terceira séries.

Entrevistador: Em algum momento você já trabalhou com tópicos de Física Moderna, como por exemplo, às radiações eletromagnéticas?

Professor 4: A Óptica é uma parte que me encanta muito. Eu trabalho mais com luz visível, e aí envolvendo a óptica geométrica e algumas coisas de radiação, comprimentos de onda e do laser. Foi o ponto máximo que nós chegamos.

Entrevistador: E você... gostaria de trabalhar com esses tópicos no EM?

Professor 4: Gostaria!

Entrevistador: Você já leu os PCN's?

Professor 4: Não, não li. Já tive acesso a alguns resumos, alguns textos, mas o parâmetro nunca me dei o trabalho de ler.

Entrevistador: Um dos tópicos em pauta são os raios X. Você acha que seria importante para o aluno estudar esse tópico? Por quê?

Professor 4: A sim. Eu acho que Física tá muito além de uma equação do espaço, de uma velocidade e sim no conhecimento de toda tecnologia, dos avanços tecnológicos, da modernidade. Porque quando a gente fala em modernidade, a gente não ta falando somente no carro mais rápido, tem a ver com Física.....mas no avião, no avião silencioso, mas em todos os avanços em mais rápido, nanotecnologia, de computadores mais rápidos, de avanços na medicina, no estudo biológico, que está vinculado à Física. Eu acho esse tipo.....o ensino de Física engloba um conhecimento muito maior em que realmente são transversais a todas as outras áreas.

Entrevistador: E os raios-X?

Professor 4: É... eu conto muito um exemplo meu de vida que eu tinha....eu sou ambidestro e eu tenho tendinite nos dois cotovelos e eu jogava tênis, jogava hockey e vivia engessado por causa das duas tendinites, até o final de semana quando eu ia jogar. E eu pra não engessar de novo eu quebrava o gesso pra jogar final de semana e chegava segunda-feira eu queria engessar de novo e pra ser engessado tinha de tirar outra radiografia. E eu trocava de clínica e nisso algumas reações no meu organismo foram acontecendo pela exposição e graças a Deus não foi nada muito grave e eu não tinha noção de que aquela radiação poderia afetar meu organismo e o meu pai me estimulou a ler alguns textos sobre radiatividade, raio-X e aí que eu vi possibilidade de câncer, tudo mais, e aí fiquei preocupado e aí comecei a controlar....eu tenho um pai esclarecido, né. Um pai que tá sempre atualizado com tudo, né. E eu achava que isso deveria ter sido feito pelos meus professores de ciências e não só....lógico, pelo meu pai também, mas a função....esse esclarecimento era um esclarecimento que deveria ter sido dado pela escola. Eu tento falar certas coisas em sala de aula, mas que não ta escrito, não ta acessível aos alunos hoje com a Internet....se eles pensarem nisso em casa talvez eles acessem, mas não ta....em sala de aula tem pouco material pra trabalhar com eles.

Entrevistador: De qualquer forma... você trabalharia se pudesse?

Professor 4: Lógico!

Entrevistador: Apesar das restrições matemáticas, como você usaria em sala de aula os conceitos sobre raios X? Em que parte do conteúdo seriam úteis?

Professor 4: Quando você for tratar de ondas eletromagnéticas no final do tópico de ondas, a gente fala de ondas de rádio, microondas, cita o raio X como né... e aí vem a luz, laser de raio X, aquela coisa toda. E aí fazer isso juntamente com biologia né, quando às

vezes o professor De biologia vai falar do tecido ósseo, vai trabalhar com uma radiografia e fazer aulas...trabalhando com aulas de duas matérias com duas pessoas ao mesmo tempo. Um trata do osso o outro do fenômeno que é a radiologia, quer dizer...falar sobre...encaixar talvez alguns experimentos que são possíveis de ser feitos com o raio X sem muita exposição, pra trabalhar isso dentro da matéria de física e paralelo com outro....a biologia.

Entrevistador: Você acha que a parte histórica da descoberta dos raios X seria útil como introdução do assunto em sala de aula? Como você começaria? Deixaria essa parte de lado e começaria logo pela Física dos raios X?

Professor 4: Lógico!...porque...é tem.....eu sempre incentivo a experimentação. Eu sou uma pessoa que gosta de experimentar, gosta de ver física em tudo e é....a descoberta que entre aspas por acaso né, mas que mostra que a ciência está tão presente que a gente não....às vezes tem que ocorrer um fenômeno meio drástico pra que....às vezes a natureza tem que dar um pontapé na gente pra ver se a gente se desperta e mostrar que esse conhecimento, né....o histórico das descobertas possibilitam a.....mostrar o aluno.....que todo mundo está apto talvez a descobrir se estiver envolvido com novas coisas, nem tudo está descoberto e novas coisas podem ser descobertas desde que ele esteja aplicado, desde que ele esteja com o conhecimento experimental principalmente.

Entrevistador: Então você não deixaria a história de lado na introdução do assunto raios X?

Professor 4: Não, eu trabalho muito história com meus....a história de cada cientista eu tento citar algum....alguma história interessante, né, porque isso preenche mais a minha aula, isso é uma particularidade minha. Mas é lógico, como um tema paralelo, né, uma apresentação, uma exposição, um mural, né, um trabalho que eles estejam envolvidos, que

ele seja apresentado ou cruzar informações de grupos, pra que aquilo fique...seja trabalhado e o que representou historicamente também, e aí você pode tomar um gancho com outras matérias, com História, como o momento....eu sempre cito a revolução industrial na Inglaterra tava vinculada a Newton, tava vinculada a todo aquele pessoal do início da Física, da Mecânica e tava....esse laço faz com que o aluno conheça e saiba discutir, e saiba até mesmo....e isso trabalha a formação do aluno. Quando eu falo trabalhar.....como é que eu vou trabalhar historicamente? Eu tenho que, um pouco, é, despertar a curiosidade e depois colocar que eles me tragam a resposta, aonde que...até aonde eles se interessam por aquele assunto.

Entrevistador: Você acha que seus alunos se sentiriam interessados por um tópico desses?

Professor 4: Acredito que sim porque tá muito próximo, o raio X é uma coisa que você se quebra, vai tirar um dente, vai nascer o seu ciso, quando....você tem que ter uma radiografia. Então, tá muito perto do aluno. Acho que quanto mais perto estiver do aluno a matéria fica mais interessante. Ele vai chegar em casa, vai falar com o pai, o pai vai se despertar também, quer dizer, se ele souber. Há um diálogo melhor entre até a sociedade, na própria sociedade quando todos conseguem encontrar esse fator comum. Acho que isso ajuda a extensão do conhecimento, não só na sala de aula mas fora dela também.

Entrevistador: Se houvesse um material já disponível e dependendo da possibilidade de inserção na sua programação, ¿você gostaria de usar esse material?

Professor 4: Usaria!...usaria porque não tem tanta coisa explicando, quer dizer, existem em FM alguns paradidáticos de alguns heróis que conseguiram juntar, criar alguma coisa e isso...ainda o paradidático não é....não está sendo bem....trabalhado em escolas. Ainda há

uma resistência dos professores, da própria escola, às vezes pelo valor dos livros, que são a mais que o pai tem que comprar e isso ainda não é bem aceito pela sociedade. Mas um material que esteja acessível ao aluno. Acho que...é...ajuda ao professor e ao aluno também a conhecer, não só raios X, mas qualquer outra matéria bem mais rapidamente.

Entrevistador: Como é um assunto novo no ensino médio vemos a necessidade de um curso de capacitação. Você gostaria de participar?

Professor 4: Sem dúvida. Acho que...às vezes pra mexer na calculadora a gente faz lá três horinhas de aula. Eu acho que é uma reciclagem para o professor. É uma troca de experiência. Eu tive oportunidade de fazer cursos na minha área e fora dela, e essa troca de experiências, e saber.....o ter a humildade também, né. Eu acho que falta muito ao professor de Ciências a humildade de que ele não sabe, domina, aqueles assuntos. Que não dominar não é não que ele ignore, mas que ele pode aprender mais. Eu acho....na mesma maneira que....como é que ele pode querer despertar a vontade de estudar ciências com os alunos se ele mesmo não tem a humildade de chegar a aprender novamente, reaprender, ver detalhes que ele não tinha visto antes porque como não era o foco principal, né, era um foco secundário, terciário...eu acho que agora sendo um foco....trazendo onde ta o foco principal, eu acho que ali que ele deve sempre ta sendo preparado. Eu acho que a princípio preparar os que já estão na área e, sem dúvida, preparar os que estão entrando porque me faltou muita coisa na minha formação, apesar de eu achar que tivesse excelente....no meu dia a dia há uns hiatos na minha formação de coisas que eu poderia ter me aprimorado na física. Deveria ter sido aprimorado na minha graduação.

ENTREVISTA 5: Professor 5 – Atua no ensino público e particular.

Entrevistador: Em que séries do EM você atua?

Professor 5: As 3 né! ...primeira, segunda e terceira.

Entrevistador: Em algum momento você já trabalhou com tópicos de Física Moderna, como por exemplo, às radiações eletromagnéticas?

Professor 5: Não, nenhum momento. Gostaria, falta mais é....oportunidade né. Porque as coisas são corridas, o tempo corrido e aí você acaba tendo vestibular e priorizando a matéria do vestibular em detrimento das outras.

Entrevistador: Você já leu os PCN's?

Professor 5: Pra falar a verdade... [risos]...não! Acho importante sim até porque forma o...chance de formar alguém que se interessa por uma coisa que é atual né. Então pode despertar o interesse do assunto pra seguir pra esse lado mesmo....pra área científica....é importante.

Entrevistador: Um dos tópicos em pauta são os raios X. Você acha que seria importante para o aluno estudar esse tópico? Por quê?

Professor 5: Com certeza tá...tá é...a gente vive a aplicação de raios X no dia a dia né?

Entrevistador: Apesar das restrições matemáticas, como você usaria em sala de aula os conceitos sobre raios X? Em que parte do conteúdo seriam úteis?

Professor 5: Só a parte mesmo conceitual da coisa. Não precisa entrar na parte....só a qualitativa. Só analisar qualitativamente o fenômeno.

Entrevistador: E em que momento você introduziria esse tópico?

Professor 5: Raios X? Radiação, né?? No 3º ano, né. Depois de ter visto um pouco de eletricidade e magnetismo, né.

Entrevistador: Você acha que seria legal na parte de ondas?

Professor 5: Isso!... É...seria uma boa.

Entrevistador: Você acha que a parte histórica da descoberta dos raios X seria útil como introdução do assunto em sala de aula? Como você começaria? Deixaria essa parte de lado e começaria logo pela Física dos raios X?

Professor 5: Usaria sim pra você mostrar o desenvolvimento mesmo da teoria. Como é que surgiram lá as primeiras.....teorias, né??. Onde estava errada até chegar na que a gente conhece no dia de hoje. Tem que ser falado mesmo na parte histórica.

Entrevistador: Se houvesse um material já disponível e dependendo da possibilidade de inserção na sua programação, você gostaria de usar esse material?

Professor 5: Com certeza dependendo do material que você tenha disponível pra mostrar isso. Não adianta ficar só no cospe e giz, né?? Você teria que ter recursos pra poder tornar uma aula agradável, nesse caso, vídeo, algum experimento, sei lá.

Entrevistador: Você teria disponibilidade para trabalhar esses conceitos hoje?

Professor 5: Hoje de jeito e maneira. Com o tempo que eu tenho hoje, sem jeito.

Entrevistador: Então se houvesse um material já disponível você gostaria de usar esse material?

Professor 5: Aí sim! Como eu falei, hoje não teria tempo de sentar e fazer um trabalho para isso.

Entrevistador Quer dizer que você não falaria porque não tem um material disponível?

Professor 5: Tendo, as chances são maiores!

Entrevistador: E daria pra usar em ambos, público e privado?

Professor 5: Dá sim... com certeza dá!

Entrevistador: Mesmo com as restrições nos vestibulares?

Professor 5: Mesmo assim dá pra usar.

ENTREVISTA 6: Professor 6 – atua no ensino público e particular.

Entrevistador: Em que séries do EM você atua?

Professor 6: Primeira, segunda e terceira séries do EM.

Entrevistador: Em algum momento você já trabalhou com tópicos de Física Moderna, como por exemplo, às radiações eletromagnéticas?

Professor 6: Não

Entrevistador: E você gostaria de trabalhar com esses tópicos?

Professor 6: Gostaria sim.

Entrevistador: Você já leu os PCN's?

Professor 6: Já... hoje a gente percebe que o EM, ele está formando os alunos simplesmente pra aplicar né, a resolução de exercícios nos vestibulares, né. Eu acredito que isso é importante à medida que o aluno entra num curso superior ou em nível universitário. Só que dessa maneira ele não está sendo preparado para a sua vida, pra trabalhar, trabalhar

em qualquer área do...mesmo formal ou informal e eu acredito que a inclusão de um tópico de FM seria interessante até mesmo pra ele ter uma visão diferente do que é ciência hoje.

Entrevistador: Um dos tópicos em pauta são os raios X. Você acha que seria importante para o aluno estudar esse tópico? Por quê?

Professor 6: É interessante. É interessante em função daquilo que a gente percebe na...aplicação do dia a dia, né? O aluno já conhece, né, parte do que seria um raio X em termos de aplicação numa fratura, por exemplo, aplicações hospitalares, mas ele não conhece a fundo o que seria o raio X. O que seria uma onda, o que seria aplicação eletromagnética, enfim...

Entrevistador: Então... você gostaria de trabalhar com o tópico raios X?

Professor 6: Eu gostaria a medida do possível, né. A gente sabe que no EM hoje, o tempo de aula, dois tempos de 50 min. É insuficiente pra você trabalhar a física a nível geral. Mas eu gostaria sim de incluir esse tipo de....de pesquisa que está sendo trabalhada hoje no EM.

Entrevistador: Apesar das restrições matemáticas, como você usaria em sala de aula os conceitos sobre raios X? Em que parte do conteúdo seriam úteis?

Professor 6: É claro que o aluno mesmo não tendo um conhecimento matemático suficiente, ele vai entender a parte teórica, a parte histórica, né, e o funcionamento de um raio X. É claro que é....a.....o argumento matemático é interessante pra mostrar as medidas e uma análise qualitativa, né, mas se você for trabalhar a parte histórica, for trabalhar os conceitos, eu acredito que o aluno tenha, né, ele já tem uma visão, é...parcial do que é o raio X. Ele vai conseguir se aprofundar mais nesse tema.

Entrevistador: Esse tópico entraria como um tópico à parte ou você usaria no conteúdo atual na parte de ondas ou eletromagnetismo?

Professor 6: Ele tem que ter um conhecimento de eletromagnetismo pra [confuso]...então seria uma aplicação depois que você trabalha eletricidade e magnetismo, e também incluindo né, ondas eletromagnéticas.

Entrevistador: Você acha que a parte histórica da descoberta dos raios X seria útil como introdução do assunto em sala de aula? Como você começaria? Deixaria essa parte de lado e começaria logo pela Física dos raios X?

Professor 6: Não!, é claro que você não pode pular etapas, né?... você tem que trabalhar ao final dele conhecer uma onda eletromagnética, trabalhar os conceitos de FM pra introduzir esses conceitos de raio X. Então quando você trabalha com raio X, trabalha um efeito fotoelétrico, com efeito Compton, ele já tem uma idéia...ele tem que ter uma idéia, passar uma idéia, pra ele reconhecer e entender os conceitos do RX.

Entrevistador: Então a parte histórica é importante?

Professor 6: É importante!

Entrevistador: Você acha que seus alunos se sentiriam interessados por um tópico desses?

Professor 6: Eu acredito que sim. Que é mais uma motivação, né, pra o estudo de ciências, o estudo de física em particular.

Entrevistador: Se houvesse um material já disponível e dependendo da possibilidade de inserção na sua programação, você gostaria de usar esse material?

Professor 6: Sem dúvida... é claro, sem dúvida nenhuma!

Entrevistador: Como é um assunto novo no ensino médio vemos a necessidade de um curso de capacitação. Você gostaria de participar?

Professor 6: Gostaria... gostaria sim!

ENTREVISTA 7: Professor 7 – atua no ensino público e particular.

Entrevistador: Em que séries do EM você atua?

Professor 7: Primeira, segunda e terceira.

Entrevistador: Em algum momento você já trabalhou com tópicos de Física Moderna, como por exemplo, às radiações eletromagnéticas?

Professor 7: Não, nunca.

Entrevistador: Você já leu os PCN's?

Professor 7: PCN's? Já. Importante é, muito. Só que é...acho que são diversos fatores que vão influenciar nessa inserção desses conteúdos, né. A qualidade do aluno que a gente recebe, a qualidade do professor que ta na sala de aula, né, nós temos aí é...muitos professores aí que já estão tanto tempo na sala de aula que provavelmente se pegar um conteúdo desse pra...pra...for passar pro aluno, vai até enrolar mais a cabeça das crianças, né? E a questão do tempo de sala de aula, porque a parte clássica já fica comprometida, se agente for colocar aí a...essa parte de...dos tópicos mais modernos, então aí que talvez a gente não tenha tempo mesmo. E...e essa questão de você fazer a seleção dos conteúdos, né, e...pra poder inserir novas faces da...da...da física. Isso aí num...num...num...ninguém

conseguiu chegar e fazer uma...com clareza, isso muito bem. Então acho que, é importante é, mas tá faltando realmente bastante base pra que isso realmente aconteça.

Entrevistador: Um dos tópicos em pauta são os raios X. Você acha que seria importante para o aluno estudar esse tópico? Por quê?

Professor 7: Bom, como eu falei antes, importante é, mas a gente tem que analisar o...o como vai ser feito. Acho que...acho que toda forma de conhecimento nesse sentido é válida. A física realmente ela se...ela passa por um momento que tá meia perdida porque o aluno não vê muita aplicabilidade da...da...do que ele vê na sala pro seu dia a dia. Talvez esses tópicos de FM tivessem, é...melhor inseridos no cotidiano, mas essa abordagem..., como você vai inserir isso, a gente ainda tá...os professores ainda não tem material suficiente pra isso.

Entrevistador: Então... você gostaria de trabalhar com o tópico raios X?

Professor 7: Com certeza, se eu pudesse...se eu tivesse um material adequado, se eu tivesse um tempo, né. Tal...aquela...o que eu falei antes do aluno. Talvez o aluno, ele...se adequasse melhor a esse conteúdo, que é o conteúdo cotidiano dele do que um conteúdo clássico que é um conteúdo mais matematizado, né?

Entrevistador: Apesar das restrições matemáticas, como você usaria em sala de aula os conceitos sobre raios X? Em que parte do conteúdo seriam úteis?

Professor 7: É, isso aí a gente pode fazer assim uma relação sobre a...a mecânica celeste, né. Vamos dizer que é um conteúdo muito bonito, é um negócio muito legal de ser dado em sala de aula. A gente tem debatido muito isso aqui no curso do CEFET e...mas é bastante interessante, mas quando você chega na matematização os alunos correm. Já não

começam a gostar tanto, perdem a curiosidade do assunto e você acaba perdendo aí a...a motivação pra continuar com esse assunto. Já nos casos aí...do RX, mesmo se você fosse trabalhar é...isso em sala de aula, eu acho que isso aí tinha que passar por uma coisa...o mais conceitual possível, né. É claro que a matematização em algum momento vai ter entrar, mas isso aí também cabe...é...vai ser....tem que ter um estudo anterior numa base matemática; como é que isso vai ser feito, como é que os alunos....

Entrevistador: Em que parte do conteúdo você acha que isso estaria melhor inserido? Na parte de ondas, de eletromagnetismo?

Professor 7: Eu acho que isso aí, você é [confuso]... eu acho que deixaria pro final realmente. Você realmente teria que dividir entre o clássico e o pós, né? Você depois do eletromagnetismo você inserir esse assunto.

Entrevistador: Você acha que a parte histórica da descoberta dos raios X seria útil como introdução do assunto em sala de aula? Como você começaria? Deixaria essa parte de lado e começaria logo pela Física dos raios X?

Professor 7: Bom, eu...eu particularmente eu trabalho historicamente a Física quase toda. Então eu não deixaria essa parte de RX sem falar da história. Porque eu acho que a história serve como introdução de qualquer assunto e já faz uma contextualização, né, uma interdisciplinaridade automática do que você tá falando quando você fala historicamente de qualquer assunto.

Entrevistador: Você acha que seus alunos se sentiriam interessados por um tópico desses?

Professor 7: Bom, como eu falei antes, com certeza eles vão se interessar até por que...até talvez mais do que a gente fala [confuso]...clássico....do que a gente fala em sala de aula. Porque ele vai ta mais inserido no dia a dia dele.

Entrevistador: Se houvesse um material já disponível e dependendo da possibilidade de inserção na sua programação, você gostaria de usar esse material?

Professor 7: Usaria, usaria sim esse material. E eu acho que as escolas que...do Estado, principalmente, né, que a gente trabalha, eles dão uma liberdade muito grande pra gente poder inserir esse tipo de assunto e também...como também dão liberdade pro professor que não quer fazer nada, não fazer nada, né? Então, acho que a gente tá enfrentando hoje momento de mudança muito interessante na Educação, né. A questão da interdisciplinaridade como eu já falei e a questão da inserção desses tópicos se tiver um material pra usar, com certeza eu daria uma oportunidade pra vídeos didáticos, filmes mesmo, mas que tem uma parte histórica, científica envolvida. A gente usa aquele pedacinho. Acho que todo o material é bem vindo isso. Vai ser bem encaixado nessa parte.

Entrevistador: Se houvesse um curso de capacitação para usar o material você gostaria de participar?

Professor 7: A..a...todo material novo, como eu falei antes, os professores mais antigos eu acho que eles têm que ser realmente capacitados. Eu acho até que o grande erro dos PCN's foi isso. Tentar mudar a maneira de abordar e não capacitar professores pra abordar da maneira que eles queriam. É...é óbvio que todos que estão inseridos na sala de aula, eu acho que eles têm que mostrar esse interesse, né? Não só eu...eu utilizaria e acho que a maioria das pessoas...dos professores que eu conheço também entrariam num curso ou numa capacitação pra tentar usar o material, com certeza. Você trabalha na FAETEC, eu

também...o laboratório que chegou da física na FAETEC, pó eu fiz aquele curso uma, e faria duas, três vezes. Quantas vezes fosse necessária porque o tempo de curso não foi suficiente, né? Tem bastante equipamento lá...e eu acho que a gente ta na escola é pra isso mesmo, pra absorver essas novas tecnologias, pra poder passar cada vez melhor pros alunos, né? Nessa área de física.

ENTREVISTA 8: Professor 8 – atua no ensino público.

Entrevistador: Em que séries do EM você atua?

Professor 8: Atualmente estou só na terceira série porque estou afastado para fazer o mestrado. Estou com afastamento parcial.

Entrevistador: Em algum momento você já trabalhou com tópicos de Física Moderna, como por exemplo, às radiações eletromagnéticas?

Professor 8: Não... só comentários extra sala de aula, nos corredores com alguns alunos mais interessados. Mas como conteúdo mesmo pra trabalhar...é... dificilmente é possível concluir o conteúdo normal, que dirá alguma coisa a mais de FM.

Entrevistador: Existem orientações oficiais (PCN's e PCN+) e pesquisas na área de Ensino de Física que indicam ser importante a introdução de tópicos de Física Moderna no ensino médio, no sentido de formar um cidadão mais inserido no contexto tecnológico atual através de uma abordagem mais interdisciplinar, contextualizada e apoiada em competências. O que você acha disso? Você acha que isso é realmente importante?

Professor 8: Sim e concordo e acho que deve ser retratado esse problema. Agora, a dificuldade maior é a quantidade de aulas por semana. Geralmente são duas aulas por

semana e aí, só o conteúdo da chamada física clássica já fica espremido, e aí chegar na FM fica quase impossível.

Entrevistador: Um dos tópicos em pauta são os raios X. Você acha que seria importante para o aluno estudar esse tópico? Por quê?

Professor 8: Sim e os alunos têm curiosidade. Alguns alunos mais curiosos, digamos assim, eles perguntam sobre isso e acaba rendendo um papo fora da sala de aula. Esse ano o professor De química da escola em que trabalho está tentando montar um mini-curso sobre raios X especificamente. E eu estou tentando ajudar no que for possível pra sair esse curso pros alunos da oitava série no horário do almoço. Tirar 30 min duas vezes por semana no almoço., para poder aplicar essa questão do raio X pra esses alunos mais interessados. Não é pra turma toda. Não é obrigatório, mas justamente pelos PCN's nós já estamos vendo essa necessidade de implementar isso aí e está tentando.

Entrevistador: Então... você gostaria de trabalhar com o tópico raios X?

Professor 8: Sim, gostaria. Eu acho....infelizmente só alguns poucos alunos curiosos que estão tendo a oportunidade de conhecer um pouquinho mais sobre isso, mas eu acho que seria interessante que todos os alunos tivessem esse contato.

Entrevistador: Apesar das restrições matemáticas, como você usaria em sala de aula os conceitos sobre raios X? Em que parte do conteúdo seriam úteis?

Professor 8: A questão matemática aí é complicada. A física já sofre pela questão do português, da interpretação do aluno ou da falta de interpretação e da questão da matemática. Então realmente alguns conceitos de FM ficariam comprometidos pela falta dessa matemática um pouco mais acentuada.

Entrevistador: E onde você usaria essa parte no conteúdo formal?

Professor 8: É...poderia ser na parte de ondas, já que é uma onda eletromagnética e a gente até às vezes faz isso quando está discutindo o espectro eletromagnético. Coloca aquele...a gente acaba extrapolando um pouquinho. Coloca lá as ondas de tv, de microondas, de telefonia celular, etc. E aparece o RX também. A gente acaba comentando alguma coisa. Então se tivesse algum material didático pra gente poder aprofundar um pouco mais, isso seria interessante.

Entrevistador: Você acha que a parte histórica da descoberta dos raios X seria útil como introdução do assunto em sala de aula? ¿Como você começaria? Deixaria essa parte de lado e começaria logo pela Física dos raios X?

Professor 8: Eu acho que a parte histórica é importante em qualquer assunto que a gente venha trabalhar. A contextualização histórica é fundamental. O aluno às vezes pega o conceito que o professor tenta passar e vira aquela coisa muito solta no ar. E essa contextualização histórica é fundamental. E a do raio X é uma das mais bonitas porque o Röntgen que descobriu o raio X ele publicou isso aí e um mês depois tava todo mundo fazendo e 2 meses depois os médicos já estavam aplicando e etc. Então é uma coisa fundamental.

Entrevistador: Você acha que seus alunos se sentiriam interessados por um tópico desses?

Professor 8: Acho que sim porque até hoje é utilizado. Eles utilizam no dentista, utilizam quando quebram os pés, a perna, alguma coisa jogando bola e etc. Então o raio X atrai o aluno, tem uma curiosidade. Eu acho que é possível sim.

Entrevistador: Se houvesse uma formação continuada para utilizar o material você gostaria de participar?

Professor 8: Sim. Eu acho fundamental e isso independe de ser de FM. Nós vemos o exemplo do GREF, por exemplo, que é o grupo lá de SP, da USP, que tem 3 livros. Mas se o professor não fizer uma capacitação pra trabalhar daquela maneira, acaba saindo o tiro pela culatra. Acaba não dando certo. Então, se vai trabalhar com uma metodologia diferente tem que ter algum tipo de capacitação e sendo um material novo, acrescentando no currículo do aluno esses tópicos de FM, tem que ter algum tipo de capacitação pra poder trabalhar com esse tipo de material.

ENTREVISTA 9: Professor 9 – atua no ensino público e particular.

Entrevistador: Em que séries do EM você atua?

Professor 9: Trabalho com as três séries.

Entrevistador: Em algum momento você já trabalhou com tópicos de Física Moderna, como por exemplo, às radiações eletromagnéticas?

Professor 9: Trabalhei informalmente com algumas perguntas que os alunos fazem. Volta e meia um aluno lê uma Superinteressante e pergunta alguma coisa sobre o paradoxo dos gêmeos, alguma coisa sobre volta no tempo, máquina do tempo; se é possível voltar no tempo...

Entrevistador: Mas e formalmente?

Professor 9: Formalmente não. Só informalmente. Nenhuma teoria desenvolvida, nenhum exercício, só bate papo.

Entrevistador: Existem orientações oficiais (PCN's e PCN+) e pesquisas na área de Ensino de Física que indicam ser importante a introdução de tópicos de Física Moderna no ensino médio, no sentido de formar um cidadão mais inserido no contexto tecnológico atual através de uma abordagem mais interdisciplinar, contextualizada e apoiada em competências. ¿O que você acha disso? ¿Você acha que isso é realmente importante?

Professor 9: Essa parte específica aí eu nunca li não.

Entrevistador: Um dos tópicos em pauta são os raios X. Você acha que seria importante para o aluno estudar esse tópico? Por quê?

Professor 9: Eu acho que não. Deixa eu tentar explicar porque. É...na sua primeira pergunta você falou a respeito de..se nós já havíamos dado formalmente alguma coisa de FM...eu nesses 15 anos de magistério nunca vi nenhum aluno meu perguntando sobre raios X. Por isso é que eu tenho essa opinião quanto à importância. Já muito aluno perguntando a respeito da questão do tempo, da relatividade do tempo. Geralmente porque eles vêm em filme. Alguns lêem lá na Superinteressante ou em outra revista. Eles querem saber se é possível construir uma máquina que a pessoa volte no tempo; se a pessoa viajar na velocidade da luz, ela vai parar em outra dimensão, mas especificamente sobre raios X...não é uma coisa que desperte muito interesse nos alunos saber porque.

Entrevistador: Se você usasse como estratégia de ensino, em cima da desmotivação dos alunos do EM devido a descontextualização dos atuais conteúdos, lembrando que os raios-X é um assunto do dia a dia dos alunos (seja ele próprio ou alguém que ele conhece já fez uma radiografia), será que o assunto não poderia servir de tema motivador para a abordagem de um tema como Ondas que já faz parte do currículo formal? Não seria

interessante para você partir do dia a dia do aluno e chegar ao formalismo que se tem atualmente?

Professor 9: Com certeza! Eu acho que qualquer dispositivo que você use para contextualizar a sua aula, torna-se interessante para o aluno. Se você levar lá um protótipo da máquina do raio X, ele vai se interessar, assim como se você levar um chuveiro elétrico e desmontar pra ele, ele vai se interessar, entendeu? É uma boa partida pra se estudar até outras teorias da FM. É uma boa partida, uma coisa que está próxima dele também, entendeu? E eu também penso que não é pelo fato do aluno nunca ter perguntado que ele não vai se interessar. Eu acho que o aluno se interessa por tudo àquilo que contextualize com sua vida do dia a dia.

Entrevistador: Apesar das restrições matemáticas, como você usaria em sala de aula os conceitos sobre raios X?... em que parte do conteúdo seriam úteis?

Professor 9: Com certeza! Raio X, o laser, tubo de imagem da tv que na verdade saiu do raio-X a explicação do seu funcionamento, é...até o cd de hoje que usa o laser, é...caminhando para o tomógrafo, para a ressonância magnética. Qualquer equipamento desse aí que o professor tenha habilidade de expor pro aluno mesmo sem o rigor matemático que nem sempre isso é importante. Que muitos de nós professores nem sabemos mais, mas eu acho que vale a pena como um material para despertar o interesse do aluno.

Entrevistador: Você acha que a parte histórica da descoberta dos raios X seria útil como introdução do assunto em sala de aula? Como você começaria? Deixaria essa parte de lado e começaria logo pela Física dos raios X?

Professor 9: Com certeza eu iria usar a parte histórica porque é exatamente em cima disso que eu trabalho no mestrado. Eu sempre quero passar a física pra eles com um tempero da sua história. Não aquela história factual, colocando nossos grandes pensadores como iluminados que de repente a maçã caiu na cabeça e descobriu a gravidade. Não é isso. Mas uma história que a gente consiga motivar o aluno e mostrar pra ele que as pessoas nas suas épocas eram pessoas normais como eles. Que estavam em busca de alguma coisa e descobriram, ou descobriram por acaso como o caso do raio X que foi descoberto...o objetivo era um, não é??.....e a descoberta do raio X saiu por tabela assim como o microondas. O objetivo era...acidentais...existem aquelas descobertas que são propositais e aquelas que são acidentais e isso motiva mais o aluno e de repente ele pode também numa dessas aí, ele descobrir alguma coisa.

Entrevistador: Se houvesse um material já disponível e dependendo da possibilidade de inserção na sua programação, você gostaria de usar esse material?

Professor 9: Com certeza gostaria.

Entrevistador: Se houvesse uma formação continuada para utilizar o material você gostaria de participar?

Professor 9: Gostaria! Eu acho que deveria ter sempre um curso de formação continuada. Voltar novamente...primeiro eu acho que isso ser um tópico da graduação. A FM para o EM deveria ser uma disciplina ou pelo menos parte de uma disciplina. Uma coisa é você aprender FM com um teórico, um físico teórico, que pesquisa nessa área de Educação. E aí eu acho que o enfoque vai ser completamente diferente. E para nós que já somos formados e não tivemos uma formação nesse sentido de aplicar a FM, e às vezes a

gente toma susto. Só vai começar aplicar quando cair no vestibular. Eu acho que seria interessante e participaria com todo o prazer.

ENTREVISTA 10: Professor 10 – atua no ensino público e particular.

Entrevistador: Em que séries do EM você atua?

Professor 10: Primeira, segunda e terceira séries.

Entrevistador: Em algum momento você já trabalhou com tópicos de Física Moderna, como por exemplo, às radiações eletromagnéticas? Quais tópicos já foram abordados? Você gostaria de trabalhar com esses tópicos?

Professor 10: Não. Falamos alguma coisa na parte de classificação da sondas e só. Sim.

Entrevistador: Existem orientações oficiais (PCN's e PCN+) e pesquisas na área de Ensino de Física que indicam ser importante a introdução de tópicos de Física Moderna no ensino médio, no sentido de formar um cidadão mais inserido no contexto tecnológico atual através de uma abordagem mais interdisciplinar, contextualizada e apoiada em competências. Você já leu os parâmetros? Você acha que isso é realmente importante?

Professor 10: Não. O EM de Física precisa ser urgentemente atualizado. Nesse sentido é importante introduzir tópicos mais recentes.

Entrevistador: Um dos tópicos em pauta são os raios X. Você acha que seria importante para o aluno estudar esse tópico? Por quê?

Professor 10: Sim. Está no dia a dia de todos. Pode pegar alguns ganchos na matéria.

Entrevistador: Então... você gostaria de trabalhar com o tópico raios X?

Professor 10: Se houvesse oportunidade, sim.

Entrevistador: Apesar das restrições matemáticas, como você usaria em sala de aula os conceitos sobre raios X? Em que parte do conteúdo seriam úteis?

Professor 10: Na parte de ondas quando falamos do espectro eletromagnético.

Entrevistador: Você acha que a parte histórica da descoberta dos raios X seria útil como introdução do assunto em sala de aula? Como você começaria? Deixaria essa parte de lado e começaria logo pela Física dos raios X?

Professor 10: Sim. É importante o aluno entender o contexto histórico que se deu à descoberta ou a pesquisa para entender a evolução atual.

Entrevistador: Se houvesse um material já disponível e dependendo da possibilidade de inserção na sua programação, você gostaria de usar esse material?

Professor 10: Dependendo de como será introduzido, sim.

Entrevistador: Se houvesse um curso de formação continuada para utilizar o material você gostaria de participar?

Professor 10: Sim, seria ótimo.

Anexo II – Respostas dos professores ao questionário de validação da proposta metodológica.

Foram entregues em mãos a 10 professores de Física que atuam no EM regular, público e privado, um questionário de avaliação e uma cópia da proposta metodológica. Em média, a maioria dos professores que participaram dessa etapa levou 15 dias para responder ao questionário de validação, sendo que, o último a entregar levou 30 dias. A maioria dos questionários foi devolvida por e-mail. É importante ressaltar que um dos professores, mesmo sendo solicitado, não devolveu o questionário. Todas as respostas foram transcritas integralmente dos e-mails recebidos e dos questionários devolvidos.

Professor A: Licenciado em Física pela PUC-RJ. Atua como professor de Física no Colégio e curso Prósper e Colégio QI. Tem 10 anos de profissão.

1 – Numa avaliação geral, você acha que essa proposta está adequada para ser usada numa turma da terceira série do Ensino Médio?

R: Sim, até mesmo na oitava do ensino fundamental.

2 – Você acha que a proposta alcançou os objetivos propostos?

R: Sim – um conhecimento amplo amplia o conhecimento de causa e efeito sem aprofundamento matemático.

3 – O que achou das *ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR* no início de cada módulo?

R: Desta forma não se “perde” na aula que virá a ser ministrada. Amarra o assunto à aula.

4 – Você acha que essas sugestões podem servir de base para que você possa planejar uma aula ou uma outra atividade pedagógica sobre o assunto Raios-X?

R: Lógico que sim! Até mesmo porque haverá algumas manifestações dos alunos o que conduzirá as aulas seguintes.

5- Com relação à linguagem dos módulos, você acha que está adequada à série proposta, isto é, a terceira série do ensino médio?

R: Nada está completamente alheio ao vocabulário de um aluno médio, com uma certa leitura acadêmica ou não.

6 – O que você achou da estruturação da proposta em módulos?

R: Como já expressado, facilita uma ordenação diferente a partir da interação e participação dos alunos. A alteração da ordem, muitas vezes, não compromete o curso.

7 – Você acha que a ordenação dos módulos está adequada? Caso ache que não, teria alguma sugestão de estruturação para o assunto?

R: Está ótima!

8 – Você teria outras sugestões para serem acrescentadas aos módulos?

R: Uma “fórmula” ou tabela que pudesse mensurar o quanto de radiação X a pessoa pode tomar por ano.

9 – O que achou das ilustrações?

R: Impactantes embora na minha cópia algumas saíram “erradas” ou com defeito; a maioria está bem ilustrada.

10 – Você acha que o módulo que trata da *FÍSICA DOS RAIOS-X* deveria vir acompanhado de exercícios?

R: Seria legal, até mesmo porque, infelizmente, o aluno só vê importância se aparecerem números ou análise de tabelas, gráficos, etc. (problema do vestibular).

11 – Você adotaria este tema e usaria este material em alguma de suas turmas?

R: Óbvio que sim! Já utilizei alguns dos sites citados para consultas e trabalhos p/ alunos da oitava série do ensino fundamental.

Professor B: Engenheiro de Produção (UFRJ) e licenciado em Física (Souza Marques). Atua como professor de Física no Colégio e curso pH. Tem 10 anos de profissão.

1 – Numa avaliação geral, você acha que essa proposta está adequada para ser usada numa turma da terceira série do Ensino Médio?

R: Sim, apesar de reconhecer que isso depende do enfoque que cada colégio dá ao seu projeto pedagógico.

2 – Você acha que a proposta alcançou os objetivos propostos?

R: Sim, plenamente.

3 – O que achou das *ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR* no início de cada módulo?

R: Bastante apropriadas, pois auxiliam o professor na implementação do projeto e orientam a abordagem dos aspectos mais relevantes de cada módulo. É um fator que diminui a “resistência” do professor a usar esta proposta em aula.

4 – Você acha que essas sugestões podem servir de base para que você possa planejar uma aula ou uma outra atividade pedagógica sobre o assunto Raios-X?

R: Com certeza. Na verdade, as sugestões servem não só como base, mas também, devido ao seu alto grau de abrangência, como referência global do assunto.

5- Com relação à linguagem dos módulos, você acha que está adequada à série proposta, isto é, a terceira série do ensino médio?

R: Acho que é mais seguro que seja nesta série. Em alguns trechos a linguagem realmente exige conhecimentos prévios que, só nesta etapa, o aluno tenha maturidade para compreensão. Talvez, alunos reconhecidamente notáveis em ciências, do 1º e/ou 2º ano possam ter acesso a este material também, mas a princípio não julgo conveniente.

6 – O que você achou da estruturação da proposta em módulos?

R: Torna a implementação mais flexível e possível de ser executada em conjunto com outras disciplinas.

7 – Você acha que a ordenação dos módulos está adequada? Caso ache que não, teria alguma sugestão de estruturação para o assunto?

R: Sim. Achei interessante a colocação do módulo 1 antes do módulo 2 p/ que fosse despertado o interesse do aluno pelo tema. A ordem entre 3 e 4, pelo fato de serem independentes, talvez não seja tão relevante p/ o sucesso da proposta.

8 – Você teria outras sugestões para serem acrescentadas aos módulos?

R: Talvez, a resposta-padrão esperada, para as perguntas. Seria mais um instrumento para a “conquista” do professor.

9 – O que achou das ilustrações?

R: Bem situadas entre os parágrafos e apropriadas p/ melhor descrição e compreensão das propostas. Talvez pudessem coloridas e um pouco mais nítidas.

10 – Você acha que o módulo que trata da *FÍSICA DOS RAIOS-X* deveria vir acompanhado de exercícios?

R: Sim. De preferência com as respostas-padrão também.

11 – Você adotaria este tema e usaria este material em alguma de suas turmas?

R: Sim. Provavelmente não em sua plenitude devido ao foco do colégio em que trabalho ser de treinamento para o vestibular.

Professor C: Bacharel e Licenciado em Física (UERJ). Mestre em Astronomia. Atua como professor do Colégio Santo Inácio. Tem 9 anos de profissão.

1 – Numa avaliação geral, você acha que essa proposta está adequada para ser usada numa turma da terceira série do Ensino Médio?

R: Sim, ou até mesmo em outros anos do EM, dependendo do colégio.

2 – Você acha que a proposta alcançou os objetivos propostos?

R: Baseado nos PCN's e na apresentação, sim.

3 – O que achou das *ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR* no início de cada módulo?

R: Muito úteis, apesar que poderia incluir a palavra “sugestão para ...”.

4 – Você acha que essas sugestões podem servir de base para que você possa planejar uma aula ou uma outra atividade pedagógica sobre o assunto raios X?

R: Certamente, principalmente em projetos como os sugeridos nos PCN's.

5- Com relação à linguagem dos módulos, você acha que está adequada à série proposta, isto é, a terceira série do ensino médio?

R: Sim.

6 – O que você achou da estruturação da proposta em módulos?

R: Facilita o entendimento da proposta.

7 – Você acha que a ordenação dos módulos está adequada? Caso ache que não, teria alguma sugestão de estruturação para o assunto?

R: Acho que a ordenação pode mudar neste trabalho sem prejuízo da proposta original.

8 – Você teria outras sugestões para serem acrescentadas aos módulos?

R: Maior aprofundamento na parte de Física, talvez em relação com a Física Nuclear e aplicações na Medicina (Física Médica).

9 – O que achou das ilustrações?

R: Bem alocadas, mas poderiam ser mais nítidas.

10 – Você acha que o módulo que trata da *FÍSICA DOS RAIOS-X* deveria vir acompanhado de exercícios?

R: Certamente.

11 – Você adotaria este tema e usaria este material em alguma de suas turmas?

R: Sim, mas não apenas no 3º ano do EM. Acho possível tais temas em qualquer série.

Professor D: Especialista em Ensino de Física (UFF), Licenciado em Física (UFRJ) e Engenheiro Eletricista (UCP). Atua como professor no CAP UFRJ. Tem 18 anos de profissão.

1 – Numa avaliação geral, você acha que essa proposta está adequada para ser usada numa turma da terceira série do Ensino Médio?

R: Sim, embora seja necessário por parte do professor uma reestruturação do curso tendo em vista o tempo disponível e os assuntos a serem abordados nesta série específica.

2 – Você acha que a proposta alcançou os objetivos propostos?

R: Na apresentação aos professores da proposta metodológica (páginas 2 e 3) o texto não explicita seus “**objetivos propostos**”, o autor dispõe sobre a necessidade da abordagem deste tema cita a LDB e os PCN’s, fala do embasamento da proposta em trabalhos na área de ensino de física e sobre a forma adotada para sua abordagem CTS. No seu 5º parágrafo (página 2) fala de objetivos mais gerais “... *mediar, em conjunto com seus alunos, a aprendizagem de um conhecimento científico que esteja mais próximo do seu dia a dia e do que se faz atualmente em Ciências...*”. Acredito que seria importante mencionar os objetivos específicos a serem atingidos com este trabalho. Assim os professores podem avaliar a adequação do grau de profundidade do texto elaborado pelo autor e seus objetivos pretendidos.

3 – O que achou das *ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR* no início de cada módulo?

R: É interessante a sugestão de outras fontes didáticas, inclusive as da Internet. As sugestões das questões a serem discutidas são também uma opção relevante para o desdobramento do tema. Nestas orientações poderia-se sugerir uma metodologia mais

fechada, indicando as diferentes etapas desta metodologia tendo em vista o tempo disponível para o desenvolvimento de tema em diferentes escolas.

4 – Você acha que essas sugestões podem servir de base para que você possa planejar uma aula ou uma outra atividade pedagógica sobre o assunto raios X?

R: Sim. O texto apresenta-se bastante completo, sendo um rico material de consulta para professores.

5- Com relação à linguagem dos módulos, você acha que está adequada à série proposta, isto é, a terceira série do ensino médio?

R: Sim. Acredito que a linguagem está adequada aos alunos do 3º Ano do ensino médio. Gostaria no entanto de registrar algumas pequenas ressalvas mais relacionadas à forma de abordagem, onde por vezes, a preocupação com didatismo da apresentação (dividida em itens e tópicos), parece nos transportar a textos mais tradicionais de ensino, descaracterizando a abordagem CTS pretendida pelo autor. Como exemplos poderíamos citar: No módulo 4, os efeitos Biológicos e no módulo 1, as aplicações do raio X. Embora deva registrar que não tenho nenhuma sugestão de como fazê-lo.

6 – O que você achou da estruturação da proposta em módulos?

R: Acredito que a proposta em módulo fosse mais indicada para um curso técnico de Radiologia onde todos os conceitos apresentados devem ser de domínio do técnico, onde o autor de certa forma indicaria o tempo para cada um dos módulos. Para nossos cursos de ensino médio, onde os alunos não terão que dominar estas técnicas, e para tornar mais flexível a utilização do material frente às imposições de tempo desta série específica, acredito que a apresentação em um texto único, dividido em itens, facilitaria sua inserção

na sala de aula. No formato de módulos o curso fica mais “engessado” como nos métodos de ensino com apostilas onde o professor tem pouca flexibilidade de modificar a proposta pré-determinada do curso. Acredito que como texto único os professores terão mais facilidade de adequá-lo a sua realidade, tornando-o efetivamente com maior possibilidade de inserção na sala de aula.

7 – Você acha que a ordenação dos módulos está adequada? Caso ache que não, teria alguma sugestão de estruturação para o assunto?

R: Para alunos do Ensino médio, acredito que se poderia comprimir os dois módulos iniciais em um único módulo que tratasse das aplicações diversas (para motivação dos alunos) e da parte histórica (para estruturação do tema).

8 – Você teria outras sugestões para serem acrescentadas aos módulos?

R: Introduzir exercícios e atividades.

9 – O que achou das ilustrações?

R: As ilustrações são fundamentais. Algumas estão ilegíveis, pelo menos nas minhas cópias. Nos originais do autor a ilustração da página 16 mostra pessoas escondidas no caminhão, no entanto na minha cópia nada aparece. As ilustrações da página 27 são ótimas para mostrar os perigos da super exposição.

10 – Você acha que o módulo que trata da *FÍSICA DOS RAIOS-X* deveria vir acompanhado de exercícios?

R: Sim. Gostaria também de ressaltar que neste módulo 3 foram abertas várias frentes de estudo como: estudo das ondas, modelo atômico e dualidade onda-partícula, temas que sozinhos necessitariam análises mais detalhadas. Acredito que seria importante um maior

detalhamento do momento a ser introduzido este tema. (Quais os pré-requisitos necessários). Acredito que este tema teria que vir depois do estudo de ondas, sendo portanto desnecessário o desenvolvimento deste tópico na página 31.

11 – Você adotaria este tema e usaria este material em alguma de suas turmas?

R: Sim. Eventualmente poderia procurar condensá-lo para se adequar às limitações de tempo disponíveis nesta série.

Professor E: Licenciado em Física (UERJ). Atua como professor da FAETEC. Tem 10 anos de profissão.

1 – Numa avaliação geral, você acha que essa proposta está adequada para ser usada numa turma da terceira série do Ensino Médio?

R: Sim, desde que a turma tenha os conhecimentos mínimos de Física básica p/ a compreensão do tema abordado.

2 – Você acha que a proposta alcançou os objetivos propostos?

R: Sim, já que ficou claro a distinção de alguns tópicos abordados.

3 – O que achou das *ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR* no início de cada módulo?

R: Boas, já que nos oferece suporte p/ possíveis trabalhos dentro da sala de aula.

4 – Você acha que essas sugestões podem servir de base para que você possa planejar uma aula ou uma outra atividade pedagógica sobre o assunto raios X?

R: Sim.

5- Com relação à linguagem dos módulos, você acha que está adequada à série proposta, isto é, a terceira série do ensino médio?

R: Sim.

6 – O que você achou da estruturação da proposta em módulos?

R: Boa.

7 – Você acha que a ordenação dos módulos está adequada? Caso ache que não, teria alguma sugestão de estruturação para o assunto?

R: Não.

8 – Você teria outras sugestões para serem acrescentadas aos módulos?

R: Para o nível em que serão adotados não!

9 – O que achou das ilustrações?

R: Talvez algumas das ilustrações ficariam melhores se fossem coloridas.

10 – Você acha que o módulo que trata da *FÍSICA DOS RAIOS-X* deveria vir acompanhado de exercícios?

R: Sim, mas não numérico.

11 – Você adotaria este tema e usaria este material em alguma de suas turmas?

R: Sim.

Professor F: Licenciado em Física (UFRJ). Atua como professor da Escola Parque, Colégio Carrescia ,FAETEC e Colégio Estadual. Tem 15 anos de profissão.

1 – Numa avaliação geral, você acha que essa proposta está adequada para ser usada numa turma da terceira série do Ensino Médio?

R: A idéia de aproximar a Física para a vida dos alunos me agrada muito. Porém, não podemos deixar de lembrar que a terceira série é uma concentração total para uma nova fase. Esta proposta deveria ser complementar na 1ª e 2ª séries. No meu ponto de vista, não se aplica à terceira série.

2 – Você acha que a proposta alcançou os objetivos propostos?

R: Só saberia disso aplicando-a. O trabalho está bem ilustrado, sem muitos aprofundamentos pesados para um aluno do nível médio. Sugiro sua aplicação na forma de um projeto, com uma apresentação final dos alunos num momento cultural da escola a fim de avaliar a proposta.

3 – O que achou das *ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR* no início de cada módulo?

R: Faltou dar o “gabarito” das questões para discussão. Isso completaria as orientações para o professor.

4 – Você acha que essas sugestões podem servir de base para que você possa planejar uma aula ou uma outra atividade pedagógica sobre o assunto raios X?

R: Em parte. Seria interessante para o professor ter em mãos o material citado para consulta. A falta de diálogo sobre o assunto poderia ser um problema para quem está acostumado a apenas repetir anualmente o mesmo conteúdo e física moderna não faz parte.

5- Com relação à linguagem dos módulos, você acha que está adequada à série proposta, isto é, a terceira série do ensino médio?

R: A linguagem sim, mas o texto está muito enxuto. Talvez um pouco mais de desdobramentos seria interessante para os alunos.

6 – O que você achou da estruturação da proposta em módulos?

R: Muito boa. Delineou as áreas.

7 – Você acha que a ordenação dos módulos está adequada? Caso ache que não, teria alguma sugestão de estruturação para o assunto?

R: Sim. Não seria esse um trabalho envolvendo o apoio de várias disciplinas?

8 – Você teria outras sugestões para serem acrescentadas aos módulos?

O professor não respondeu essa pergunta.

9 – O que achou das ilustrações?

R: Boa quantidade, algumas pecando apenas na resolução (talvez a fotocópia não estivesse boa).

10 – Você acha que o módulo que trata da *FÍSICA DOS RAIOS-X* deveria vir acompanhado de exercícios?

R: Não. Os alunos não dominam Física Moderna para isso. Não seria bom uma forçação de barra. Sugiro, no lugar, uma discussão maior sobre o assunto.

11 – Você adotaria este tema e usaria este material em alguma de suas turmas?

Sim. Como já disse, na forma de um projeto interdisciplinar, fora do horário de aula.

Professor G: Licenciado e Bacharel em Física (UERJ). Mestre em Física do Estado Sólido (UERJ). Atua como professor no Colégio pH e dois colégios estaduais. Tem 4 anos de profissão.

1 – Numa avaliação geral, você acha que essa proposta está adequada para ser usada numa turma da terceira série do Ensino Médio?

R: Sim. Acredito que essa proposta pode e deve ser aplicada para turmas de terceira série de ensino médio.

2 – Você acha que a proposta alcançou os objetivos propostos?

R: Sim. A proposta de introduzir um contato com Física Moderna aplicada ao raio X, aos alunos está bem adequada.

3 – O que achou das *ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR* no início de cada módulo?

R: Excelente. É preciso termos várias referências para todos os temas abordados em sala de aula, especialmente os tópicos mais modernos e que despertem mais curiosidade por parte dos alunos.

4 – Você acha que essas sugestões podem servir de base para que você possa planejar uma aula ou uma outra atividade pedagógica sobre o assunto raios X?

R: Sim. Como disse anteriormente, é importante que existam referências sobre assuntos novos que serão abordados em sala de aula.

5- Com relação à linguagem dos módulos, você acha que está adequada à série proposta, isto é, a terceira série do ensino médio?

R: Sim. A linguagem está perfeita, e os conceitos estão sempre bem explicados e exemplificados.

6 – O que você achou da estruturação da proposta em módulos?

R: Muito boa. Essa estrutura faz com que os alunos fiquem cada vez mais motivados à medida que vão avançando na leitura.

7 – Você acha que a ordenação dos módulos está adequada? Caso ache que não, teria alguma sugestão de estruturação para o assunto?

R: Não. A estrutura está perfeita.

8 – Você teria outras sugestões para serem acrescentadas aos módulos?

R: Para esse primeiro contato, esses módulos selecionados estão ótimos. Caso os alunos queiram mais detalhes sobre algum módulo o professor indicaria alguma referência extra sobre o assunto.

9 – O que achou das ilustrações?

R: Muito boas, acredito que somente a figura da onda pudesse ser trocada, pois ela não está com uma nitidez suficiente para o entendimento.

10 – Você acha que o módulo que trata da *FÍSICA DOS RAIOS-X* deveria vir acompanhado de exercícios?

R: Sim. Poderiam ser explorados alguns exercícios, para verificar o entendimento de cada aluno.

11 – Você adotaria este tema e usaria este material em alguma de suas turmas?

R: Infelizmente eu só poderia utilizar esse material nas minhas turmas do colégio estadual, uma vez que, no colégio particular eu não trabalho com turmas de terceira série. Nas minhas turmas do colégio público eu poderia e gostaria de abordar esse tema, mais como curiosidade para eles, pois o nível desses alunos infelizmente é muito inferior.

Professor H: Engenheiro de Produção (UFRJ) e Licenciado em Física (Souza Marques). Atua como professor no Curso e Colégio pH. Tem 6 anos de profissão.

1 – Numa avaliação geral, você acha que essa proposta está adequada para ser usada numa turma da terceira série do Ensino Médio?

R: Sim, apenas acho que deveriam ser feitas algumas adaptações do conteúdo aos programas de cada escola para, por exemplo, adequar ao nível de profundidade da matéria.

2 – Você acha que a proposta alcançou os objetivos propostos?

R: Sim.

3 – O que achou das *ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR* no início de cada módulo?

R: Excelente. Toda orientação é bem vinda, ainda mais com assuntos um pouco diversos do básico que muitas vezes se aborda em sala de aula.

4 – Você acha que essas sugestões podem servir de base para que você possa planejar uma aula ou uma outra atividade pedagógica sobre o assunto raios X?

R: Sim.

5- Com relação à linguagem dos módulos, você acha que está adequada à série proposta, isto é, a terceira série do ensino médio?

R: Sim, até porque cabe ao professor adequar a linguagem à série que vai lecionar.

6 – O que você achou da estruturação da proposta em módulos?

R: Muito boa. Assim se consegue um planejamento melhor das aulas.

7 – Você acha que a ordenação dos módulos está adequada? Caso ache que não, teria alguma sugestão de estruturação para o assunto?

R: Sim.

8 – Você teria outras sugestões para serem acrescentadas aos módulos?

R: Não.

9 – O que achou das ilustrações?

R: Bem inseridas nos tópicos. Mas para usá-las em sala seria preciso melhorar algumas.

10 – Você acha que o módulo que trata da *FÍSICA DOS RAIOS-X* deveria vir acompanhado de exercícios?

R: Sim. Todo conteúdo deve vir acompanhado de exercícios.

11 – Você adotaria este tema e usaria este material em alguma de suas turmas?

R: Sim, desde que não entre em conflito com o foco do vestibular, se o colégio assim pré-determinar.

Professor I: Licenciada em Física (UFRJ). Atua como professora no CE Heitor Lira, Colégio Bretanha e Instituto Nossa Senhora das Dores.

1 – Numa avaliação geral, você acha que essa proposta está adequada para ser usada numa turma da terceira série do Ensino Médio?

R: Sim, observando se esse aluno cursou as séries anteriores dentro dos padrões normais – todos os conteúdos propostos desenvolvidos.

2 – Você acha que a proposta alcançou os objetivos propostos?

R: Sim, o aluno tem um panorama das implicações, tecnologias e uso do raio X.

3 – O que achou das *ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR* no início de cada módulo?

R: Define com clareza o quanto e o que será desenvolvido no módulo.

4 – Você acha que essas sugestões podem servir de base para que você possa planejar uma aula ou uma outra atividade pedagógica sobre o assunto raios X?

R: Aponta caminhos, o que permite uma inserção direcionada por parte do professor. Eu mesmo pensei em algumas intervenções.

5- Com relação à linguagem dos módulos, você acha que está adequada à série proposta, isto é, a terceira série do ensino médio?

R: Achei a linguagem clara. Um aluno com bagagem não terá dificuldades. Alunos da rede pública com trabalho deficitário em Física (pouco tempo de aula, falta de professor, professor “quebra-galho”, etc.) têm dificuldades gerais.

6 – O que você achou da estruturação da proposta em módulos?

R: Facilitadora. Podemos direcionar o trabalho, determinar o tempo ou optar por aprofundar apenas nosso objetivo de interesse.

7 – Você acha que a ordenação dos módulos está adequada? Caso ache que não, teria alguma sugestão de estruturação para o assunto?

R: Gostei da ordenação proposta. Ela vai envolvendo o conteúdo de forma agradável.

8 – Você teria outras sugestões para serem acrescentadas aos módulos?

R: Não aos módulos, mas, na apresentação da proposta o índice relacionando os módulos, ajudaria a ter uma visão geral do desenvolvimento.

9 – O que achou das ilustrações?

R: São indispensáveis. O aluno de hoje necessita do visual.

10 – Você acha que o módulo que trata da *FÍSICA DOS RAIOS-X* deveria vir acompanhado de exercícios?

R: Não.

11 – Você adotaria este tema e usaria este material em alguma de suas turmas?

R: Sim, já usei. O primeiro módulo foi apresentado a uma turma da terceira série do Instituto Nossa Senhora das Dores. Os alunos ficaram interessados e participaram da leitura.

Anexo III – A Proposta Metodológica

Apresentação

O Ensino Médio de Física tem se mostrado fragilizado frente ao grande desenvolvimento tecnológico e científico das últimas décadas. O atual currículo além de defasado em termos de conteúdos mais atuais e significativos para alunos e professores, não chega sequer a atender o mínimo previsto pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (BRASIL, 1996) e pelos Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN's - para o Ensino Médio de Física (BRASIL, 2000).

Um outro fator relevante é que à medida que o aluno do ensino médio finaliza seus estudos, com exceção dos que seguirão carreiras da área tecnológica no ensino superior, ele não terá mais contato formal com as Ciências em geral, e particularmente, com a Física, o que pode comprometer sua formação científica e conseqüentemente social, para o exercício consciente de sua cidadania.

A presente proposta metodológica baseia-se em trabalhos na área de Ensino de Física, em particular, no trabalho de Ostermann & Moreira (2000 a, b e c), que mostra que professores e pesquisadores da área de ensino Física acham importante a introdução de tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. Eles elaboraram uma lista com os assuntos de maior interesse e destaque, figurando o tópico raios X. Adotamos este tema para ser a base de nossa proposta.

Outro fator que contribuiu para a escolha do tema foi o texto das Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio de Física (BRASIL, 2002) onde na sugestão das unidades temáticas temos o tópico

Radiações e suas interações, cujo conteúdo prevê o entendimento e a compreensão da interação das radiações com o meio material e o estudo de fenômenos que envolvem, por exemplo, as radiografias.

Para desenvolver esta proposta adotamos o enfoque em CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade), no sentido de fazer uma abordagem em que se privilegie a importância histórica e social de uma teoria científica, sua contribuição no desenvolvimento de novas tecnologias e as implicações provenientes do seu uso indiscriminado.

A proposta, complementada com recursos tecnológicos como vídeo, softwares, sites, dvd, proporciona motivar e auxiliar o professor de Física do Ensino Médio a mediar, em conjunto com seus alunos, a aprendizagem de um conhecimento científico que esteja mais próximo do seu dia a dia e do que se faz atualmente em Ciências, permitindo que eles possam compreender a evolução de uma teoria científica, sua importância tecnológica e seu uso racional.

No decorrer da descrição dos módulos indicaremos como sugestão, os recursos tecnológicos e atividades que possam complementar os objetivos didáticos, assim como endereços eletrônicos que podem ilustrar e permitir a compreensão de determinados fenômenos, através da simulação no computador.

Ao iniciarmos nosso trabalho, fizemos uma pesquisa de opinião com professores de Física do Ensino Médio (EM) público e privado a fim de saber o que achavam sobre a introdução de tópicos de Física Moderna (FM) no currículo formal. Um dos questionamentos era qual seria o melhor momento para a utilização dessa proposta metodológica. A série escolhida pela maioria foi a terceira série desse segmento, principalmente pelo fato de que os alunos dessa série já possuem determinados conteúdos

mínimos de Física, Biologia, Química e Matemática, necessários para uma compreensão adequada do conteúdo da proposta.

No desenvolvimento do texto faremos referência aos conteúdos mínimos que já deveriam ter sido estudados pelos alunos e faremos uma indicação bibliográfica e de endereços eletrônicos, para melhor orientar o professor.

MÓDULO 1: OS RAIOS X E SUAS APLICAÇÕES

ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR

OBJETIVO GERAL DO MÓDULO

A - Identificar o que os alunos sabem a respeito dos raios X e de que maneira o assunto está inserido no seu dia a dia. Verificar se eles têm conhecimento das aplicações dos raios X, que não sejam apenas na medicina e na odontologia.

B – Apresentar as aplicações dos raios X.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fazer com que os alunos mostrem seus conhecimentos a respeito do assunto.
- Relacionar e compreender as várias aplicações dos raios X.
- Refletir sobre o uso racional dessas aplicações.
- Avaliar os riscos de uma exposição excessiva.

CONTEÚDO DO MÓDULO

1. Breve histórico dos raios X.
2. Aplicações dos raios X no dia a dia.
 - 2.1 Aplicações na medicina
 - 2.1.1 Radiologia diagnóstica
 - 2.1.2 Radioterapia
 - 2.1.3 Teleterapia.

- 2.2 Aplicações na indústria.
- 2.3 Aplicações na agricultura
 - 2.3.1 Melhoramento de plantas
 - 2.3.2 Tomografia de solos
 - 2.3.3 Irradiação de alimentos.
- 2.4 Aplicações na química.
- 2.5 Aplicações na genética.
- 2.6 Aplicações na odontologia.
- 3. Outras aplicações do dia a dia.
 - 3.1 Aplicações na segurança individual.
 - 3.2 Aplicação no controle de poluentes da atmosfera.
 - 3.3 Aplicações na Arqueologia.

METODOLOGIA

A intenção desse módulo é investigar os conhecimentos que os alunos trazem do seu dia a dia e suas opiniões sobre os usos e aplicações dos raios X. O módulo, por ser investigativo e posteriormente tratar de aplicações, pode ser iniciado com uma discussão de questões relativas ao tema. Posteriormente seria interessante usar recursos metodológicos de imagem como vídeos, dvd's e acesso a sites da internet, previamente selecionados sobre o assunto, a fim de ilustrar de forma mais significativa a discussão.

Após o estudo do módulo os alunos, em grupos, podem desenvolver atividades que se enquadrem no enfoque CTS. Exemplo: Proponha aos grupos que escolham uma das aplicações e analisem riscos e benefícios. Peça que elaborem uma maneira de informar de forma objetiva as pessoas sobre a análise que fizeram, explicando os objetivos e importância dessa informação.

QUESTÕES PARA DISCUSSÃO

- Sabemos que os raios X são empregados em um grande número de aplicações na medicina e na odontologia. Procure relacionar quais as aplicações que você conhece.
- De que forma essas aplicações nos auxiliam e nos ajudam a viver melhor?
- Você acha que só existem aplicações na medicina para os raios X? Se existem outras, tente relacioná-las.
- Será que essas aplicações ao mesmo tempo em que nos ajudam podem nos prejudicar? Como?
- E o meio ambiente, também pode sofrer conseqüências? De que maneira?

1. BREVE HISTÓRICO DOS RAIOS X

Nas primeiras duas décadas do século XX, a utilização dos raios X se concentrou em aplicações na Medicina, principalmente no diagnóstico de imagens de fraturas nos ossos. Em meados de 1920, as pesquisas avançaram para o diagnóstico na inspeção de rachaduras em materiais. Atualmente os raios X são usados na indústria (aviação, controle de qualidade de materiais e peças) em ensaios não-destrutivos⁵, na Medicina em Radiologia Diagnóstica e Terapia, e em pesquisas científicas.

2. Aplicações dos raios X no dia a dia

Apesar de não termos conhecimento, os raios X têm diversas aplicações no nosso dia a dia, que não são somente na Medicina ou na Odontologia. Nesse sentido é importante conhecermos essas técnicas que utilizam os raios X em outras áreas científicas e verificar de que forma elas podem contribuir para que possamos melhorar a qualidade de vida da sociedade em que vivemos.

2.1 APLICAÇÕES NA MEDICINA

As aplicações são feitas num campo genericamente designado de Radiologia, que é dividida em: Radioterapia, Radiologia Diagnóstica e Medicina Nuclear. Apesar de não ser objeto de estudo desse trabalho, é importante diferenciarmos as aplicações em Medicina Nuclear das aplicações em Radiologia Diagnóstica e da Radioterapia.

⁵ Teste para examinar o interior de materiais e conjuntos lacrados sem desmontá-los ou destruí-los.

A Radioterapia utiliza a radiação no tratamento de tumores, na maior parte malignos, e se baseia na transferência de energia da radiação incidente ao meio onde está o tumor. A evolução dessa técnica está diretamente relacionada com a evolução tecnológica dos equipamentos associados a ela, isto é, de tubos de raios X a equipamentos de teleterapia usando radioisótopos⁶ como cobalto, célio, rádio e finalmente aceleradores de partículas⁷.

A Radiologia Diagnóstica consiste basicamente na utilização de um feixe de raios X para a produção de imagens em várias tonalidades de cinza numa chapa fotográfica ou numa tela fluoroscópica⁸.

A Medicina Nuclear aplica materiais radioativos e técnicas de Física Nuclear na diagnose, no tratamento e no estudo de doenças. A principal diferença entre o uso de raios X e o de radioisótopos na diagnose está no tipo de informação obtida. No caso dos raios X, a informação está mais relacionada com a anatomia do que com a fisiologia. No caso dos radioisótopos a informação está mais relacionada com o metabolismo e a fisiologia do que com a própria anatomia.

Outra diferença fundamental é o tipo de fonte radioativa usada. Em radioterapia usam-se fontes radioativas seladas (lacradas) que não entram em contato direto com o paciente ou com as pessoas que as manuseiam. Na Medicina Nuclear, os materiais radiativos não selados são ingeridos ou injetados nas pessoas, a fim de tratar as regiões doentes.

⁶ São elementos químicos que têm o núcleo atômico instável e que emitem energia (radiações alfa, beta e gama) quando mudam desta forma para uma forma mais estável. Essas radiações emitidas são utilizadas para bombardear os tumores nos tratamentos.

⁷ São aparelhos que produzem feixes de átomos, elétrons, moléculas e outras partículas como pósitrons, com velocidades altas, geralmente 1/1000 da velocidade da luz. Através da colisão dessas partículas com outras partículas(chamadas alvo) ou com sólidos, estuda-se suas características e do alvo, além de permitir o estudo da composição química dos sólidos envolvidos.

⁸ Tela semelhante a usada nos monitores de computador e televisão. Essa técnica onde a tela substitui a película fotográfica é chamada de fluoroscopia.

Na radioterapia a dose absorvida por tratamento varia de 700 a 7.000 rad⁹ (7 a 70 Gy), na radiologia diagnóstica de 10⁻² a 1 rad (10⁻⁴ a 10⁻² Gy) por chapa e, na medicina nuclear, ela é da ordem de dezenas de mrad (10⁻⁴ Gy) por exame.

Existem doses máximas permissíveis para o corpo todo, para as gônadas e alguns órgãos críticos como tireóide, pele, útero, etc. Em geral, as doses em diagnose são pequenas, entretanto, deve-se evitar o uso indiscriminado das radiações, pois seu efeito é cumulativo. Crianças e mulheres grávidas têm que ter uma atenção especial porque células em desenvolvimento são mais sensíveis às radiações.

2.1.1 RADIOLOGIA DIAGNÓSTICA

Foi basicamente a primeira aplicação dos raios X. Utiliza um feixe de raios X para a produção de imagens em várias tonalidades de cinza numa chapa fotográfica (radiografia) ou numa tela fluoroscópica. Nessa técnica utiliza-se pouca dose de radiação de tal forma que a imagem obtida na chapa é devido às diferentes absorções pelos tecidos do corpo (ossos, tecidos moles e gordura). Isso se deve à diferença na densidade e no número atômico médio (Tabela 1).

Material	Densidade (g/cm ³)	Z médio
Gordura	0,91	5,92
Tecido mole, músculo,		

⁹ Rad e Gray (Gy) são unidades de dose de radiação absorvida pelos tecidos. A diferença entre elas é que o rad está no sistema CGS de unidades e o Gray no MKS ou SI. 1Gy=100 rad.

Uma outra unidade muito usada é o Sievert (Sv). 1 Sv = 1Gy.

água	1,00	7,42
Osso	1,85	13,85
BaSO ₄	1,20	23,00

Tabela 1: Relação entre a densidade do material e seu número atômico médio.

Na fluoroscopia, pelo fato da imagem ser analisada enquanto é gerada, o tempo de exposição é muito maior que o anterior. Assim, esse processo é em geral ineficiente, uma vez que a maior parte dos fótons de raios X perde energia sob a forma de calor e uma pequena parte na produção de fluorescência. Logo não é uma técnica muito aconselhável.

A técnica mais recente é chamada de tomografia computadorizada. Essa técnica é uma evolução da tomografia convencional proposta desde 1930. Nela os raios X são concentrados em um feixe estreito e passam por uma pequena parte do corpo. A intensidade do feixe que chega a um detector (substitui a chapa) é convertida em um sinal binário ou digital. Variando a direção do feixe e o detector em de ângulos de 1°, faz-se uma varredura linear da região analisada até completar 180°. Esses sinais digitais são analisados e processados matematicamente pelo computador ligado ao aparelho e convertidos numa imagem tri-dimensional do local analisado (Figura 1). Essa técnica foi desenvolvida em 1972 por Godfrey Hounsfield e Allan Cormack, que, em 1979, ganharam o Prêmio Nobel de Fisiologia e Medicina.

Atualmente nesse tipo de tomografia emprega-se até 320 detectores enfileirados ao longo de um arco para se medir simultaneamente toda a radiação transmitida através do corpo, empregando-se um feixe em leque de raios X. Com isso elimina-se a varredura linear, efetuando-se somente movimentos rotacionais do tubo de raios X e do conjunto de

detectores, diminuindo-se assim o tempo de exposição de paciente de 4 minutos no primeiro caso para até 5 segundos neste último.

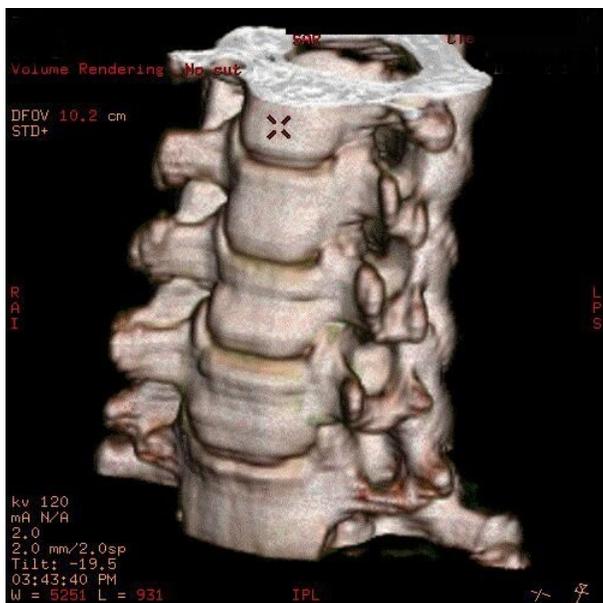


Figura 1: Tomografia em 3D da carótida

(extraído de <http://www.gehealthcare.com/lapt/>)

2.1.2 RADIOTERAPIA.

Utiliza a radiação ionizante no tratamento de tumores. A doença mais tratada é o câncer. Essa técnica se baseia na transferência de energia ao meio onde está o tumor e empregam-se altas doses de radiação para que sejam absorvidas por ele.

Nessa técnica são usados ainda isótopos radioativos do cobalto, célio, rádio, estrôncio que emitem partículas alfa, beta e gama. Mais recentemente são utilizados também aceleradores lineares de partículas, que emitem feixes de elétrons. A evolução da técnica radioterápica acompanhou a evolução tecnológica dos aparelhos envolvidos no processo.

O maior desafio dessa técnica, no entanto, é destruir apenas as células cancerígenas sem afetar as células normais que estão por perto. O processo bioquímico da destruição celular, ainda hoje, é objeto de muitos estudos.

A radioterapia ainda pode-se dividir em teleterapia e braquiterapia. A braquiterapia por usar radioisótopos como o ^{137}Cs que são implantados no tecido próximo ao tumor não é objeto de nossa análise.

2.1.3 TELETERAPIA.

A técnica consiste em colocar a fonte radioativa próxima da região que será tratada e irradiá-la com a dose necessária para o tratamento. Os equipamentos de raios X usados são os de quilovoltagem¹⁰ e megavoltagem.

O aparelho de quilovoltagem (valores proporcionais a 1.000 V) utiliza um tubo convencional de raios X onde a voltagem (d.d.p.) aplicada é no máximo de 250 kV. Para a voltagem de 200 kV, a dose máxima ocorre na pele, decrescendo até atingir 50% a 5 cm de profundidade, 25% a 10 cm e sendo praticamente desprezível a 25 cm. Assim, esses equipamentos são usados principalmente no tratamento de câncer da pele. O paciente é submetido a doses diárias de 300 rad (3 Gy) até atingir um total de 6.000 rad (60 Gy). Os raios X nessa faixa de energia devido a seus efeitos térmicos podem ser usados na terapia de artrite¹¹, artrose¹², bursite¹³, cicatrizes viciosas ou até calos, e diminuir a rejeição no caso de transplantes.

¹⁰ O volt (V) é a unidade no SI de diferença de potencial. Quilovolt = 10^3 V e Megavolt = 10^6 V.

¹¹ Inflamação na articulação.

¹² Afecção não inflamatória, degenerativa, de uma articulação.

¹³ Processo inflamatório de bolsa, em regra sonovial.

O aparelho de megavoltagem (valores proporcionais a 1.000.000 V) é chamado de acelerador de partículas. Nessa classe situam-se os aceleradores lineares e bétatrons. Num caso específico em que os elétrons atingem uma energia de 22 MeV, a dose máxima devida a raios X ocorrerá entre 4 e 5 cm de profundidade, decresce para 83% a 10 cm e para 50% a 25 cm. São mais utilizados na terapia de tumores nos órgãos mais profundos como pulmão, bexiga, próstata, útero, laringe, esôfago, etc. As principais vantagens desses equipamentos são as ocorrências de dose máxima abaixo da pele, seu grande poder de penetração e baixa absorção pelos ossos. Nesse caso o que se utiliza são raios X produzidos por elétrons acelerados por tubos de megavoltagem. O paciente recebe entre 5.000 e 6.000 rad (50 e 60 Gy) no tumor, distribuídas em frações diárias de 200 rad (2 Gy).

2.2 APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA.

Os raios X têm uma vasta aplicação na indústria, principalmente a metalúrgica. São usados normalmente para caracterizar e aprimorar processos físico-químicos. Um exemplo é a produção de novas chapas de aço (liga metálica composto de Fe e um percentual da ordem de até 2% de C) nas quais é preciso que a quantidade de carbono seja bem definida. Analisando as chapas pela técnica de difração dos raios X¹⁴ podemos descobrir qual a melhor taxa percentual de carbono a ser utilizada, que dependerá também do tipo de aplicação pretendida para o aço e da presença de resíduos provenientes da fabricação.

¹⁴ Fenômeno de espalhamento, semelhante ao que ocorre com a luz, sendo que neste caso é usada uma rede cristalina, na qual os elétrons da rede interagem com os fótons de raios X, causando seu espalhamento. A análise dos espalhamentos permite estudar as características das redes cristalinas e conseqüentemente os elementos químicos associados. Atualmente, esse estudo permite a produção de elementos químicos sinteticamente, o que já vem sendo feito pela indústria farmacêutica.

A análise de chapas de aço por difração de raios X serve também para descobrir na composição final das mesmas a existência de defeitos. Um defeito comum é o surgimento de microfraturas que podem comprometer a utilização das chapas, principalmente se forem submetidas a grandes tensões, como no caso das asas dos aviões e palhetas das turbinas a jato.

Na indústria automobilística, a difração de raios X por ser não-destrutiva permite observar no interior dos motores dos carros a presença de fragmentos de aço, de outras ligas ou metais. Esses elementos estranhos podem causar danos ao funcionamento dos motores e, após sua montagem, um espectro de absorção dos raios X do motor é obtido no sentido de verificar a existência ou não de fragmentos de metais dentro dele.

2.3 APLICAÇÕES NA AGRICULTURA

2.3.1 MELHORAMENTO DE PLANTAS

É possível por meio do uso dos raios X, assim como outros tipos de radiação, modificar o DNA das plantas e dessa maneira, aumentar a variabilidade genética. Com uma variedade maior de plantas pode-se selecionar as melhores, de acordo com características como: altura, ciclo, resistência a pragas, doenças, estresses ambientais, etc.

As plantas modificadas são chamadas mutantes e os agentes que provocam as mudanças são chamados de mutagênicos (radiações e produtos químicos). Assim, através de indução de mutação são produzidos espécimes com menor altura (que acarretam menores perdas

pela ação dos ventos), resistência a doenças e tolerância ao alumínio (fator de importância em certos tipos de solos).

2.3.2 TOMOGRAFIA DE SOLOS

Outra aplicação de tecnologia nuclear na agricultura tem relação direta com a técnica de tomografia de solos, onde é usada radiação X ou gama. O tomógrafo usado é semelhante ao usado em medicina, porém de custo mais baixo (Figura 2). A radiação passa pela amostra (objeto) e é atenuada em função do número atômico (Z) e da densidade do material (d). O aparelho, através de um software específico, distingue as diferentes densidades para formar a imagem do que se está analisando. As regiões mais densas são representadas pelas áreas mais escuras na imagem tomográfica. O estudo posterior da imagem vai auxiliar na determinação de propriedades físicas do solo.

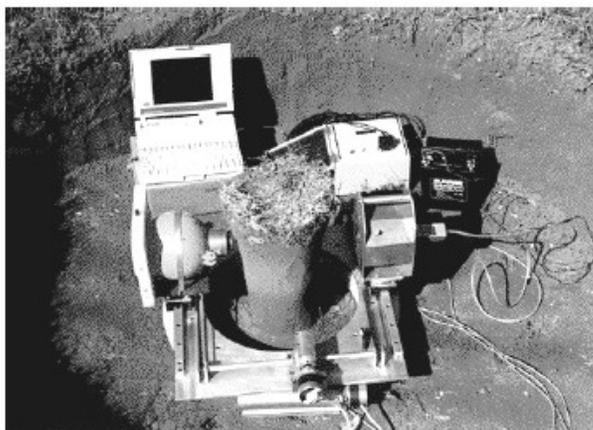


Figura 2: Tomógrafo instalado em torno de um monolito de solo

(extraído de <http://www.cnpdia.embrapa.br/>).

Muitas vezes utiliza-se o tomógrafo para verificar deficiências em árvores. Pode-se observar a distribuição das raízes no solo, a compactação e a distribuição de umidade, e enxergar detalhes internos de uma árvore sem ter que destruí-la. Portanto, se uma árvore estiver infestada por besouros ou cupins, os buracos cavados em seu tronco aparecerão na imagem.

2.3.3 IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

É um processo físico de tratamento comparável à pasteurização térmica¹⁵, congelamento ou enlatamento. Envolve a exposição do alimento, embalado ou não, a um dos três tipos de energia ionizante: raios gama, raios X ou feixe de elétrons (Figura 3).

O processamento de alimentos envolve hoje uma tecnologia avançada para assegurar a conservação e as boas condições sanitárias dos alimentos consumidos pela população em geral.

A técnica inicial e ainda hoje usada é a irradiação usando fontes radioativas, como ⁶⁰Co e ¹³⁷Cs, ou irradiação por feixes de elétrons produzidos por aceleradores até 10⁶ elétrons-volt¹⁶ (1 Mev). Atualmente a tecnologia mais recente nesse setor é a irradiação por raios X.

¹⁵ Tratamento usado para eliminar agentes patológicos e, ou, reduzir a população de microorganismos presentes em alimentos como suco de frutas e leite. É associado ao emprego de outros métodos como refrigeração, adicionamento de açúcar e, ou, aditivos e embalagens herméticas.

¹⁶ O elétron-volt (eV) é uma unidade de energia muito usada com fótons. Sua relação com a unidade do SI que é o joule (J) é $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$.

O processo é basicamente a interação da radiação com a matéria. Ao penetrar no alimento, a radiação elimina bactérias patogênicas¹⁷, destruindo fungos, parasitas e insetos, porque são formados compostos químicos tóxicos a esses elementos nocivos.

Devido a isso, o alimento após ser irradiado passa por um controle de qualidade de toxidade para verificar se pode ser consumido sem problemas para o nosso organismo.

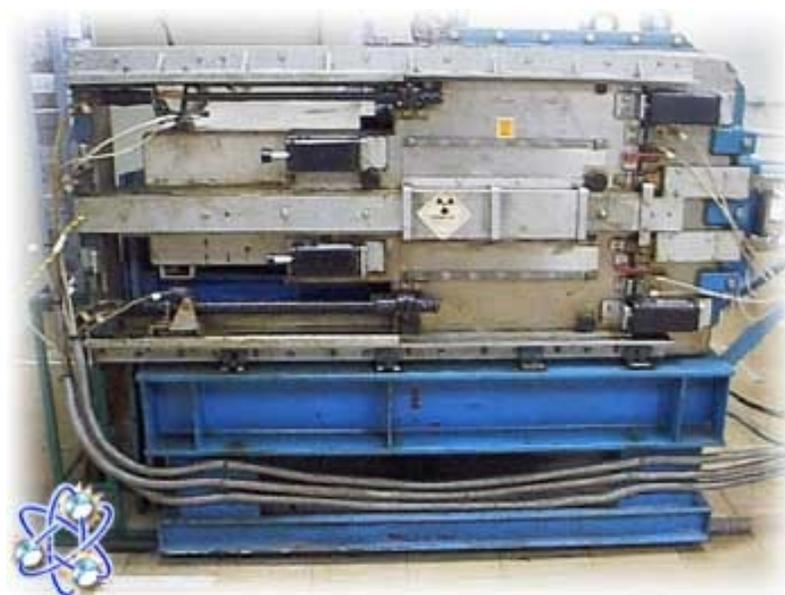


Figura 3: Aparelho irradiador de alimentos

(extraído de <http://www.uff.br/irradiacao/oquee.htm>)

Entre as principais aplicações da irradiação de alimentos estão o retardamento da maturação de algumas frutas e legumes e a eliminação de insetos que infestam os grãos armazenados. Vem sendo usada também para a descontaminação de ervas e especiarias em substituição

¹⁷ São bactérias que no seu metabolismo produzem substâncias tóxicas ao hospedeiro. São responsáveis por doenças como o botulismo, a pneumonia, a tuberculose, a sífilis e a gonorréia.

ao processo de fumigação com gás esterilizante, onde era usado o óxido de etileno, que é uma substância comprovadamente carcinogênica, isto é, que pode causar o câncer.

Uma outra linha de pesquisa na irradiação de alimentos refere-se a carne de frango grelhada. A carne depois de assada é colocada em embalagem especial (bem vedada e não permite entrada de luz nem troca gasosa) e então irradiada. Esse processo permite que o produto fique por até cinco anos em prateleira, sem necessidade de geladeira. Já a carne de frango resfriada, ao ser submetida a doses baixas de irradiação, pode ser conservada por até 21 dias na geladeira sem ser congelada.

É importante ressaltar que o desenvolvimento de novas tecnologias na área de produção e armazenamento de alimentos é fundamental para que possamos reduzir a níveis aceitáveis ou mínimos o desperdício que existe nesse setor. Isso permite reduzir os custos com a produção e tornar o alimento mais barato para a população em geral, principalmente às populações mais carentes, reduzindo um dos maiores problemas mundiais: a fome.

2.4 APLICAÇÕES NA QUÍMICA.

O uso dos raios X, principalmente na cristalografia, tem contribuído para o desenvolvimento de pesquisas relativas ao conhecimento de compostos químicos com base nas suas características estruturais. Nesse processo destaca-se a difração dos raios X por monocristais, onde estão sendo determinadas as estruturas moleculares de produtos orgânicos naturais e sintéticos, de compostos orgânicos e de coordenação.

Uma das pesquisas de ponta nessa área é o estudo das proteínas. Devido a sua importância vital no estudo dos processos metabólicos do corpo, é importante saber em detalhes como elas atuam, mas para isso precisa-se conhecer sua estrutura interna. A cristalografia com luz síncrotron¹⁸ é a técnica que está permitindo decifrar com maior rapidez e precisão os segredos das proteínas, abrindo caminho para a produção de medicamentos mais específicos e mais potentes, e até para a criação de novas proteínas.

A demanda por cristalografia é reforçada pela nova indústria farmacêutica, que busca informações mais precisas sobre a interação entre fármacos e proteínas. Tais dados levarão a drogas mais específicas e diminuirão o tempo de pesquisa para o desenvolvimento de outras.

Um outro processo utilizado é o da análise de materiais através da fluorescência de raios X, que consiste na análise da emissão dos chamados raios X característicos. O estudo desse espectro caracteriza cada material.

A contribuição dessas técnicas usando os raios X permite a pesquisa e o desenvolvimento de materiais convencionais e avançados para utilização no cotidiano, na área nuclear e nas áreas de ponta, com estruturas mais resistentes, maleáveis e de melhor qualidade.

2.5 APLICAÇÕES NA GENÉTICA.

São várias as aplicações dos raios X na biologia, entretanto, uma das maiores contribuições foi o estudo da molécula do DNA. Através da difração dos raios X foi possível intensificar

¹⁸ Luz síncrotron é a intensa radiação eletromagnética produzida por elétrons de alta energia num acelerador de partículas. A principal vantagem é que essa radiação produzida é policromática (luz branca de espectro contínuo). O fato de ser policromática permite ao pesquisador selecionar os raios X com comprimento de onda mais adequados para a determinação da estrutura da proteína em estudo.

os estudos estruturais dessa molécula, verificando sua característica tridimensional, e, conseqüentemente, suas características físico-químicas.

O conhecimento das características do DNA e os avanços na área da computação eletrônica têm permitido o desenvolvimento de ferramentas de manipulação dessa molécula, o que tem contribuído para avanços científicos em outras áreas como a medicina e a agricultura.

2.6 APLICAÇÕES NA ODONTOLOGIA.

A radiologia diagnóstica vem contribuindo de forma significativa na clínica odontológica. Por meio dos raios X podemos obter um diagnóstico mais preciso e confiável do problema apresentado pelo paciente. A análise da radiografia, em muitos casos, como no tratamento de canal e implantes, é fundamental para um bom resultado terapêutico e muitas vezes estético (Figura 4).

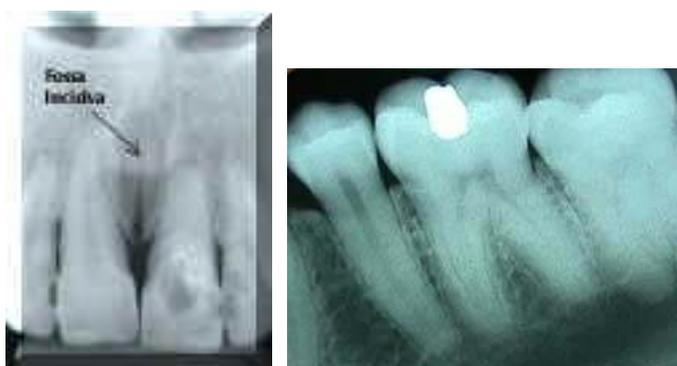


Figura 4: Radiografias odontológicas

(extraído de <http://www.papaizassociados.com.br/>)

Aliada à informática, a radiologia diagnóstica está se desenvolvendo e modernizando. Um exemplo é o aparelho de raios X que em vez de utilizar filme radiográfico, usa uma placa de circuitos sensíveis aos raios X, que gera uma radiografia digital e a envia diretamente para um computador. O processo é muito mais rápido do que a utilização de filmes, pois elimina o uso de película periapical (aquele pedaço de plástico que o dentista coloca em nossa boca quando vai fazer a radiografia) e a revelação química. Conseqüentemente, o tempo de exposição do paciente e do dentista à radiação diminui em até 90%. Além disso, obtêm-se uma imagem instantânea na tela do computador, onde a qualidade é muito superior a da obtida pelo processo tradicional de revelação, além de poder ser armazenada para futuras análises.

3. OUTRAS APLICAÇÕES DO DIA A DIA.

3.1 Aplicações na segurança individual

Nos aeroportos de todo o mundo existem sistemas de segurança que utilizam os raios X, para detectar a presença de armas, drogas e materiais em bagagens que possam comprometer a segurança dos vôos (Figura 5).



Figura 5: Equipamento de raios X usado em aeroportos

(extraído de <http://www.centrodorio.com.br/acontrol/default.htm>)



Figura 6: Radiografia do interior de uma mala. As armas são facilmente detectadas.

(extraído de <http://www.centrodorio.com.br/acontrol/default.htm>)

Existem estações fixas de inspeção em veículos em portos para a detecção de drogas, armas e contrabando em caminhões, vagões de trem, containeres marítimos, etc. O equipamento, assim como nos aeroportos, detecta mercadorias ilegais na carga transportada e/ou em

fundos/paredes falsas na estrutura do veículo, bem como no compartimento do motor (Figuras 6 e 7).



Figura 7: Equipamento móvel usado para verificação da carga de um caminhão.

(extraído de <http://www.centrotorio.com.br/acontrol/default.htm>)

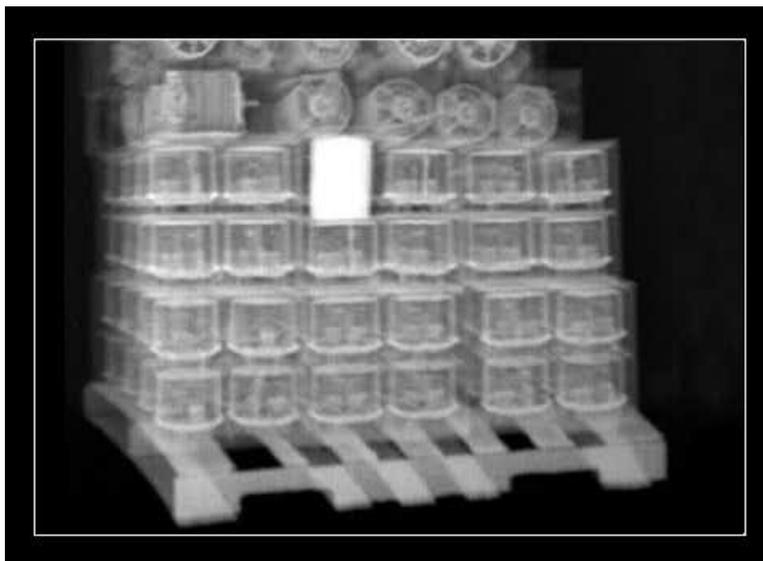


Figura 8: Raio X de um conjunto de cargas. A carga suspeita aparece com mais nitidez.

(extraído de <http://www.centrotorio.com.br/acontrol/default.htm>).

Em alguns países é feita a fiscalização de caminhões que tentam atravessar a fronteira através dos raios X. É feita uma radiografia completa do caminhão para ver se no meio da carga existem pessoas escondidas. (Figuras 8 e 9)

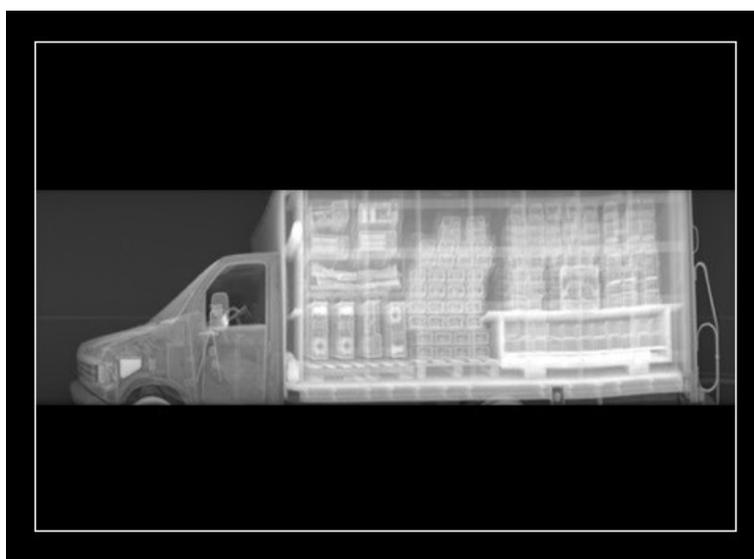


Figura 9: Radiografia completa de um caminhão.

(extraído de <http://www.centrotorio.com.br/acontrol/default.htm>)

3.2 Aplicação no controle de poluentes da atmosfera.

A análise da quantidade de poluentes na atmosfera vem sendo feita através de um método (PIXE – Particle Induced X ray Emission), com o qual a amostra de ar coletada é irradiada inicialmente com prótons ou partículas alfa. Essas partículas altamente energéticas arrancam os elétrons das camadas mais internas dos elementos que constituem a amostra. Quando os elétrons das camadas mais externas passam a ocupar os lugares vazios deixados pelos elétrons arrancados, os raios X característicos são emitidos com energia específica para cada elemento. A detecção e análise desses raios X fornecerão as informações necessárias sobre a qualidade do ar da amostra coletada.

3.3 Aplicações na Arqueologia.

Na arqueologia, os raios X têm grande aplicação, principalmente no estudo de múmias. Uma das técnicas é o uso de tomografia computadorizada. Os exames fornecem, por exemplo, informações importantes sobre a saúde do antigo Egito. Graças às imagens, sabe-se que artrite e osteoporose eram males comuns entre os egípcios (Figura 10).



Figura 10: Múmia sendo tomografada em um hospital

(extraído de <http://noticias.terra.com.br/ciencia/interna/0,,OI449883-EI1728,00.html>)

Outra técnica muito utilizada nos estudos arqueológicos é a fluorescência de raios X. A técnica consiste num método de emissão espectroscópica para determinação qualitativa e quantitativa de elementos presentes na amostra analisada. Pode-se avaliar, por exemplo, a composição de pigmentos encontrados em fragmentos de cartonagem de um sarcófago e do tecido de uma múmia. Identificados os pigmentos, comparam com os pigmentos utilizados no período histórico considerado. Isso vai garantir a procedência e a autenticidade da peça.

No estudo das obras de arte usa-se a técnica de difração dos raios X. O objetivo é caracterizar e identificar os tipos de materiais constituintes da pintura. A maioria dos pigmentos inorgânicos possui espectros de difração característicos, o que possibilita uma análise comparativa de espectros de materiais desconhecidos com materiais de referência, permitindo conhecer a presença ou não de determinado material na amostra analisada. Com isso identificam-se as substâncias usadas na época da pintura ou da escultura (Figura 11).



Figura 11: Análise preliminar de uma obra de arte.

(extraído de http://www.ipcr.pt/site/ipcr_estruturadivisao_00.asp?divisao_id=4)

MÓDULO 2: A DESCOBERTA DOS RAIOS X

ORIENTAÇÃO PARA O PROFESSOR

OBJETIVO GERAL DO MÓDULO

Mostrar aos alunos que o desenvolvimento de uma teoria científica acontece num determinado contexto histórico e social e que outros trabalhos e experiências anteriores a ela permitiram sua pesquisa e o seu desenvolvimento.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- analisar o contexto histórico e social onde a teoria científica foi desenvolvida.
- verificar que outros cientista que não Röntgen poderiam ter chegado aos raios X.
- entender qual foi a importância dessa teoria para a sociedade da época.
- mostrar o uso indiscriminado inicial e suas conseqüências.
- compreender a importância dos cuidados com uma novidade científica.

CONTEÚDO DO MÓDULO

1. Pesquisa e desenvolvimento
2. A experiência de Röntgen
3. Considerações importantes
4. Aplicações imediatas e uso indiscriminado

METODOLOGIA

Não há necessidade de conhecimentos prévios por parte dos alunos devido a finalidade investigativa e histórica do módulo. Talvez seja importante o professor caracterizar bem a época do desenvolvimento da teoria científica fazendo um contraponto com a época atual.

Seria interessante o professor usar uma cópia de algum panfleto ou livro da época para os alunos verificarem como se deu no início a abordagem científica do tema.

Como sugestão, o livro *Something about X rays for everybody*, reeditado pela Medical Physics Publishing Corporation em 1988, é o primeiro livro editado em 1896 direcionado para o público em geral. Tem muitas ilustrações e descreve com bastante detalhe a experiência de Röntgen. Pode ser consultado na biblioteca da Faculdade de Educação da USP (<http://paje.fe.usp.br/estrutura/>).

Outro livro que tem uma abordagem nessa linha é *Descobertas Acidentais em Ciência* de Royston M. Roberts, da editora Papyrus, que também faz uma boa descrição da experiência.

Uma consulta aos artigos de Roberto Martins sobre os raios-X é fundamental para a contextualização histórica da descoberta. Os comunicados de Röntgen foram traduzidos do alemão e analisados em detalhes pelo autor. Está disponível em <http://www.ifi.unicamp.br/~ghc/ram-pub.htm>.

Todas essas fontes devem ser analisadas em conjunto com os alunos. É importante que o professor já tenha elaborado um planejamento prévio do assunto em função do material escolhido para análise.

Uma outra possibilidade seria a exibição de um vídeo sobre o tema, entretanto, há uma escassez muito grande de material sobre o assunto. Alguns sites podem ser consultados pelo professor no sentido de buscar algum material disponível:

Museu de Astronomia e Ciências Afins: <http://www.mast.br/>

Prossiga – Informação e Comunicação para Ciência e Tecnologia: <http://prossiga.ibict.br/>

Ibict – Instituto Brasileiro de Ciência e Tecnologia: <http://www.ibict.br/>

Acessar os sites das universidades também pode ser uma boa estratégia de busca.

Uma atividade prática interessante seria elaborar uma apresentação da evolução cronológica das aplicações dos raios-X até os dias atuais. Pode ser feito em cartazes ou no programa PowerPoint, caso tenha um computador disponível. O objetivo principal seria entender o desenvolvimento da técnica aliado ao desenvolvimento da Física e de outras ciências como a Química e a Biologia.

QUESTÕES PARA DISCUSSÃO

- O contexto histórico e social tem influência sobre uma teoria científica?
- Quais as conseqüências sociais e tecnológicas do uso indiscriminado de uma nova teoria científica?
- A comunidade científica é a única culpada por possíveis problemas que uma novidade científica possa causar à sociedade?
- O cidadão comum também é responsável pelos possíveis problemas gerados pelos raios X?
- Você acha que os cientistas são pessoas diferentes das outras pessoas?

1. PESQUISA E DESENVOLVIMENTO.

Atualmente vivemos numa sociedade onde o desenvolvimento científico e tecnológico é muito grande. Nos acostumamos num simples toque de botão a executar tarefas das mais simples até as mais complexas. Essas facilidades tecnológicas estão tão presentes no nosso dia a dia que nem percebemos ou imaginamos quantas pesquisas e anos de estudo, às vezes séculos, foram necessários para que hoje possamos, num intervalo de tempo de um piscar de olhos, nos conectar com o mundo todo, sacar dinheiro em caixas automáticos, dirigir carros com piloto automático, etc.

Uma das áreas que mais se desenvolveu com o avanço da Ciência e da Tecnologia foi a Medicina. Tomografias computadorizadas, cintilografias e ultra-sonografias são termos que fazem parte do nosso cotidiano como se já existissem desde sempre. Será? Na realidade décadas de pesquisa e trabalho foram necessárias para que hoje isso seja tão comum para nós.

Um dos exames que se tornaram mais rotineiros foram os de raios X. Quem nunca (espero que não!!!) precisou “tirar” uma radiografia ou “bater” uma “chapa”? É um exame tranquilo, rápido, sem dor e fácil de ser entendido. Até porque basta olhar contra a luz o negativo da radiografia que vemos nossos ossos e tecidos. Os médicos podem ver se temos algum osso quebrado ou fissurado, ou se o pulmão está com problemas, ou se é preciso tratar o canal do dente.

No entanto, essa ferramenta que muito auxilia os médicos e muitas outras áreas nem sempre esteve disponível para nos ajudar. Foram décadas de pesquisa sobre outros tipos de

raios (luz, ultra-violeta, raios catódicos, etc.) que auxiliaram Röntgen¹⁹ no desenvolvimento de sua experiência. Perguntas: Será que os cientistas da época já esperavam ou estavam tentando desenvolver um método científico para se chegar aos raios X? O desenvolvimento de sua teoria foi acidental? O que diferenciou a experiência de Röntgen das outras experiências com raios catódicos? Quais foram as implicações científicas, tecnológicas e sociais do desenvolvimento dessa teoria?

2. A EXPERIÊNCIA DE RÖNTGEN

Vamos então voltar um pouco no tempo e tentar responder essas e outras perguntas. Final do século XIX, dezembro de 1895, Wilhelm Conrad Röntgen após semanas de pesquisa experimental em seu laboratório desenvolve uma teoria científica sobre os raios X (também chamados de raios de Röntgen). O nome raio foi dado pelo fato de se propagarem em linha reta como a luz e X pelo fato de sua natureza não ser conhecida, isto é, não possuírem características semelhantes à luz e a outras radiações²⁰ já existentes e conhecidas como os raios catódicos²¹ e raios ultravioletas²². Röntgen, inicialmente, estava interessado em estudar os raios catódicos incentivado pelos trabalhos de Hertz²³ e Lenard²⁴. As experiências destes dois cientistas mostravam que os raios podiam atingir distâncias no ar

¹⁹ Wilhelm Conrad Röntgen desenvolveu em dezembro de 1895 uma teoria sobre um novo tipo de raio, chamado por ele de X, após semanas de pesquisa em seu laboratório.

²⁰ Consideraremos radiações, ondas eletromagnéticas, cuja definição será feita mais adiante.

²¹ Fluxo de elétrons devido a descargas em tubos de vidro contendo ar rarefeito.

²² Tipo de radiação pertencente ao espectro eletromagnético que compõe em conjunto com a radiação infravermelha e a luz visível a chamada região óptica do espectro.

²³ Heinrich Hertz em 1892 foi o primeiro a descobrir que os raios catódicos podiam atravessar folhas finas de metal ao analisá-los em tubos de descarga elétrica.

²⁴ Aluno de Hertz aperfeiçoou seus experimentos com raios catódicos permitindo estudá-los no ar e em outros gases.

de poucos centímetros e que corpos luminescentes colocados nas proximidades do tubo se tornavam luminosos. Isso interessava muito Röntgen que retomou seu experimento dois anos depois em 1894, quando conseguiu o material necessário (tubos, folhas de alumínio, etc.). Entretanto, devido a seus afazeres como reitor da Universidade, só conseguiu continuar as experiências no final de 1895.



Figura 1: Wilhelm Conrad Röntgen

(extraído de http://www.fisica.net/quantica/curso/os_raios_x.php).

Röntgen usou um tubo de vidro com ar rarefeito chamado tubo de Crookes (Figura 2), semelhante aos usados por Hertz e Lenard, só que dessa vez coberto por uma proteção (blindagem) de papelão preto. O local era uma sala escura e na mesa onde se encontrava o tubo tinha um pedaço de papel com um material bastante fluorescente (platino-cianeto de bário). Quando o tubo foi ligado, percebeu que o material, que estava próximo ao tubo, havia ficado fluorescente. Afastando a folha com o material um pouco mais, verificou que a fluorescência continuava. Até distâncias de aproximadamente 2 m permanecia a mesma. Nesse momento verificou que a fluorescência era devido a algum novo tipo de raio invisível que além de atravessar o tubo blindado, percorria distâncias muito grandes comparadas com as experiências anteriores com outros tipos de raios.

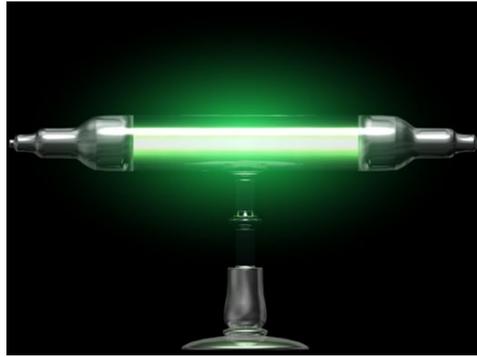


Figura 2: Tubo de Crookes

(extraído de http://www.fisica.net/quantica/curso/os_raios_x.php).

Nos dias que se seguiram (Figura 3) Röntgen verificou experimentalmente, por comparações com as propriedades das radiações já conhecidas (luz, raios ultravioleta, raios catódicos, etc.), as propriedades dos novos raios. Observou que eles se propagavam em linha reta, produzindo sombras regulares assim como a luz. Eram capazes de penetrar grandes espessuras, principalmente de materiais menos densos, o que os tornava muito mais penetrantes do que os raios catódicos. Entretanto, ao contrário desses, não podiam ser desviados por ímãs. Os metais os absorviam mais fortemente, especialmente o chumbo. Produziam fluorescência em diversas substâncias. Sensibilizavam chapas fotográficas de maneira análoga as outras radiações conhecidas. Não podiam ser refletidos, nem refratados, diferenciando-os da luz e da radiação ultravioleta, mas os aproximava dos raios catódicos.

Além disso, Röntgen não conseguiu detectar fenômenos típicos da luz, como interferência²⁵ e polarização²⁶.



Figura 3: Fotografia atual do laboratório usado por Röntgen

(extraído de http://www.fisica.net/quantica/curso/os_raios_x.php).

3. CONSIDERAÇÕES IMPORTANTES

Vamos analisar agora alguns aspectos da descoberta dos raios X por Röntgen. Primeiramente podemos atentar para o fator cronológico, isto é, entre as experiências de Hertz e Lenard (1892) e o anúncio da descoberta dos raios X (1895) passaram-se três anos. Antes deles, muitos outros cientistas haviam feito experiências²⁷ com as radiações e no decorrer da pesquisa apareceram situações novas (chapas fotográficas colocadas distante ficavam veladas ou mostravam a imagem de objetos que estavam entre elas e o

²⁵ Fenômeno no qual duas ou mais ondas atingem simultaneamente um dado ponto de um meio no qual se propagam e esse ponto sofre um efeito resultante da influência dos efeitos que cada onda produziria individualmente nesse ponto.

²⁶ Fenômeno exclusivo das ondas transversais, onde vários planos de vibração de uma onda transversal são orientadas a vibrar num único plano.

²⁷ Geissler, Julius Plücker, Eugen Goldstein, Johann Wilhelm Hittorf, Gustav Wiedmann, Jaumann, William Crookes, Goodspeed, Jennings, Poincaré e Jean Perrin, foram alguns dos cientistas e matemáticos que contribuíram com pesquisas e teorias, entre 1855 e 1895, que respaldaram o trabalho de Röntgen.

experimento) que não foram verificadas com mais detalhes e que poderiam ter antecipado a descoberta dos raios X. Apoiado no resultado dessas experiências, Röntgen pôde aperfeiçoar e testar novas montagens experimentais que somaram mais recursos a sua pesquisa e contribuíram para que pudesse estabelecer e testar as propriedades dos novos raios.



Figura 4: Radiografia tirada por Röntgen da mão de sua esposa (1895).

(extraído de <http://www.ajronline.org/>).

Outro fator é o tempo entre as experiências anteriores e as conclusões finais de Röntgen. As experiências com raios catódicos só foram possíveis em meados de 1855 quando Geissler desenvolveu bombas de vácuo que produziam pequenas pressões em tubos de vidro. A partir daí várias experiências foram realizadas até a descoberta dos raios X. Isso nos mostra que uma descoberta científica não é feita da noite para dia. É necessário muito tempo de pesquisa até que se possa chegar a resultados confiáveis e aceitos pela comunidade científica. Além disso, não parece um mero acidente a descoberta de Röntgen.

É claro que nem ele nem os outros cientistas estavam pesquisando para encontrar os raios X, mas já existiam teorias que previam um tipo de radiação ainda não encontrada. Não parece também pelo tipo de montagem experimental que Röntgen estava simplesmente repetindo a experiência de Lenard com raios catódicos, portanto e provavelmente, devia estar pesquisando novas propriedades dos raios catódicos, o que lhe permitiu descobrir os raios X. É importante ressaltar que o grande número de experiências que antecederam a descoberta de Röntgen nos mostra a dependência que uma descoberta científica tem com o contexto histórico em que ela ocorre. Portanto, uma descoberta científica depende também das necessidades sociais da sociedade em que vivemos.

4. APLICAÇÕES IMEDIATAS E USO INDISCRIMINADO

Após o anúncio de Röntgen sobre a nova descoberta várias pesquisas sobre o assunto começaram em diversas partes do mundo. O impacto social causado pela divulgação da descoberta fez com que somente no ano de 1896 aparecessem cerca de 50 livros e panfletos e mais de 1000 artigos foram publicados, incluindo-se nesse total os artigos médicos (Figuras 5 e 6).

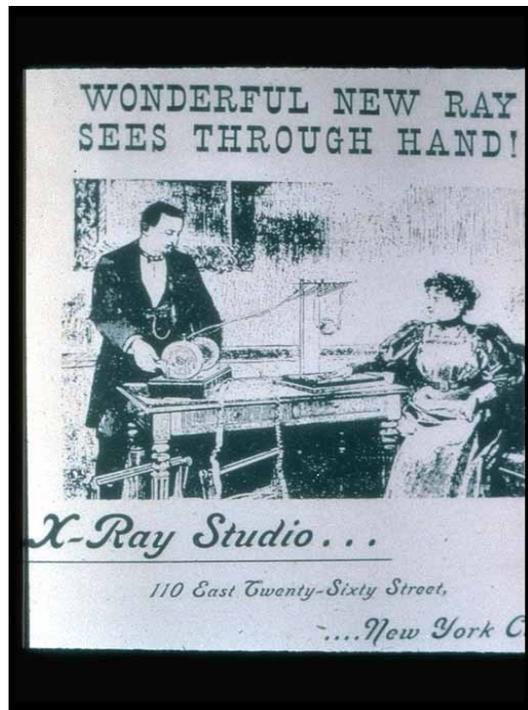


Figura 5: Panfleto anunciando a maravilha da descoberta

(extraído de <http://www.ajronline.org/>).

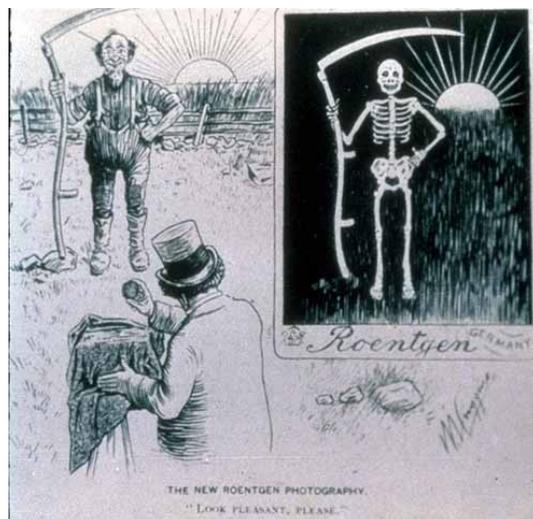


Figura 6: Charge da época da descoberta dos raios X

(extraído de <http://www.ajronline.org/>).

A Medicina foi a primeira das Ciências a se beneficiar diretamente com o uso dos raios X. Radiografias de mãos (Figura 4), pés, objetos e animais pequenos passaram a ser uma diversão em todo o mundo. Mas, rapidamente, experiências sérias foram desenvolvidas. Em Paris, 1896, uma radiografia (esse nome não era usado inicialmente) permitiu distinguir um problema de destruição óssea (osteomielite) na mão de um indivíduo. Assim, em algumas semanas, vários outros procedimentos como extração cirúrgica de projéteis, fragmentos de vidro e agulhas foram possíveis graças aos raios X. Somente no primeiro semestre de 1896 mais de 100 trabalhos sobre aplicações médicas dos raios X foram publicados (Figuras 7, 8 e 9).



Figura 7: Os raios X logo foram usados em aplicações militares (1900).

(extraídas de <http://www.ajronline.org/>).

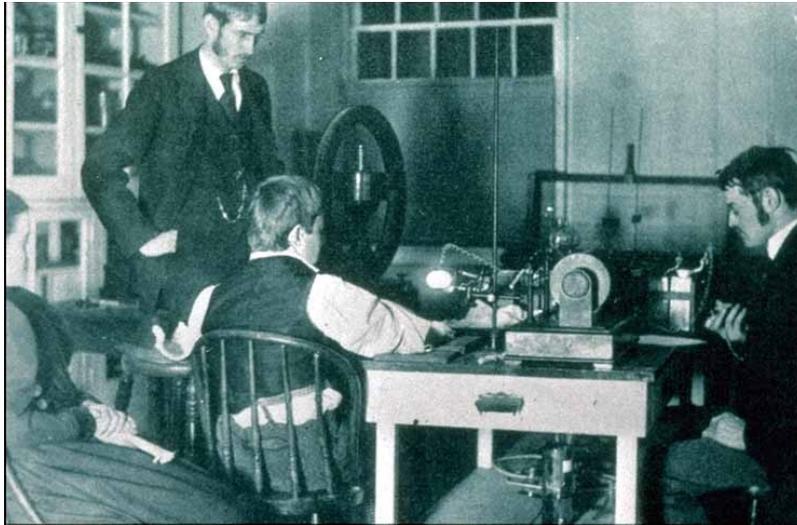


Figura 8: Primeiros diagnósticos feitos com o aparato dos raios X (1896).

(extraída de <http://www.ajronline.org/>).

A enorme perspectiva de desenvolvimento científico provocado pela nova descoberta e seu uso prático quase que imediato fizeram com que seu uso fosse indiscriminado e não havia preocupação com possíveis danos para a saúde devido à exposição a esse novo tipo de radiação.



Figura 9: Tratamento de lesões com os novos raios

(extraído de <http://www.ajronline.org/>).

Dois fatores foram primordiais para que os danos provocados pelos raios X logo se manifestassem: o tempo de exposição para fazer uma radiografia era muito demorado (em torno de 30 minutos) e os pesquisadores ficavam horas ao lado dos tubos de descarga. Poucos meses depois, os efeitos danosos começaram a aparecer: queimaduras e queda de cabelo em pessoas expostas às altas doses de radiação. Apesar disso, mesmo após um ano de utilização, não eram tomados cuidados para uma proteção adequada, pois não avançavam pesquisas nesse sentido (Figuras 10, 11 e 12). Cerca de 300 pessoas morreram por excesso de radiação nesses primeiros anos.



Figura 10: O uso indiscriminado dos raios X numa demonstração pública
(extraído de <http://www.ajronline.org/>).



Figura 11: Necrose e amputação causada pelo uso indiscriminado dos raios X.
(extraído de <http://www.ajronline.org/>).



Figura 12: Lesões na pele de um soldado americano devido à exposição excessiva aos raios X (1900).

(extraído de <http://www.ajronline.org/>).

MÓDULO 3: A FÍSICA DOS RAIOS

X

ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR

OBJETIVO GERAL DO MÓDULO

Analisar e compreender as principais características físicas dos raios X e sua produção, através do estudo das ondas eletromagnéticas, do espectro eletromagnético, do modelo atômico de Bohr e da dualidade onda-partícula.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- estudar as características de uma onda como: período, frequência e comprimento de onda.

- entender a constituição da onda eletromagnética através dos conceitos de campo elétrico e campo magnético.

- analisar o espectro eletromagnético diferenciando radiações não-ionizantes das radiações ionizantes e caracterizar os raios X no espectro.

- compreender os processos de produção dos raios X, analisando o modelo atômico e os postulados de Bohr e o fenômeno da dualidade onda-partícula.

CONTEÚDO DO MÓDULO

1. As ondas no dia a dia

2. O que são ondas?

3. O espectro eletromagnético.
4. Produção dos raios X
 - 4.1 Dualidade onda-partícula.
 - 4.2 Os postulados e o modelo atômico de Bohr.
 - 4.3 Como os raios X são produzidos?

METODOLOGIA

Afim de não prejudicar a estruturação didática da proposta seria importante o professor avaliar junto aos alunos alguns pré-requisitos necessários para o bom andamento do trabalho, principalmente no que se refere à produção dos raios X:

A - conhecer os modelos atômicos, particularmente o modelo de Bohr.

B - entender os fenômenos ondulatórios: reflexão, refração, difração, interferência e polarização.

C - distinguir campo elétrico e campo magnético.

D - relacionar as unidades de energia, principalmente o elétron-volt (eV) e o joule (J).

E – compreender a dualidade onda-partícula.

Para os modelos atômicos sugerimos as seguintes bibliografias:

- *Física para ciências biológicas e biomédicas*. Okuno, Caldas e Chow. O capítulo 4 trata exclusivamente dos modelos atômicos com ênfase no modelo de Bohr.

- *Física Quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas*. Eisberg e Resnick. No capítulo 4 encontra-se a descrição dos postulados de Bohr e do modelo atômico.

- Evolução histórica do conhecimento, utilização e aplicação dos raios X: a relação entre ciência, tecnologia e sociedade. Maria de Fátima da Silva. Dissertação de mestrado da USP. O trabalho tem um bom apêndice sobre modelos atômicos.

Para os fenômenos ondulatórios, campo elétrico, campo magnético e relações de unidades:

- *Física Clássica: Óptica e Ondas*. Calçada e Sampaio. Apesar de ser um livro para o ensino médio, o assunto está muito bem estruturado com exemplos e aplicações.

- *Física Clássica: Eletricidade*. Calçada e Sampaio. Descreve basicamente o campo elétrico (capítulo 10) e posteriormente o campo magnético (capítulo 17).

- *Fundamentos da Física: Óptica e Física Moderna*. Halliday, Resnick e Walker. Faz uma abordagem mais aprofundada de todos os assuntos, e possui no início do livro conversões de unidade.

Existem alguns sites com animações que podem ser úteis nesse momento, principalmente no que se refere aos modelos atômicos.

1. Esse site permite que o aluno altere número de elétrons, prótons e nêutrons, verificando qual é o elemento químico referente à estrutura disposta.
http://www.classzone.com/books/earth_science/terc/content/investigations/es0501/es0501page01.cfm?chapter_no=investigation

2. Através da alteração de características da onda como a amplitude e a frequência, o aluno pode perceber que mudanças ocorrem na onda.
<http://www.colorado.edu/physics/2000/quantumzone/schroedinger.html>

3. O site estruturou uma linha temporal das descobertas e dos cientistas que contribuíram para a construção da teoria atômica. É possível acessar o trabalho de todos os cientistas e acessar seus comunicados, papers, etc.

<http://www.watertown.k12.wi.us/HS/Staff/Buescher/atomtime.asp>

4. Através da simulação de um aparato consegue-se visualizar a produção dos raios X

http://nanofast.ucdavis.edu/RarePart1/xray_sim.html

Com relação a recursos de vídeo, é importante pesquisar na base de dados das universidades e centros de pesquisa, pois como foi citado anteriormente, há uma escassez muito grande de material sobre o assunto.

O fato dos alunos poderem acessar os sites indicados e porventura, novos sites pesquisados pelo próprio professor, interagindo com os modelos de simulação, já se constitui a nosso ver, uma atividade importante.

Uma outra atividade seria dividir a turma em grupos e cada um deles ficaria responsável pela pesquisa de um modelo atômico. Todos apresentariam os modelos numa ordem cronológica, indicando características e dificuldades. Dessa forma o processo evolutivo da teoria atômica ficaria bem esclarecido e na conclusão dos trabalhos, o modelo de Bohr seria discutido com mais detalhes a fim de se perceber sua importância no contexto da produção dos raios X.

QUESTÕES PARA DISCUSSÃO

- Os raios X estão presentes naturalmente no nosso dia a dia?

- Você tem idéia do que eles são?
- Como será que são produzidos?
- Por que não conseguimos vê-los?
- Qual a diferença entre os raios X e a luz visível?
- Os aparelhos de televisão emitem raios X?

1. As ondas no dia a dia.

No nosso dia a dia estamos constantemente convivendo com as ondas. Quando enxergamos os objetos e as pessoas, nossos olhos são sensibilizados por ondas luminosas. Quando ouvimos os ruídos, vozes, música, nossos ouvidos são sensibilizados por ondas sonoras. Da mesma forma, os raios X, são considerados como um determinado tipo de onda que tem nos auxiliado bastante em diversas áreas do conhecimento científico.

2. O QUE SÃO ONDAS?

Ondas são energias que se propagam em um meio ou no vácuo. As ondas de uma forma geral são classificadas em *mecânicas* e *eletromagnéticas*.

Antes de falarmos da classificação é importante lembrar que existem grandezas físicas básicas associadas às ondas: *amplitude (A)*, *período (T)*, *freqüência (f)*, *comprimento de onda (λ)* e *velocidade (v)* (Figura 1).

Amplitude de uma onda é a intensidade máxima atingida por uma crista ou por um pico cavado ou vale. Sua unidade de medida no SI é o metro (m).

Período é o tempo mínimo necessário para a onda realizar uma oscilação, isto é, voltar a se repetir. A unidade de tempo no SI é o segundo (s).

Freqüência é o número de repetições (oscilações) efetuadas pela onda na unidade de tempo.

$$f = \text{número de repetições} / \Delta t.$$

A unidade de freqüência no SI é o inverso de segundo ou hertz (Hz). Assim a relação entre o período de uma onda e sua freqüência é dada por:

$$f = 1 / T.$$

Comprimento de onda é a distância entre duas cristas ou duas depressões de uma onda. A unidade de medida no SI é o metro (m).

A *velocidade* de uma onda pode ser calculada em função de sua definição da Mecânica ou em função das outras grandezas:

$$v = \Delta S / \Delta t = \lambda \times f$$

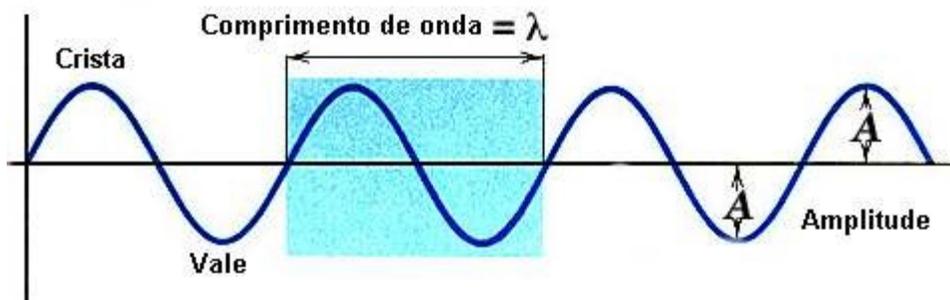


Figura 1: Características de uma onda periódica

(extraída de

http://geocities.yahoo.com.br/saladefisica6/ondas/fenomenos_ondulatorios.htm).

As ondas mecânicas necessitam de um meio material para se propagar. A energia mecânica se propaga através das partículas desse meio. O principal exemplo são as ondas sonoras que se propagam em meios materiais e não se propagam no vácuo.

As ondas eletromagnéticas (Figura 2) são constituídas por dois campos variáveis que se propagam simultaneamente pelo espaço: um campo elétrico (**E**) e um campo magnético (**B**). Esses campos oscilam entre si, isto é, aumentam e diminuem periodicamente sua

intensidade, ora num sentido, ora no sentido oposto. O comportamento de **B** é semelhante ao de **E**: ambos oscilam com o mesmo *período*, em fase, mas em direções *perpendiculares*.

Pelo fato dos dois campos oscilarem como mesmo período e em fase, ambos se anulam ao mesmo tempo e atingem suas intensidades máximas (amplitude A) ao mesmo tempo.

A direção de propagação de uma onda eletromagnética é simultaneamente perpendicular às direções de oscilações de E e B.

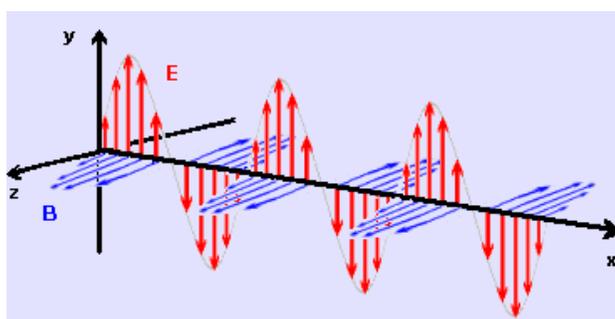


Figura 2: Representação de uma onda eletromagnética.

(extraído de http://www.fisica.net/quantica/curso/os_raios_x.php).

3. O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

O conjunto total das frequências das ondas eletromagnéticas constitui o espectro eletromagnético (Tabela 1 e Figura 3) ou espectro de frequências. As frequências nesse espectro variam de dezenas de hertz até ordens de grandeza de 10^{10} Hz. Estão englobadas no espectro eletromagnético as ondas rádio, radar, infravermelho, microondas, ultravioleta, raios X, raios gama e outras mais.

ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO			
Faixa	Abreviatura	Freqüências	Comprimentos
Audiofrequência	AF	20 a 20.000 Hz	15.000.000 a 15.000m
Radiofrequência	RF	10 kHz a 300.000 MHz	30.000m a 0,1cm
Calor e Infravermelho*		10^6 a $3,9 \times 10^8$ MHz	0,03 a $7,6 \times 10^{-5}$ cm
Espectro Visível*		$3,9 \times 10^8$ a $7,9 \times 10^8$ MHz	$7,6 \times 10^{-5}$ a $3,8 \times 10^{-5}$ cm
Ultravioleta*		$7,9 \times 10^8$ a $2,3 \times 10^{10}$ MHz	$3,8 \times 10^{-5}$ a $1,3 \times 10^{-6}$ cm
Raios X*		$2,0 \times 10^9$ a $3,0 \times 10^{13}$ MHz	$1,5 \times 10^{-5}$ a $1,0 \times 10^{-9}$ cm
Raios Gama*		$2,3 \times 10^{12}$ a $3,0 \times 10^{14}$ MHz	$1,3 \times 10^{-8}$ a $1,0 \times 10^{-10}$ cm
Raios Cósmicos*		$> 4,8 \times 10^{14}$ MHz	$< 6,25 \times 10^{-11}$ cm

Dados: kHz = quilohertz = 10^3 Hz, MHz = megahertz = 10^6 Hz.

Tabela 1: Espectro eletromagnético.

(Extraído de <http://www.mar.mil.br/dhn/>).

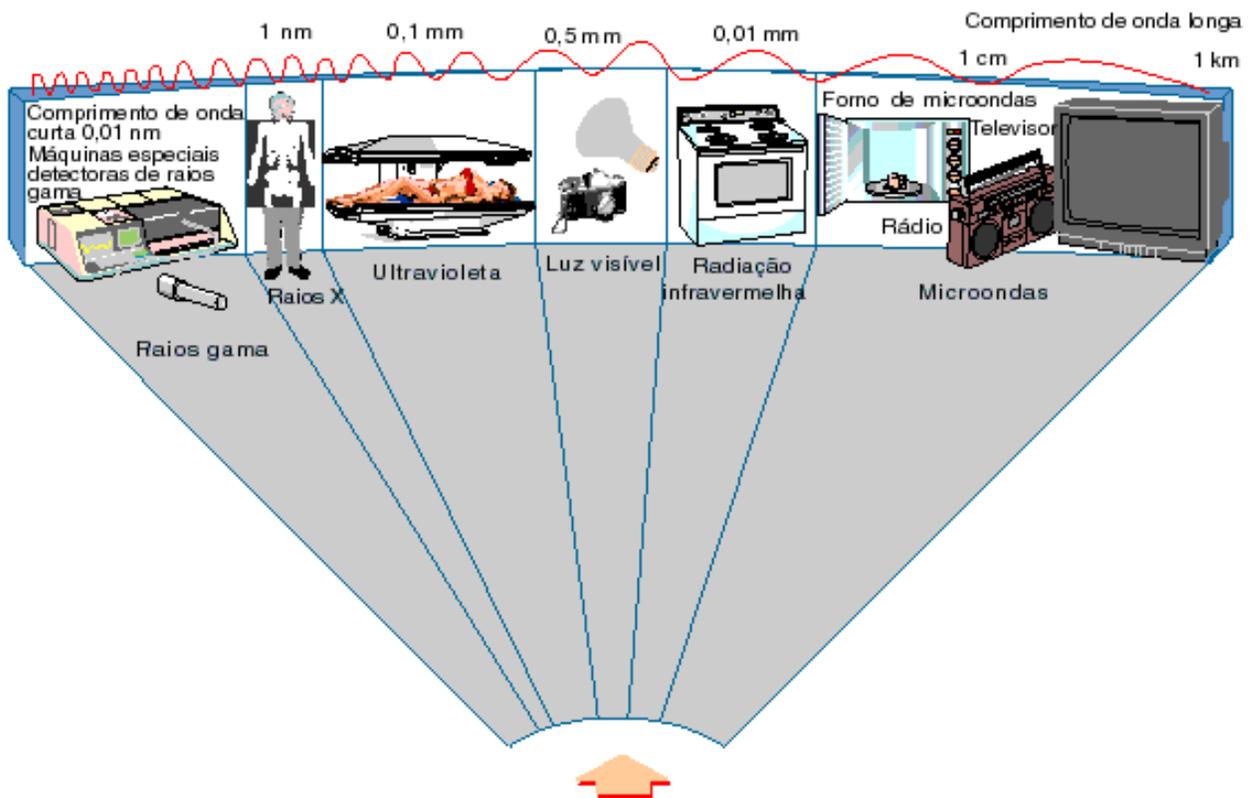


Figura 3: Espectro eletromagnético

(extraído de http://www.escolavesper.com.br/luz_e_cor.htm).

Assim, os raios X são radiações que pertencem ao chamado espectro eletromagnético e que possuem uma faixa de frequência, comprimento de onda e energia que os caracterizam dentro desse espectro. Suas propriedades físicas também estão associadas a essas grandezas, o que irá diferenciá-los dos outros tipos de ondas do espectro eletromagnético.

Entretanto, de que forma os raios X são produzidos? Será que no nosso dia a dia estamos em contato naturalmente com esse tipo de radiação?

4. PRODUÇÃO DOS RAIOS X

Para entendermos melhor de que forma os raios X são produzidos precisamos compreender que toda radiação eletromagnética pode ser entendida, simultaneamente, com uma onda e como uma partícula dependendo do fenômeno estudado. Outro dado importante é o conhecimento da evolução dos modelos atômicos que permitirá compreender como se dá a interação da radiação com a matéria e que fenômenos podem resultar dessa interação.

4.1 DUALIDADE ONDA – PARTÍCULA

Toda radiação eletromagnética pode ser descrita como tendo ao mesmo tempo um caráter ondulatório e um caráter de partícula. Dessa forma, podemos então fazer uma distinção entre radiação corpuscular e radiação eletromagnética.

A radiação corpuscular é constituída de um feixe de partículas elementares ou componentes dos núcleos atômicos: elétrons, prótons, partículas alfa, etc. Sua energia cinética (E ou K) depende da massa da partícula e de sua velocidade (v), onde v é muito menor que a velocidade da luz (c).

$$K = 1 / 2 mv^2 \quad (1)$$

A radiação eletromagnética é constituída de um campo elétrico e um campo magnético oscilante e que se propagam com velocidade da luz (c). São as ondas de rádio, microondas, raios X, etc. São caracterizadas geralmente pelo seu comprimento de onda e pela sua frequência.

$$v = \lambda \times f \quad (2)$$

Para o caso particular de uma onda eletromagnética podemos escrever a relação com sendo:

$$v = c = \lambda \times f = 3 \times 10^8 \text{ m/s} \quad (3)$$

Max Planck (1901)²⁸ e Albert Einstein (1905)²⁹ iniciaram a formulação da teoria dos quanta. De acordo com essa teoria, Planck mostrou que a radiação eletromagnética emitida se propaga descontinuamente em pequenos pulsos de energia chamados pacotes de energia, quanta ou fótons.

Einstein verificou que a prevalência do caráter ondulatório ou corpuscular depende do fenômeno a ser observado ou do equipamento usado para a detecção. Alguns experimentos só podem ser explicados se considerarmos a radiação eletromagnética como onda, outros só como fótons.

Fótons são partículas sem carga e massa de repouso. Esses fótons são associados a uma frequência particular f de luz e possuem uma energia E , diretamente proporcional a f .

$$E = h \times f, \text{ onde } h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 4,14 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s} \quad (4)$$

Na expressão, h é uma constante universal, chamada de constante de Planck. A energia E também pode ser calculada em função de λ . Basta reunirmos (3) e (4):

$$E = h \times c / \lambda$$

A luz apresenta fenômenos de interferência, difração e polarização, que são característicos de ondas, mas também o efeito fotoelétrico que é típico de partículas, em que um fóton

²⁸ Mostrou experimental e matematicamente que a energia da radiação era quantizada, isto é, tinha valores discretos e não, como previa a mecânica clássica, possuía valores contínuos. Os estudos de Planck constituem o marco inicial da Mecânica Quântica.

²⁹ Baseado nos trabalhos de Planck aprofundou o estudo das propriedades corpusculares de uma onda através do Efeito Fotoelétrico e introduziu o conceito de fóton. Einstein ganhou o prêmio Nobel de física de 1918 com esse estudo.

libera um elétron de um metal. Assim dizemos que a onda tem um caráter dual, e ambas as teorias se complementam.

A energia de fóton das ondas eletromagnéticas com frequência menor do que 300 GHz é extremamente pequena, sendo difícil detectá-las como fóton. Assim prevalece nesse caso, o caráter de onda.

A luz visível e a radiação ultravioleta podem ser descritas tanto como ondas ou como fótons. Os raios X e gama são melhores descritos como fótons, pois seus comprimentos são muito pequenos (Tabela 2).

Radiação Eletromagnética	Frequências (f)	Comprimento de onda (λ)	Energia do fóton (eV)
Raios X e gama	> 3 PHz	< 100 nm	> 12
Ultravioleta:			
UVC	3 PHz – 1,07 PHz	100 nm – 280 nm	12,42 – 4,42
UVB	1,07 PHz – 0,952 PHz	280 nm – 315 nm	4,42 – 3,94
UVA	0,952 PHz – 0,75 PHz	315 nm – 400 nm	3,94 – 3,10
Luz visível	0,75 PHz – 0,428 PHz	400 nm – 700 nm	3,10 – 1,77
Infravermelha			

IVA	385 THz – 214 THz	780 nm – 1,4 μm	1,59 – 0,88
IVB	214 THz – 100 THz	1,4 μm – 3,0 μm	0,88 – 0,414
IVC	100 THz – 300 GHz	3,0 μm – 1,0 mm	0,414 – 1,24 × 10 ⁻³
Radiofrequência	300 GHz – 10 kHz	1 mm – 30 km	Muito pequena
Microonda	300 GHz – 300 MHz	1 mm – 1 m	
Frequência extremamente baixa	300 Hz – 0 Hz	10 ⁶ → ∞	Extremamente pequena

K (quilo) = 10³; M (mega) = 10⁶; G (giga) = 10⁹; T (tera) = 10¹²; P (peta) = 10¹⁵.

Tabela 2: Separação do espectro eletromagnético em faixas de frequência

Aproximadamente 20 anos após a descoberta por Einstein das propriedades corpusculares da onda, através do efeito fotoelétrico, Louis de Broglie apresentou a teoria de que a matéria possuísse tanto características ondulatórias como corpusculares. Assim, matematicamente podemos escrever:

$$mv = h/\lambda$$

onde λ é chamado de comprimento de onda de de Broglie.

O caráter corpuscular da matéria é representado pelo produto mv , pois m e v são respectivamente massa e velocidade do corpúsculo; enquanto que h/λ representa o caráter ondulatório, pois λ é o comprimento de onda associado ao corpúsculo.

4.2 POSTULADOS E MODELO ATÔMICO DE BOHR

Na parte de **metodologia**, na apresentação desse módulo, foram indicadas como sugestão as bibliografias pertinentes a esta parte. É fundamental a compreensão dos postulados e do modelo atômico de Bohr para que se entenda como os raios X são produzidos.

4.3 COMO OS RAIOS-X SÃO PRODUZIDOS?

Com os postulados de Bohr e o estudo de seu modelo atômico podemos compreender os dois processos de produção dos raios X.

Ambos os processos ocorrem num equipamento chamado tubo de raios X (Figura 4), onde o tubo de Crookes visto no capítulo inicial representa uma de suas versões.

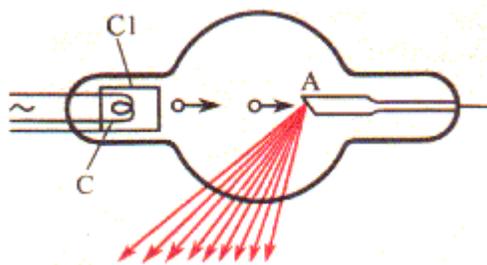


Figura 4: Tubo de raios X

(extraído de http://www.fisica.net/quantica/curso/os_raios_x.php).

Basicamente, nesse tubo, existe um elemento chamado anodo (alvo) que é constituído de um metal. Do lado oposto fica um outro elemento chamado catodo, que quando aquecido emite elétrons. Esses elétrons são submetidos a uma diferença de potencial através de eletrodos colimadores, constituindo então, um feixe eletrônico que irá atingir o alvo. Os elétrons desse feixe são acelerados até atingirem energias cinéticas da ordem de 10^4 eV.

No primeiro processo de produção dos raios X, após colidirem com o anodo e atravessarem seus átomos, os elétrons do feixe podem eventualmente passar próximos aos elétrons de subcamadas internas. Graças à interação coulombiana entre um elétron energético do feixe e o elétron atômico, aquele pode ceder energia suficiente a este para retirá-lo de seu nível de energia muito negativo e ejetá-lo do átomo. Isto deixa o átomo num estado altamente excitado, porque um de seus elétrons de energia muito negativa está faltando. O átomo volta a seu estado de energia fundamental emitindo um conjunto de fótons de alta energia, e, portanto, de alta frequência, que constituem o *espectro de raios X* (Figura 5). Esse espectro de raios X produzido nesse tipo de interação é chamado de *espectro discreto ou espectro de linhas* e é característica dos átomos do anodo.

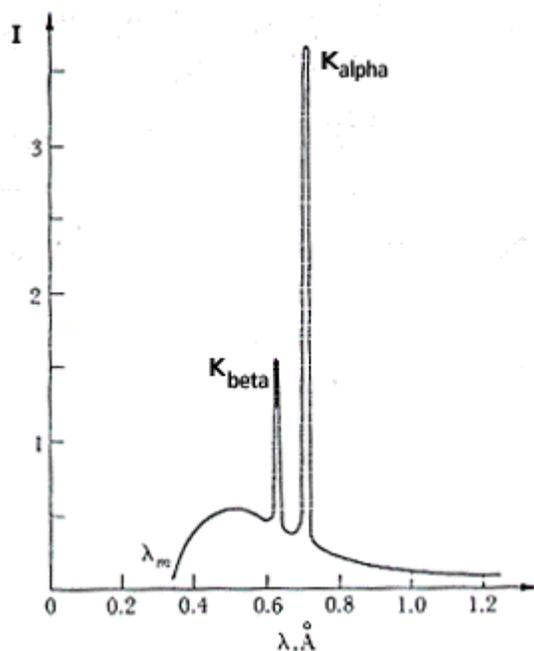


Figura 5: Espectro característico para um alvo (anodo) de molibdênio ($Z = 42$)

(extraído de http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod05/m_s01.html).

Um aspecto inesperado dos espectros discretos de raios X é que as frequências e comprimentos de onda das linhas variam lentamente de acordo com o material utilizado na confecção do anodo. Não há variações bruscas semelhantes as que são observadas nos espectros atômicos na faixa de frequências óticas. A razão é que as características dos espectros de raios X dependem das energias de ligação dos elétrons das camadas internas. Essas energias de ligação aumentam uniformemente com valores crescentes de número atômico (Z), devido à carga nuclear, e não são afetadas pelas variações periódicas de número de elétrons das camadas externas do átomo que afetam os espectros óticos.

A regularidade dos espectros de raios X foi pela primeira vez observada por Moseley. Seus estudos baseados no modelo de Bohr foram um passo importante para o desenvolvimento da Física Quântica, estabelecendo uma fórmula empírica para a determinação do número atômico dos elementos químicos e sua correlação com a carga nuclear do átomo e sua posição na tabela periódica.

Apesar de não ser nosso objeto de estudo, pode haver uma interação de um elétron do feixe com um elétron atômico de uma camada mais externa, produzindo estados excitados de baixa energia e dando origem a um *espectro óptico*.

O segundo processo é o espalhamento coulombiano desses elétrons quando se aproximam bastante dos núcleos dos átomos do anodo. Em uma única colisão desse tipo, um elétron incidente sofre grandes acelerações e pode ter um ângulo de desvio. Embora ele não transfira energia para o núcleo, pois este tem uma massa muito grande comparada com a do elétron para ter um recuo apreciável, algumas vezes perde energia por radiação eletromagnética. Essa emissão de radiação eletromagnética é prevista pela Física Clássica

devido à desaceleração dos elétrons freados pelo núcleo do alvo e resulta num *espectro contínuo de raios X* (Figura 6).

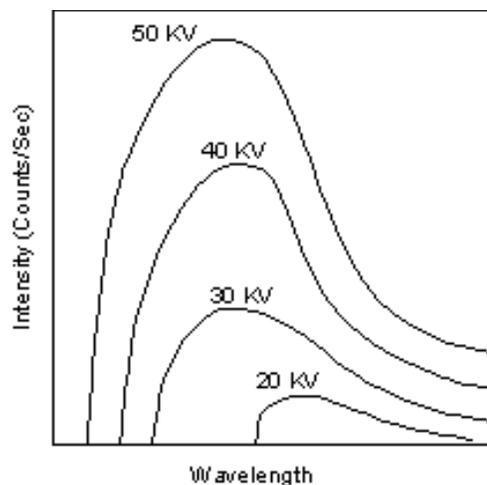


Figura 6: Espectro contínuo dos raios X em função do potencial acelerador

(extraído de <http://www.tulane.edu/~sanelson/eens211/x-ray.htm>).

A característica mais notável dessas curvas é que para uma dada energia dos elétrons, há um mínimo bem definido λ_{\min} para os comprimentos de onda. Por exemplo, para elétrons de 40 keV de energia, o λ_{\min} é de $0,311 \text{ \AA}^{30}$. Embora a forma do espectro contínuo de raios X dependa do potencial V e um pouco do material do alvo, o valor de λ_{\min} depende apenas de V , sendo o mesmo para todos os materiais. A teoria eletromagnética clássica não pode explicar esse fato, não havendo nenhuma razão pela qual ondas de comprimento de onda menor que certo valor crítico não devam ser emitidas pelo alvo.

No entanto, uma explicação surge imediatamente, quando encaramos os raios X como fótons. Um elétron de energia cinética inicial K é desacelerado pela interação com o núcleo pesado do alvo, e a energia que ele perde aparece na forma de radiação como um fóton de

³⁰ \AA é o símbolo de ângstrom que corresponde a 10^{-10} m .

raios X. O elétron interage com o núcleo carregado através do campo coulombiano, transferindo momento para o núcleo. A desaceleração resultante causa a emissão do fóton. A massa do núcleo é tão grande que a energia que ele adquire durante a colisão pode ser completamente desprezada. Se K' é a energia cinética do elétron após a colisão, então a energia do fóton é

$$h\nu = K - K'$$

e o comprimento de onda do fóton é dado por

$$hc/\lambda = K - K'$$

Os elétrons no feixe incidente podem perder diferentes quantidades de energia nessas colisões, e em geral um elétron chegará ao repouso apenas depois de várias colisões. Os raios X assim produzidos pelos elétrons constituem o espectro contínuo, e há fótons com comprimentos de onda que vão desde λ_{\min} até $\lambda \rightarrow \infty$, correspondentes às diferentes perdas em cada colisão. O fóton de menor comprimento de onda seria emitido quando um elétron perdesse toda sua energia cinética em um processo de colisão; neste caso $K' = 0$, de forma que $K = hc/\lambda_{\min}$. Como K é igual à eV , a energia adquirida pelo elétron ao ser acelerado pela diferença de potencial V aplicada ao tubo de raio X, temos

$$eV = hc/\lambda_{\min}$$

ou

$$\lambda_{\min} = hc/eV$$

Portanto o limite mínimo dos comprimentos de onda representa a conversão completa da energia dos elétrons em radiação X. A equação $\lambda_{\min} = hc/eV$ mostra claramente que se $h \rightarrow 0$, então $\lambda_{\min} \rightarrow 0$, que é previsão da teoria clássica.

A radiação X contínua é freqüentemente chamada *bremstrahlung*, do alemão *brem*s (frenagem, desaceleração) + *strahlung* (radiação). O processo de *bremstrahlung* ocorre não apenas em tubos de raios X, mas sempre que elétrons rápidos colidem com a matéria, como os raios cósmicos, nos anéis de radiação van Allen que envolvem a Terra, ou na frenagem de elétrons emergentes de aceleradores ou núcleos radioativos. O processo de *bremstrahlung* pode ser considerado como um efeito fotoelétrico às avessas: no efeito fotoelétrico, um fóton é absorvido, sua energia e momento indo para um elétron e para um núcleo no processo de *bremstrahlung*, um fóton é criado, com sua energia e momento vindos de uma colisão entre um elétron e um núcleo. Nesse processo há criação de fótons em vez de sua absorção ou espalhamento pela matéria.

**MÓDULO 4: EFEITOS
BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES E
RISCOS PARA A SAÚDE**

ORIENTAÇÕES PARA OS PROFESSORES

OBJETIVO GERAL DO MÓDULO

Avaliar quais são os benefícios e os riscos para a saúde decorrente da interação da radiação com a matéria.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar de que forma as radiações estão presentes no nosso dia a dia.
- Diferenciar radiação ionizante de não-ionizante.
- Entender o processo de interação da radiação com a matéria
- Avaliar os efeitos da interação da radiação com as células.
- Classificar, compreender e avaliar os efeitos biológicos das radiações, no dia a dia.

CONTEÚDO DO MÓDULO

1. Um panorama geral das radiações no dia a dia.
2. Interação da radiação com a matéria.
3. Efeitos da interação das radiações sobre as células.
4. Classificação dos efeitos biológicos
 - 4.1 Efeitos estocásticos

4.2 Efeitos determinísticos

4.3 Efeitos somáticos

4.4 Efeitos genéticos

4.5 Efeitos imediatos e tardios

METODOLOGIA

É importante que o aluno tenha conhecimento da morfologia e da divisão celular, afim de que possa entender que tipos de problema podem ocorrer na célula devido à interação com as radiações.

O professor deve fazer essa investigação prévia e caso ache necessário revisar essa parte com os alunos. Como sugestão bibliográfica pode consultar o livro didático adotado pela escola que atua ou as apostilas da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN – *Radiações ionizantes e a vida e Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos*, disponíveis em <http://www.cnen.gov.br> e <http://www.ird.gov.br>.

No site do Canal Ciência existe um link chamado Memória da Ciência em que pode se ouvir entrevistas com cientistas e personalidades de diversas áreas do conhecimento. No tema Física tem uma entrevista com a professora Emiko Okuno sobre radiações não-ionizantes. Disponível em <http://www.canalciencia.ibict.br/memoria/index.php>.

No site da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN – os alunos têm disponível na seção ENSINO, apostilas educativas sobre vários temas, inclusive Radiações Ionizantes.

Existe ainda uma parte de Aplicações Sociais da Energia Nuclear que pode ser adaptada pelo professor aos raios X.

Reúna os alunos em grupos e peça uma pesquisa sobre as doses máximas permitidas aos seres humanos à exposição aos raios X. Peça que relacionem as doenças mais comuns devido a doses excessivas. Finalmente, solicite aos grupos que elaborem uma campanha educativa para informar à população em geral sobre o resultado dessa pesquisa.

Cada grupo ficará responsável por um tipo de campanha: campanha para a televisão, campanha para o rádio, campanha para a internet, campanha em outdoors, campanha em panfletagem, campanha em cartaz, etc.

QUESTÕES PARA DISCUSSÃO

- Sabemos que quando estamos expostos aos raios X não sentimos nenhuma dor. De que maneira eles podem nos prejudicar?
- Você sabia que existem doses máximas de exposição permitidas para os seres humanos?
- Que tipos de doenças você acha que podem ocorrer quando somos submetidos a doses excessivas?
- Como podemos nos prevenir quanto aos efeitos nocivos da exposição aos raios X?
- Você acha que todos os profissionais que trabalham com essa radiação estão informados e conscientes dos riscos e problemas que o uso inadequado da radiação X pode causar?

- De que forma a população em geral, poderia ficar mais bem informada das taxas aceitáveis e dos riscos que uma exposição excessiva poderia causar?

1. UM PANORAMA GERAL DAS RADIAÇÕES NO DIA A DIA.

Pode não parecer, mas as radiações fazem parte das nossas vidas desde sempre. Diariamente estamos expostos às radiações na forma da luz solar (radiação ultravioleta principalmente) e os chamados raios cósmicos que são partículas³¹ vindas do espaço sideral (muitas vezes são oriundas de explosões solares) que possuem energia e velocidade muito grandes.

Essas partículas colidem violentamente com núcleos da atmosfera terrestre, dando surgimento a estados da matéria de altíssima energia. Esses estados são chamados de bolas de fogo que à medida que entram na atmosfera vão se desintegrando (decaindo) e se transformando em outras partículas chamadas píons³². Essas partículas (e algumas outras mais!!!) formam o que chamamos de “chuveiro de partículas”, no qual “tomamos banho” todos os dias.

A outra fonte de radiação natural a que estamos expostos é proveniente de elementos naturais radioativos presentes na crosta terrestre como potássio, céσιο, etc. Toda essa radiação, incluindo os raios cósmicos, tem se mantido constante durante milhares de anos e é chamada de radiação natural.

Os raios cósmicos correspondem a cerca de 40% da radiação natural. Materiais radioativos como ^{40}K , ^{14}C , U e To estão presentes em quantidades variáveis nos alimentos. Uma outra

³¹ São inúmeras partículas que formam os raios cósmicos: hádrons, neutrinos, gamas, etc.

³² O pión só foi identificado experimentalmente em estudos de raios cósmicos com emulsões nucleares em 1947, por um grupo de físicos do qual participou o brasileiro César Lattes. É um partícula que tem entre outras características, a massa de repouso cerca de 270 vezes maior que a do elétron e pode ter carga negativa, positiva ou neutra.

quantidade de radiação vem dos solos e dos materiais de construção. A radiação natural varia de local para local. O valor médio em locais habitados é de 1,25 milisievert (mSv) ao ano. Em regiões próximas a minas de tório e urânio esse valor pode se tornar alto, chegando a quase triplicar o valor médio anual.

A intensidade dessas radiações também pode variar com a altitude do local em relação ao nível do mar (Tabela 1).

LOCAL	ALTITUDE	INTENSIDADE DA RADIAÇÃO
Nível do mar	0 m	0,03 μ Sv
Monte Everest	9.000 m	1,00 μ Sv
Aviões comerciais	10.000 m	5,00 μ Sv
Camada atmosférica	15.000 m	10,0 μ Sv

Tabela 1: Variação da intensidade da radiação com a altitude

Existem hipóteses que há centenas de anos essa exposição diária às radiações naturais provocava doenças como o câncer nos habitantes de nosso planeta, diminuindo assim a expectativa de vida. Fatores genéticos criaram um processo de adaptação a essas radiações, de modo que atualmente os riscos são muito menores e as maiores preocupações nesse sentido estão ligadas ao estudo dos raios ultravioleta (UV), comprovadamente, causadores do câncer de pele.

Vimos anteriormente diversas aplicações das radiações, principalmente os raios X, provenientes de processos físicos, mas que se igualam às radiações de fundo no sentido de verificarmos quais são os riscos que corremos, e o meio ambiente também, quando seu uso não é adequado ou quando estamos expostos a taxas excessivas.

Vamos analisar de que forma as radiações de uma forma geral interagem com a matéria e quais os problemas decorrentes dessa interação.

2. INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A MATÉRIA.

Quando a radiação interage com a matéria (o nosso corpo também está incluído), podem acontecer três processos distintos: o efeito fotoelétrico, o efeito Compton e a produção de pares (ver Módulo 3). Esses processos envolvem o espalhamento ou a absorção de radiação pela matéria. Nesses processos ocorrem dois fenômenos associados ao espalhamento ou a absorção: ionização e excitação.

Se a radiação incidente tiver energia suficiente para arrancar elétrons dos átomos transformando-os em íons, ocorre o que chamamos de ionização. Esse tipo de radiação é chamada de ionizante. Quando a energia não é suficiente para produzir íons, é considerada não-ionizante.

O outro tipo de interação que ocorre é a excitação, em que o elétron agora não é mais arrancado do átomo, mas é excitado, isto é, ganha energia da radiação incidente, passando de seu nível energético fundamental para níveis mais energéticos, chamados níveis excitados. No entanto, como esse não é o estado energético “natural” do elétron, ele retorna num intervalo de tempo muito pequeno (da ordem de 10^{-8} s) para o seu estado fundamental, emitindo nesse momento um fóton de luz. Esses fótons, dependendo da energia, podem ser raios-X característicos do material que sofreu a interação.

Existe um organismo internacional chamado Comissão Internacional de Unidades e Medidas das Radiações que sugere em sua norma ICRU-60, que a escolha do limiar em que a radiação não é mais ionizante depende do tipo de aplicação em que será usada. Em

Radiobiologia, por exemplo, o valor apropriado é de 10 eV. Assim, do espectro eletromagnético, apenas os raios-X e os raios gama são considerados ionizantes.

A Tabela 2 mostra os tipos, freqüências e efeitos biológicos das radiações eletromagnéticas mais freqüentes:

Freqüência (Hz)	Radiação	Efeitos Biológicos
1 – 50	Força Elétrica	Não existem efeitos comprovados.
$10^6 - 10^{11}$	Ondas de rádio e radar	Efeitos térmicos, catarata.
$10^9 - 10^{10}$	Microondas	Visão distorcida.
$10^{11} - 10^{14}$	Infravermelho	Catarata.
10^{15}	Luz visível	Queima da retina (lasers).
$10^{18} - 10^{20}$	Raios X e raios gama	Lesões agudas e sérias; câncer.
10^{27}	Raios cósmicos	Não existem efeitos comprovados.

Tabela 2: Efeitos das radiações eletromagnéticas ionizantes e não ionizantes

É importante ressaltar em termos de comparação que os raios X e os raios gama têm as mesmas características, porém suas origens não são as mesmas. Os raios gama são produzidos dentro do núcleo atômico, enquanto os raios X, são produzidos pela desexcitação dos elétrons ou pelo frenamento de um feixe eletrônico, conhecido pelo termo alemão *bremstrahlung* (ver Módulo 3).

O que será que ocorre com as células de nossos órgãos e tecidos nessas interações?

3 – EFEITOS DA INTERAÇÃO DAS RADIAÇÕES SOBRE AS CÉLULAS.

O processo de ionização ao alterar os átomos pode modificar a estrutura de suas moléculas. Se a energia de excitação ultrapassar a de ligação entre os átomos pode ocorrer quebra das ligações químicas e conseqüentes mudanças moleculares. Da energia transferida (dose depositada) pela radiação incidente ao tecido, metade induz excitações, cujas conseqüências, são menores que as de ionização.

Se essas moléculas alteradas constituem uma célula, esta também pode ser alterada, direta ou indiretamente. As células são compostas de cerca de 80% de água (H₂O), que ao ser ionizada pela radiação incidente, produz radicais livres, íons e elétrons. Esse processo chama-se radiólise (Figura 1).



Esses radicais agem como ácidos ou bases, causando prejuízo ao funcionamento das células.

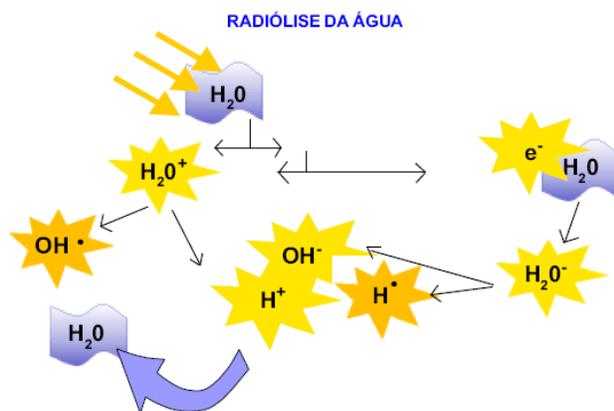


Figura 1: Esquema da radiólise da água

(extraído de <http://www.cnen.gov.br>).

Assim, a ação direta das radiações sobre as células, pode ser assim representada:

- ação sobre a membrana celular: a radiação pode provocar mudanças na estrutura química da membrana provocando evidente alteração na sua permeabilidade;
- ação sobre o metabolismo: o trifosfato de adenosina (ATP) pode ter sua produção diminuída por uma cisão (quebra) no mecanismo de fosforização;
- ação sobre enzimas: a radiação pode inativar as enzimas;
- ação sobre o DNA: a seqüência do DNA contido em cada célula, que é constante e característica de cada espécie, pode sofrer mutação e conseqüente modificações em seu metabolismo ou até a morte da célula.

As principais conseqüências para a célula são:

- Interrupção da divisão da célula e sua conseqüente morte;
- Rompimento da célula;
- Destruição do tecido celular se o número de células atingido for significativo.
- Alterações em seu metabolismo (modificações enzimáticas ou de outras proteínas).

Entretanto, tais alterações nem sempre são nocivas ao organismo humano. Se a substância alterada possui um papel crítico para o funcionamento da célula, pode resultar na alteração funcional ou morte desta célula. Em muitos órgãos e tecidos o processo de perda e reposição celular faz parte de sua operação normal. Quando a mudança tem um caráter nocivo, ela significa um dano.

Dos danos celulares, os mais importantes estão relacionados à molécula do DNA. (As lesões podem ser quebras simples e duplas da molécula, ligações cruzadas (entre DNA-

DNA ou entre DNA – proteínas), alterações nos açúcares ou em bases (substituições ou deleções).

As aberrações cromossômicas são o resultado dos danos no DNA. As células danificadas podem morrer ao tentar se dividir, ou conseguir realizar reparos mediados por enzimas. Se o reparo é eficiente e em tempo curto, o DNA pode voltar à sua composição original, sem conseqüências posteriores.

Se nesse reparo acontecerem erros, podem ocorrer mutações na seqüência de bases ou rearranjos mais grosseiros, podendo levar à morte reprodutiva da célula ou a alterações no material genético das células sobreviventes, com conseqüências a longo prazo.

Procure na descrição desse módulo na parte de **metodologia** as sugestões bibliográficas referentes à estrutura básica de uma célula, sua reprodução e seu metabolismo. Procure entender como se desenvolve cada processo e identifique os danos que as radiações podem provocar.

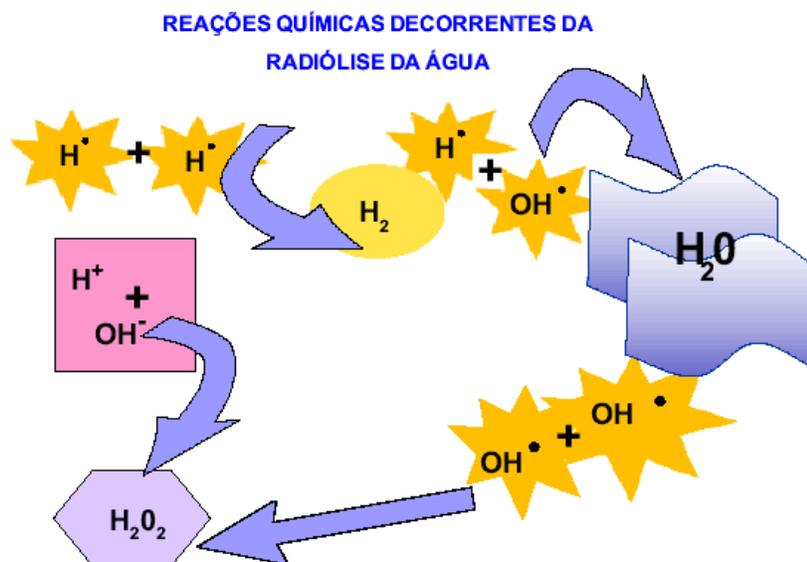


Figura 2: Reações químicas do processo da radiólise da água

(extraído de <http://www.cnen.gov.br>).

Os efeitos das radiações citados anteriormente dependem da dose total recebida, da taxa na qual esta dose foi recebida, da área sobre a qual a dose foi distribuída e da radiosensibilidade do tecido. As partes do corpo humano de maior radiosensibilidade são em ordem crescente:

1. Tecido linfático.
2. Células de sangue imaturas (encontradas na medula óssea).
3. Revestimento do canal gastro-intestinal.
4. Testículos e ovários.
5. Pele (Figura 3).
6. Células endoteliais (vasos sanguíneos e peritônio).
7. Epitélio do fígado e adreanal.
8. Ossos, músculos e nervos.

EFEITO DAS RADIAÇÕES NA PELE

Exemplo: camada de células do revestimento do corpo

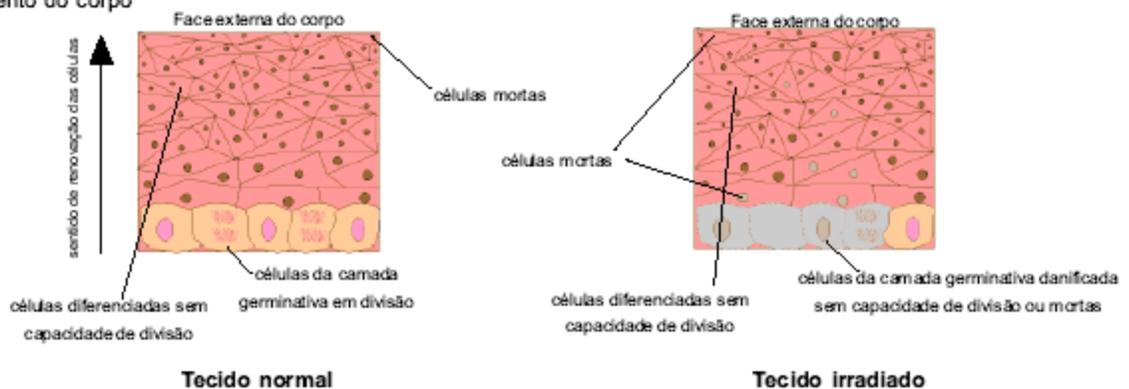


Figura 3 : Problemas na pele decorrentes da exposição às radiações

(extraído de <http://www.cnen.gov.br>).

4 - CLASSIFICAÇÃO DOS EFEITOS BIOLÓGICOS

Os efeitos provocados pelas radiações podem receber denominações em função do valor da dose e da forma de resposta, em função do tempo de manifestação e do nível orgânico atingido. Quando são função da dose e da forma de resposta são classificados em *estocásticos* e *determinísticos*. Em termos de tempo de manifestação, são classificados em *imediatos* ou *tardios*. E em função do nível de dano, podem ser *somáticos* ou *genéticos*.

4.1 - EFEITOS ESTOCÁSTICOS

São efeitos em que a probabilidade de ocorrência é proporcional à dose de radiação recebida, sem a existência de limiar. Isto na prática significa que doses pequenas, abaixo dos limites estabelecidos por normas e recomendações de radioproteção, podem induzir tais efeitos. Entre esses efeitos destaca-se o câncer e a leucemia. O tempo de aparecimento do câncer após a exposição pode levar até 40 anos. No caso da leucemia, de 5 a 7 anos, com período de latência de 2 anos.

4. - EFEITOS DETERMINÍSTICOS

São efeitos causados por irradiação total ou localizada de um tecido, causando um grau de morte celular não compensado pela reposição ou reparo, com prejuízos para o funcionamento do tecido ou órgão. Existe um limiar de dose abaixo do qual a perda de células é insuficiente para prejudicar o tecido ou órgão. Na prática isso significa que os efeitos determinísticos são produzidos por doses elevadas, acima do limiar, onde a gravidade do dano aumenta com a dose aplicada. Assim, a probabilidade de efeitos determinísticos é nula para valores de dose abaixo do limiar e 100% para valores acima.

4.3 - EFEITOS SOMÁTICOS

São os efeitos clínicos das radiações ionizantes sobre órgãos e tecidos do corpo de um indivíduo exposto. Não são transmitidos à gerações futuras, senão atingirem as gônadas ou

tecidos embrionários (gestação). Dependem basicamente do tipo de radiação, da profundidade atingida, que está relacionada à energia da radiação e ao tipo de tecido irradiado, da área ou volume do corpo exposto, da dose total recebida e do tempo de irradiação.

A - Pele

Após uma irradiação intensa há destruição de células, resultando nas fases eritematosa³³ e inflamatória com ulceração³⁴ superficial. Uma irradiação que tenha lesado também a derme produz uma radiodermite profunda. A irradiação crônica provoca lesões distróficas.

B - Tecidos Hematopoiéticos

Estes tecidos são responsáveis pela produção de glóbulos brancos e vermelhos do sangue, e podem sob a ação da radiação, sofrer uma diminuição na produção desses elementos. Dependendo da dose pode haver uma total incapacidade de produção dessas células (aplasia medular).

C - Sistema Vascular

A radiação produz lesões nos vasos, surgindo hemorragias.

D - Sistema gastro-intestinal

Podem ocorrer reações inflamatórias e descamação do epitélio resultando em ulcerações.

E - Irradiação sobre o feto

Quando um feto é irradiado pode sofrer mutações como: microcefalia, mongolismo, retardamento mental, hidrocefalia, estrabismo, leucemia aguda e deformação do crânio.

³³ Ruborização cutânea por vasodilatação.

³⁴ Solução de continuidade de uma superfície, perda de substância em superfície cutânea ou mucosa, com desintegração e necrose (morte) do tecido.

F - Efeito sobre o corpo como um todo

A exposição do corpo como um todo às irradiações é potencialmente letal. As manifestações clínicas são provenientes das doses ministradas durante o tratamento radioterápico e até três meses do seu término. Essas manifestações são chamadas *síndromes da radiação aguda*. Dependendo da dose, quatro síndromes clínicas são identificadas: *síndrome sub-clínica*, *síndrome hematopoiética*, *síndrome gastro-intestinal* e *síndrome do sistema nervoso central*. Vários são os efeitos que podem ocorrer no corpo como um todo: náuseas, vômitos, depressão mental, diarreia, febre, ulcerações na mucosa, hemorragias, distúrbios na absorção de água, infecção secundária às lesões.

4. - EFEITOS GENÉTICOS

Consistem de mutações nas células reprodutoras que afetam gerações futuras. Esses efeitos podem surgir quando os órgãos reprodutores são expostos à radiação, e aparentemente não afetam o indivíduo exposto, mas apenas seus descendentes. Quando a radiação atinge as células reprodutoras ou seus precursores, pode ocorrer uma alteração na informação genética codificada (DNA), provocando uma mutação genética. Se o espermatozóide ou o óvulo que sofreu a mutação for utilizado na concepção, a alteração será incorporada ao óvulo fertilizado, e durante a gravidez, quando o zigoto se reproduzir milhares de vezes, essa alteração será fatalmente reproduzida. Todas as células do recém-nascido conterão informações genéticas modificadas, incluindo aquelas que anos mais tarde irão se transformar em espermatozoides e óvulos. Isso significa que quando o indivíduo atingir a fase fértil e se reproduzir terá grande probabilidade de transmitir a informação genética

alterada, podendo assim continuar por muitas gerações. Algumas dessas mutações podem ser letais, antes do nascimento do feto. Outras podem produzir defeitos físicos ou mentais ou, simplesmente, aumentar a suscetibilidade a determinadas doenças crônicas, ou a anormalidades bioquímicas.

SISTEMA REPRODUTOR

Órgão genital masculino: a irradiação dos testículos pode provocar esterilidade temporária, ou esterilidade permanente, dependendo da dose, e danos nas células de suporte do órgão, quando as doses são elevadas.

Órgão genital feminino: podem ocorrer problemas nas células germinativas dos ovários que são mais sensíveis às radiações.

4.5 - EFEITOS IMEDIATOS E TARDIOS

Os primeiros efeitos biológicos causados pela radiação, que ocorrem num período de poucas horas até algumas semanas após a exposição, são denominados de *efeitos imediatos*, como exemplo a radiodermite.

Os que aparecem depois de anos ou mesmo décadas são chamados *efeitos tardios ou retardados*, como por exemplo, o câncer.

Quando as doses são muito altas predominam os imediatos e as lesões são muito graves e, em certos casos, podem levar a morte. Para doses intermediárias os efeitos imediatos são menos graves e não são necessariamente permanentes. Entretanto, existe uma grande

probabilidade de lesões graves a longo prazo. Para doses baixas não haverá efeitos imediatos, mas há possibilidade de lesões a longo prazo.

Os efeitos retardados ou tardios, principalmente o câncer, complicam bastante a implantação de critérios de segurança, principalmente para quem trabalha com as radiações ionizantes. Por enquanto não é possível usar critérios clínicos, pois quando os sintomas aparecem, o grau do dano causado já pode ser grave, irreparável ou até letal.

Em princípio, é possível ter um critério biológico e espera-se algum dia ser possível identificar uma mudança biológica no ser humano que corresponda a uma mudança abaixo do grau da lesão. Atualmente, utilizam-se hipóteses estabelecidas sobre critérios físicos, extrapolações matemáticas e comportamentos estatísticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. **Lei nº 9.394**, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Disponível em <http://www.presidencia.gov.br/ccivil_03/Leis/L9394.htm> . Acesso em 18 mar. 2006.

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura - Secretaria de Educação Básica. **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio**, 2000. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/seb/index.php?option=content&task=view&id=265&Itemid=255>> . Acesso em 09 mai. 2005.

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura - Secretaria de Educação Básica. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio**, 2002. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>> . Acesso em 09 mai 2005.

CALÇADA, C. S.; SAMPAIO, J. L. – **Física Clássica: Óptica e Ondas** – São Paulo: Atual Editora, 1998.

CHAVES, A.; SHELLARD, R. C. – **Física para o Brasil: pensando o futuro**. – São Paulo: Sociedade Brasileira de Física (SBF), 2005. 248p.

CHESMAN, C.; ANDRÉ, C.; MACÊDO, A. – **Física Moderna: experimental e aplicada.**

– São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004. 291p.

CHUNG, K. C. **Introdução à Física Nuclear.** Apostila da disciplina de Física Nuclear do curso de Licenciatura em Física da UERJ, 1999. 290p.

EISBERG, R.; RESNICK, R. – **Física Quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas** – Rio de Janeiro: Editora Campus, 1994. 928p.

HALLIDAY, D et al. – **Fundamentos da Física: Óptica e Física Moderna** – Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S/A, 1995. 355p.

HWA, L. W.; POLIKARPOV, I. - Mais luz sobre os segredos das proteínas. – **Ciência Hoje**, v.25, n.149, 32-39, 1999. Disponível em <<http://ich.unito.com.br/view/345>>. Acesso em 19 fev. 2005.

ICRP – International Commission on Radiological Protection – **1990 Recommendations of the ICRP: ICRP-60** – Sweden: ICRP Publication, P. 67-77, 1990. Disponível em <<http://www.icrp.org/>> e <http://www-ns.iaea.org/downloads/coordination/snr-reg-meeting-2004/Clarke_srm_2004.pdf>. Acesso em 21 fev. 2005.

LICHTER, A. S. – Radiation therapy. In: Abeloff, M. (org.) **Clinical Oncology**. 2. ed. London: Churchill Livingstone, 2000. P.423-470.

MARTINS, Roberto de Andrade. Investigando o invisível: as pesquisas sobre raios-X logo após sua descoberta por Röntgen. *Revista da Sociedade Brasileira da História da Ciência* (17): 81-102, 1997. Disponível em < <http://www.ifi.unicamp.br/~ghc/ram-pub.htm> >. Acesso em 02 fev. 2005.

_____. A Descoberta dos Raios X: O Primeiro Comunicado de Röntgen. *Revista Brasileira de Ensino de Física* (20), 4: 373-391,1998. Disponível em < <http://www.sbfisica.org.br/rbef/Vol20/Num4/index.html> >. Acesso em 02 fev. 2005.

OKUNO, E. et al. **Física para Ciências biológicas e Biomédicas**. Rio de Janeiro: Editora Harbra, 1982. 490p.

OKUNO, E.; VILELA, M. A. C. – **Radiação ultravioleta: características e efeitos** – Coleção Temas Atuais de Física – São Paulo: Editora Livraria da Física (SBF), 2005. 78p.

PORTILHO, A. P. – Radiação. In: SANTOS, M. da S.; COSTA, I.; ALMEIDA, L. da C. de **Tópicos de Física Moderna e Contemporânea para a Escola Média**. Niterói: UFF/IF – GPEF, 1998.

RICARDO, E. C.; ZYLBERSZTAJN, A. A reforma educacional e as ciências do ensino médio: dificuldades de implementação e conceitos fundamentais. Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, IV, Fortaleza, 1999.

SILVA, M. de F. Evolução histórica do conhecimento, utilização e aplicação dos raios-X: a relação entre ciência, tecnologia e sociedade. São Paulo: USP, Instituto de Física e Faculdade de Educação, 1989. (Dissertação, Mestrado).

SMITH, R. P.; McKENNA, W. G. – The basics of radiation therapy. In: Robbins and Cotran: **Pathologic Basis of Disease** (cap.26): P.537-562, 2005. Disponível em <<http://home.mdconsult.com/das/book/44914772-2/view/1249>>. Acesso em 19 fev. 2005.

TAUHATA, L. et al. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos**. Rio de Janeiro: IRD/CNEN, 2003. 242p. Disponível em <<http://www.cnen.gov.br/>>. Acesso em 19 fev. 2005.

TEIXEIRA, P. M. M. **Educação Científica e Movimento C.T.S. no Quadro das Tendências Pedagógicas no Brasil**. Revista ABRAPEC (3), 1: 88-102, 2003. Disponível em <<http://www.fc.unesp.br/abrapec/revistas/v3n1a7.pdf>>. Acesso em 16 mai. 2005.

VILLAS BÔAS, N.; DOCA, R. H. ; BISCUOLA, G. J. – **Tópicos de Física 2: termologia, ondulatória e óptica** – São Paulo: Editora Saraiva, 2001.

ENDEREÇOS ELETRÔNICOS UTILIZADOS NA PESQUISA

<http://portal.mec.gov.br/seb/>

http://www.escolavesper.com.br/luz_e_cor.htm

<http://www.uff.br/irradiacao/oquee.htm>

<http://www.geocities.com/Athens/Agora/5555/fatos2.htm>

http://www.ipcr.pt/site/ipcr_estruturadivisao_00.asp?divisao_id=2&texto_id=5

<http://revista.fapemig.br/materia.php?id=118>

<http://www.newscientist.com/article.ns?id=dn6340>

<http://www.ajronline.org/>

<http://www.comciencia.br/>

<http://www.geocities.com/SiliconValley/Lab/9043/quimica/resumo1.htm>

http://www.conviteafisica.com.br/home_fisica/downloads/apostila_raios_x.pdf

<http://www.cnen.gov.br/default1.asp>

http://www.who.int/ionizing_radiation/en/

http://www.icrp.org/educational_area.asp

<http://www.centrotorio.com.br/acontrol/default.htm>

<http://www.papaizassociados.com.br/>

<http://www.unb.br/iq/labpesq/qip/victor.htm>

<http://www.lnls.br/principal.asp?idioma=1&conteudo=344&opcoesq=105>

<http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/raiosx/rxconc.html>

http://www.uned.es/cristamine/cristal/drx_mrc.htm

http://www.fisica.net/quantica/curso/os_raios_x.php

<http://www.sbfisica.org.br/rbef/>

<http://www.ifi.unicamp.br/~ghc/ram-pub.htm>

http://www.infomet.com.br/pubtec_vista_artigos.php?id_artigo=38&where_condition=pubtec_rel_artigos_subcategorias.id_subcategoria%3D14&pag=0

http://www.apac-eureka.org/revista/Volumen1/Numero_1_1/Vol_1_Num_1.htm

<http://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/scienceopticsu/powersof10/index.html>

<http://www.ird.gov.br/>

<http://www.iaea.org/>

http://www.ib.usp.br/~crebs/divisao_celular/

<http://www.fortunecity.com/campus/dawson/196/actual.htm>

<http://www.tulane.edu/~sanelson/eens211/x-ray.htm>

<http://www.prorad.com.br/pro/imag-1.pdf>

http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod05/m_s01.html

<http://www.gehealthcare.com/lapt/>

http://www.cnpdia.embrapa.br/menuleft_desenv_produtos_tomopor.html

http://geocities.yahoo.com.br/saladefisica6/ondas/fenomenos_ondulatorios.htm