

Marcos Aurélio de Souza

**Poluição Nuclear:
A Inserção da Educação Ambiental no Ensino
Médio na Perspectiva Globalizante Via Enfoque CTS**

**Florianópolis - SC
2005**

**Universidade Federal de Santa Catarina
Centro de Ciências Físicas e Matemáticas
Centro de Ciências da Educação
Curso de Mestrado Em Educação Científica e Tecnológica**

**Poluição Nuclear:
A Inserção da Educação Ambiental no Ensino Médio na
Perspectiva Globalizante Via Enfoque CTS**

Dissertação apresentada como exigência parcial para obtenção do título de MESTRE EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, do curso de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina.

Mestrando: Marcos Aurélio de Souza

Orientadora: Prof. Dra. Sônia Maria S. C. de Souza Cruz

**Comissão Examinadora: Dr. Arden Zylbersztajn
Dr. Marcos Aires de Brito
Dra. Sônia Maria S. C. de Souza Cruz
Dr. Edmundo Carlos de Moraes (suplente)**

**Florianópolis – SC
2005**

Para Meus Pais Jaci e Iná, pelo exemplo de vida que me proporcionam e pelo amor que me dedicam.

Para Mari, pelo apoio e carinho.

Para Marquinhos, por existir.

AGRADECIMENTOS

À professora Sônia Maria S. C. de Souza Cruz pela orientação, apoio e compreensão de minha condição de mestrando / trabalhador, na qual cursei todas as disciplinas e elaborei a dissertação de mestrado, lecionando no ensino médio e fundamental as disciplinas de Física, Química e Ciências, com uma carga horária semanal em sala de aula nunca inferior a cinquenta aulas.

À compreensiva e incentivadora, amiga Sônia, capaz de ouvir e entender meus problemas pessoais sempre com paciência e uma palavra de conforto.

Ao amigo e brevemente Doutor Mikael Frank Rezende Junior, pelo apoio, incentivo e auxílio especialmente no tocante as minhas deficiências em lidar com a informática, sem você jamais teria retornado aos estudos acadêmicos, portanto devoto-lhe eterna gratidão.

Ao professor José André Peres Angotti, pelo incentivo para retornar aos estudos acadêmicos e redimir erros do passado.

Aos professores do curso de Pós-Graduação, Dr. Arden Zylbersztajn, Dr. Edmundo Carlos de Moraes, Dr. Walter Antonio Bazzo, Dr. José de Pinho Alves Filho, Dra. Edel Ern e Doutora Nadir Ferrari, pelo muito que aprendi nas disciplinas que tive a honra de tê-los como mestres.

À secretária do curso de Pós-Graduação Sandra, por seu carinho, simpatia e presteza, inúmeras foram as vezes em que seu sorriso levantou meu espírito alquebrado pelo trabalho extenuante.

Ao meu primo José Lídio da Cunha e sua família, pelo carinho e fraterno apoio em todos os momentos.

Aos meus pais, Jaci Quintino de Souza e Iná de Souza, pelo amor, apoio e devoção.

Aos meus irmãos Lilia Mara de Souza e Jaci Quintino de Souza Júnior, pelas palavras de incentivo, especialmente de minha irmã, que sempre acreditou e incentivou meu retorno aos estudos acadêmicos, mesmo nos momentos mais difíceis.

À minha companheira Rosimari Eger pelo incentivo, carinho e apoio nas horas mais difíceis, as quais foram muitas.

Ao meu filho Marcos Aurélio Eger de Souza, sem o qual não teria os motivos suficientes para superar as muitas provas que passei.

À Universidade Federal de Santa Catarina.

Aos colegas professores dos Colégios Meridiano e Carrossel pelo incentivo.

Ao Povo Brasileiro que com seu trabalho e impostos permitiu-me estudar e desenvolver uma pesquisa acadêmica numa Universidade Pública, Gratuita e de Excelência.

Muito Obrigado a todos!

RESUMO

Este trabalho constitui uma reflexão sobre a inserção da Educação Ambiental no Ensino Médio pautada na concepção de meio ambiente Globalizante, utilizando o enfoque CTS sobre o Tema Poluição Nuclear.

Constata-se que a Educação Ambiental constitui um elemento essencial para o enfrentamento da crise socioambiental vivenciada pela humanidade no alvorecer do terceiro milênio. Tal enfrentamento implica que as ações educativas estejam alicerçadas sobre uma concepção de meio ambiente que contemple os aspectos bióticos, abióticos e antrópicos e sobre uma práxis educacional interdisciplinar.

Os estudos CTS são apontados como um caminho viável para a prática da Educação Ambiental dentro da citada concepção, dados suas características metodológicas e objetivos educacionais que abordam o trinômio: ciência, tecnologia e sociedade. A Poluição Nuclear foi adotada como tópico programático, pelo fato de permitir o estabelecimento de múltiplas relações entre política, economia, ciência, tecnologia e ambiente.

Por intermédio da análise de uma amostra de livros didáticos de Física, Química, Biologia e Geografia, avaliou-se como são abordados múltiplos aspectos associados à temática nuclear, no intuito de levantar incorreções conceituais, omissões ou abordagens tendenciosas, bem como, revelar a concepção de meio ambiente que é veiculada pelos mesmos.

Por fim, são sugeridos um conjunto de elementos para serem levados em conta quando do planejamento de projetos de Educação Ambiental sobre outros temas, de modo a contemplar uma prática educativa ambiental integradora, que conduza a formação de cidadãos críticos, participativos e instrumentalizados para o exercício de uma cidadania ecológica.

Abstract

This present work consists in a reflection about the Environmental Education insertion in High School towards a Global environment conception, using the STS approach on the Nuclear Pollution Theme.

It is verified that the Environmental Education constitutes an essential element to meeting of the social-environment crisis lived by the humanity in the third millennium opening. Such meeting involve that the educational actions are based on environment conception that contemplated the biotic, abiotic and antropics aspects, and about an interdisciplinary education praxis.

The STS studies have been appointed as a correct way to Global Environmental Education practice, and their methodological characteristics and educational objectives have been positively evaluation. The Nuclear Pollution was adopted as curricular topic, to allowing the establishment of multiple relationships among politics, economy, science, technology and environment.

Analyzing the text books of Physics, Chemistry, Biology and Geography in High School, was evaluated the multiple aspects associated to the nuclear theme, in the intention to find out conceptual mistakes, omissions or tendentious approaches, and too show the environment conception transmitted by this books.

Finally, they are suggested many elements to be consider in projects of Environmental Education on other themes, to contemplate a environmental educational practice that conduce the formation to critical citizens, partnerships and prepared of an ecological citizenship acting.

SUMÁRIO

Introdução.....	1
Capítulo 1- Educação Ambiental	
1.1- Apresentação.....	5
1.2- A Crise Ambiental.....	5
1.3- Evolução nos Princípios de Conservação.....	11
1.4- Concepções de Meio Ambiente.....	13
1.5- Educação Ambiental.....	17
1.6- Evolução da Educação Ambiental.....	22
Capítulo 2- Estudos CTS	
2.1- Apresentação.....	28
2.2- Contexto: Sociedade, Ciência & Tecnologia.....	28
2.3- Estudos CTS.....	33
2.3.1- Origens e Vertentes dos Estudos CTS.....	33
2.3.2- Objetivos e Elementos Curriculares.....	38
2.3.3- Enfoque CTS e Educação Ambiental.....	41
Capítulo 3- Poluição Nuclear	
3.1- Apresentação.....	47
3.2- Ecologia.....	49
3.2.1- Ecologia Enquanto Ciência.....	49
3.2.2- Ecologia Enquanto Movimento Social.....	54
3.3- Poluição Ambiental.....	59
3.3.1- Breve Histórico.....	59
3.3.2- Concepções e Tipos de Poluição.....	65
3.4- Poluição Nuclear.....	69
3.4.1- Breve Histórico.....	69
3.4.2- Fundamentos Científicos.....	82
Capítulo 4- Análise dos Livros Didáticos	
4.1- Apresentação.....	156
4.2- Livros Didáticos e a Visão Social da Ciência.....	157
4.3- Metodologia de Pesquisa.....	167

4.3.1- Procedimentos Metodológicos.....	172
4.3.2- Análise dos Livros Didáticos de Geografia.....	174
4.3.3- Análise dos Livros Didáticos de Biologia.....	180
4.3.4- Análise dos Livros Didáticos de Física.....	184
4.3.5- Análise dos Livros Didáticos de Química.....	187
4.3.6- Considerações Finais.....	194

Capítulo 5- Elementos Para Uma Proposta de Educação Ambiental Num Enfoque CTS

5.1- Apresentação.....	197
5.2- Avaliação e Objetivos da Educação Ambiental.....	198
5.3- Tópicos Programáticos Relevantes.....	200
5.4- Abordagem CTS Sobre a Poluição Nuclear.....	205
5.5- Viabilidade de Uso Em Outros Contextos Programáticos.....	214
Referências Bibliográficas.....	217

INTRODUÇÃO

A partir dos anos oitenta e notadamente nos anos noventa, ocorre um predomínio das questões ambientais no tocante as discussões sobre políticas públicas voltadas à educação e projetos de desenvolvimento sócio-econômico. Segundo Lago (1991):

“Os” espaços “conquistados por enfoques ecológicos em veículos da imprensa escrita, falada e televisada se ampliaram extraordinariamente na década de 80.” (Lago, 1991, p.178)

Tais espaços conquistados pelos enfoques ecológicos exigiram que o currículo escolar viesse a contemplar a aproximação do educando com as questões ambientais a nível conceitual e afetivo, de tal modo que os alunos deveriam aprender *“... a estabelecer relações entre necessidades sociais, evolução das tecnologias e degradação ambiental.”* (PCN+ Ensino Médio, 2002, p.34).

No documento PCN+ (2002), registra-se na página 34, que nos ciclos finais do ensino fundamental os alunos devem desenvolver capacidades específicas que lhes permitam dentre outras habilidades, compreenderem a história evolutiva dos seres vivos, caracterizarem a biodiversidade planetária, reconhecendo situações de desequilíbrio ambiental e assim conscientizando-se da importância da preservação ambiental. O documento enfatiza que esse conhecimento deve capacitar o educando a posicionar-se frente às questões polêmicas como as que tratam da ocupação urbana desordenada, dos desmatamentos e da conseqüente redução da biodiversidade na biosfera. O citado documento explicita que o ensino médio deve dar continuidade a essa perspectiva educacional, para ampliar as possibilidades de compreensão e participação no mundo contemporâneo, desenvolvendo o saber científico-tecnológico como condição para o exercício da cidadania, não relegando aos especialistas a prerrogativa na definição de políticas públicas que tratem das questões sócio-econômicas e ambientais, intrinsecamente relacionadas.

O atendimento das proposições curriculares acima levantadas que tratam da educação ambiental passa necessariamente por uma abordagem educacional, onde a concepção de meio ambiente inclua não só os fatores bióticos e abióticos, mas também os fatores antrópicos, tais como os fatores sociais, econômicos, políticos e científico-tecnológicos. O exercício da cidadania como propõem o PCN+, implica que o meio ambiente seja abordado no contexto educacional segundo uma perspectiva global, onde o homem e suas peculiaridades culturais, sociais e econômicas estejam inseridos no contexto das questões ambientais.

Conjuntamente com as proposições curriculares anteriormente citadas o processo de reorientação do ensino médio preconizado pela Lei de Diretrizes e Base da Educação Nacional - Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996 (LDB), pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) e pelas Diretrizes Curriculares Nacionais - Ensino médio (DCNEM), atribuiu uma série de "deveres" para o docente do ensino médio, para os quais, esse necessita de preparo e condições. O despreparo docente e a carência de condições adequadas para o cumprimento das atribuições preconizadas pelos documentos supracitados são descritos e analisados por Ricardo (2001). Dispõe o autor que atualmente cobra-se da escola muito mais que em outros tempos, exigindo-se dessa contribuição decisiva, na formação de valores e atitudes e na formação geral sólida para o exercício da cidadania. No entanto, baixos salários e elevada carga horária dificultam inovações didático-pedagógicas que apontem para o cumprimento das exigências preconizadas nos PCNs. Pois, o professor com carga horária excessiva prefere livros didáticos ou apostilas que lhe oferecem aulas prontas, os quais quando muito acrescentam gravuras ou textos que fazem alguma menção relacionada ao cotidiano, maquiando a tradicional abordagem focada no conteúdo e na pura reprodução do mesmo. Complementa que a ausência de materiais didático-pedagógicos alicerçados nos pressupostos preconizados pelo PCNs cria dificuldades adicionais ao atendimento das exigências da LDB e dos PCNs, Ricardo (2001).

Considerando o distanciamento existente entre o que preconizam os documentos oficiais e as reais condições de formação e trabalho dos professores do ensino médio,

resolvemos desenvolver um trabalho acadêmico que permita dar subsídios metodológicos e de conteúdo aos professores do ensino médio, especificamente no que concerne a prática da educação ambiental centrada numa concepção de meio globalizante, usando como eixo temático a poluição nuclear.

Diante do exposto acima, a questão de pesquisa levantada no trabalho de investigação pode ser expressa da seguinte forma:

Como pode se dar à inserção da Educação Ambiental pautada na concepção de meio ambiente Globalizante, no âmbito das disciplinas escolares do Ensino Médio?

No intuito de responder a questão de pesquisa supracitada, organizamos a dissertação conforme a seguinte estrutura:

No primeiro capítulo intitulado educação ambiental buscamos o desvelamento da educação ambiental no que concerne aos aspectos conceituais e evolutivos da mesma, uma vez que o objetivo estratégico dessa dissertação é o de fornecer elementos para a inserção da educação ambiental pautada na concepção de meio ambiente Globalizante no âmbito das disciplinas escolares do ensino médio.

No segundo capítulo apresentamos os objetivos e características do enfoque CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade), tendo em vista que nessa dissertação, os elementos para a inserção da educação ambiental, focada sobre o tema poluição nuclear, têm como eixo integrador os estudos que abordam o trinômio: ciência, tecnologia e sociedade. A escolha do enfoque CTS como um possível caminho para uma Educação Ambiental que privilegie uma abordagem interdisciplinar e contribua para uma cidadania crítica e participativa, reside no fato dos estudos CTS objetivarem a compreensão da dimensão social do saber científico e tecnológico no que concerne às conseqüências sociais e ambientais de tal saber, procurando estabelecer parâmetros para a elaboração de mecanismos democráticos de controle, a serem exercidos por cidadãos críticos e embasados num adequado suporte educacional, Palácios (2001).

No terceiro capítulo, intitulado poluição nuclear buscamos levantar as informações relevantes para a devida compreensão do tema "Poluição Nuclear", bem

como a definição dos elementos para compor nossa proposta. Para ampliar nossas opções na definição desses elementos, utilizaremos os subsídios conceituais destacados neste capítulo para a realização da análise crítica dos livros didáticos adotados ou recomendados em escolas da Grande Florianópolis.

No quarto capítulo intitulado, análise dos livros didáticos buscamos realizar uma análise de três livros didáticos de Física, Química, Biologia e Geografia, adotados em escolas públicas e privadas dos municípios de Florianópolis, São José e Palhoça. O intuito está em caracterizar a adequação com que são tratados os conceitos científicos em termos de correção conceitual, profundidade e contextualização, bem como, levantar qual concepção de meio ambiente está sendo perpassada pelos mesmos ao abordarem a poluição nuclear.

No quinto capítulo intitulado, elementos para uma proposta de educação ambiental num enfoque CTS, apresentamos indicativos para elaboração de uma proposta da educação ambiental sobre o tema poluição nuclear, que possibilite contemplar uma concepção de meio ambiente globalizante, empregando um enfoque CTS. Nesse capítulo discutimos a viabilidade do emprego do enfoque CTS em práticas de educação ambiental numa perspectiva de meio ambiente globalizante, sobre outros tipos de poluição, como as poluições, atmosférica, hídrica, edáfica, acústica, térmica e eletromagnética.

CAPÍTULO 1 - EDUCAÇÃO AMBIENTAL

1.1. APRESENTAÇÃO

No presente capítulo, busca-se abordar a Educação Ambiental no que concerne aos aspectos conceituais e evolutivos da mesma, uma vez que o objetivo estratégico dessa dissertação é o buscar suporte para a elaboração de uma proposta de Educação Ambiental dentro do contexto integrador CTS, tendo como eixo temático à poluição nuclear.

Na estruturação desse capítulo, busca-se num primeiro plano, a descrição da crise ambiental vivenciada pelo planeta no limiar do século XXI, a evolução nos princípios de conservação ambiental e as concepções sobre o meio ambiente. Isto se faz com o intuito de compreender a gravidade da problemática ambiental, desvelar o modo como a população incluindo-se os educadores percebe o meio ambiente e faz inferências sobre as múltiplas relações sócio-econômicas, políticas e científico-tecnológicas associadas às questões ambientais.

Constata-se então, o predomínio de uma visão reducionista sobre meio ambiente, denominada concepção naturalista, Reigota (1995), Campos (1997) e Crespo (1997), e aponta-se a Educação Ambiental como elemento essencial para o enfrentamento dessa situação, com o propósito educativo de se alcançar uma concepção de meio ambiente mais abrangente, denominada globalizante. Num segundo plano busca-se o desvelamento da Educação Ambiental, descrevendo suas características e evolução.

1.2. A CRISE AMBIENTAL

As considerações sobre Educação Ambiental passam num primeiro plano pelo entendimento da crise ambiental que vivenciamos no limiar do século XXI, buscando-se entender suas causas e peculiaridades.

O vocábulo crise evoca em sua acepção semântica mais restrita a idéia de situação crítica ou conjuntura perigosa. A crise ambiental ou ecológica está associada em escala planetária à situação crítica de ecossistemas degradados ou em acelerado processo de comprometimento ambiental. A conjuntura perigosa que a biosfera experimenta de modo singular na atualidade, relaciona-se com as alterações climáticas, a desertificação, a escassez de água potável, a perda de biodiversidade e outros reflexos ambientais de um modelo de produção e consumo que conduz a degradação ambiental em todas suas formas, bem como a perda da qualidade de vida, Dias (2004).

A crise ambiental ou socioambiental trata-se no entendimento de Lima (2002) de uma crise global que atinge todos os continentes, sociedades e ecossistemas. Conforme o autor, distingue-se no escopo dessa crise a poluição da miséria e da riqueza, a primeira está associada à subnutrição, ausências de água potável e esgotos, falta de tratamento do lixo e de cuidados médicos dentre outros. A segunda relaciona-se com os desastres em usinas nucleares, chuva ácida, consumo perdulário, patologias associadas ao excesso de alimentos, álcool, drogas e medicamentos. Portanto, vislumbra-se no seio da crise ambiental não só as questões ecológicas essencialmente ligadas à degradação de ecossistemas, poluição hídrica, edáfica e atmosférica, mas também as questões sócio-econômicas e culturais atreladas, por exemplo, a fome, miséria e a violência urbana.

Frente à magnitude da crise ambiental não podemos relegar ao esquecimento o fato do planeta Terra reunir condições singulares para o surgimento e evolução da vida. Dessas condições, segundo Nakata (1986), Popp (1981) e Bigarella (1985), ressaltam-se as seguintes:

a) Encontra-se a uma distância de cento e cinquenta milhões de quilômetros do Sol, o que não o torna tão quente quanto o planeta Mercúrio e nem tão frio quanto o planeta Plutão.

b) Apresenta uma atmosfera constituída por setenta e oito por cento de gás nitrogênio, vinte e um por cento de gás oxigênio e um por cento de outros

gases, a presença da atmosfera além de prover gás oxigênio para os organismos aeróbicos, impede grandes variações térmicas como as verificadas na Lua, onde a variação de temperatura no decorrer de um dia lunar chega a duzentos e cinquenta graus Celsius.

c) Apresenta uma superfície de quinhentos e dez milhões de quilômetros quadrados, sendo trezentos e sessenta e dois milhões de quilômetros quadrados ocupados por massas hídricas, as quais são essenciais para impedir grandes variações térmicas ao longo de um dia terrestre. A existência de água, essencial para o metabolismo dos organismos dos reinos metáfitas, metazoa, monera, protista e fungi, constitui um dos mais importantes fatores abióticos para o surgimento e manutenção dessas formas de vida.

A despeito das inúmeras especulações sobre a possibilidade de vida em outros planetas, nada foi comprovado até o presente momento, exobiologistas estimam possíveis, porém remotas as probabilidades de se encontrar um planeta que reúna as condições ideais para a existência de vida. Portanto o planeta Terra é o único habitat ao alcance de nossa ciência e tecnologia, que pode abrigar a civilização humana e os diversos ecossistemas que acompanham seu entorno ambiental, Suguio & Suzuki (2003).

A despeito da obviedade de tal constatação, pouco se fez para promover um *modus vivendi* em nossa civilização, que permita uma existência se não completamente harmônica, pelo menos ecologicamente equilibrada.

A crise ambiental que vivenciamos tem sua origem no advento da revolução industrial no século XVIII, Holthausen (2000). Segundo Ordonez & Quevedo (2000), a revolução industrial consistiu num conjunto de mudanças tecnológicas que levou ao surgimento da fábrica e provocou grandes modificações econômicas, políticas e sociais. Anexo a revolução industrial emergiu um novo sistema econômico, social e político, o capitalismo, que se tornou hegemônico ao longo do século XIX.

O capitalismo surgido com a revolução industrial propiciou um grande crescimento econômico e demográfico, bem como a concentração populacional nos centros urbanos, o que aliado a eficientes mecanismos de propaganda, incentivou o consumismo puro e hipertrofiado, levando parcelas significativas da população a consumir tudo o que se anuncia, sem questionar a real necessidade desse consumo. Esse modelo econômico de produção, divulgação e consumo, além de promover a concentração de renda e a exclusão social, conduz à exaustão dos recursos naturais, a destruição da biodiversidade e outros problemas ambientais. A crise ambiental não é exclusiva do sistema capitalista, estando presente também em países pretensamente socialistas, pois segundo Soffiati:

"... a presente crise ambiental revela particular singularidade quando comparada a todas as outras. Antes de tudo trata-se de uma crise antrópica, vale dizer, de uma crise derivada de atividades humanas, quer praticadas no modo de vida capitalista, quer praticadas no modo de vida do chamado socialismo."(Soffiati, 2002, p.44)

A crise ambiental que vivenciamos tem sua gênese centrada no modus vivendi de nossa civilização, a gravidade da mesma é ressaltada por Lima:

"Vivemos um momento sócio-histórico marcado por uma notável multiplicação de riscos naturais e tecnológicos e pela permanente sombra da incerteza, ambos característicos da modernidade avançada. A crise ambiental que vivenciamos mais que ecológica, é produto das contradições e das crises da razão e do progresso."(Lima, 2002, p.138)

As causas específicas da crise ambiental, segundo Lora (2002) são:

- a) O aumento exponencial da população mundial, atualmente a população do planeta Terra supera os seis bilhões de habitantes, aumentando um bilhão a cada doze anos, o que gera enorme pressão sobre o ambiente devido às necessidades de água, alimentos, transportes e outros recursos;
- b) O aumento exponencial no consumo de energia, pois o consumo anual de energia no mundo é de oito bilhões de toneladas equivalentes de petróleo, o que gera enorme demanda no consumo

de combustíveis fósseis, petróleo, carvão e gás natural, altamente poluentes e com duração estimada frente às taxas de consumo atual de 43,1 anos-petróleo, 236 anos-carvão e 64,9 anos-gás natural;

- c) A intensificação do processo de industrialização, trazendo consigo o aumento de consumo de diferentes recursos naturais, inclusive energéticos, onde a indústria é fonte de poluentes e resíduos tóxicos;
- d) O processo de urbanização, observado com maior intensidade nos países em desenvolvimento, gerando grande impacto ambiental devido, ao aumento da frota automotiva, ocupação desordenada do solo, aumento crescente nas necessidades de tratamento de água, efluentes líquidos e resíduos sólidos.

Buscar solução para a crise ambiental, passa por um repensar de toda a estrutura sócio-política, implicando num redirecionamento para um modo de vida ecologicamente sustentável. A sustentabilidade é um termo que ganhou grande popularidade, e que de forma geral significa a utilização de determinado recurso natural de tal forma que ele permaneça continuamente disponível, (Zilberman, 1997). No entanto, inúmeras vezes o termo é utilizado de modo vago, pois, para certos setores a sustentabilidade implica na garantia de que as futuras gerações terão acesso aos recursos oferecidos na atualidade pelo planeta. Para outros, a sustentabilidade implica em tipos de desenvolvimento economicamente viáveis, que não agredam o meio ambiente e sejam socialmente justos. *"Entretanto, todos concordam com a necessidade de se aprender como manter os recursos ambientais, de forma a continuarem a prover benefícios à população humana e a outras formas de vida no planeta."*(Zilberman 1997, p.9).

A indefinição do termo sustentável decorre em muito de sua operacionalização. Segundo Bell (2000), a definição mais citada de sustentabilidade e a mais difícil de operacionalizar é aquela concebida pela comissão Brundtland. Essa concebe a sustentabilidade como questão de legado, como herança para as gerações futuras, tratando da equidade baseada nas necessidades de todos, onde se

inclui a atual e as gerações futuras. Ainda segundo Bell (2000) a definição mais fácil de operacionalizar, baseia-se na perspectiva do capital econômico, natural e social, segundo essa noção, o Banco Mundial concebe que o desenvolvimento sustentável envolva a transmissão para as gerações futuras de um estoque igual e preferencialmente aumentado, do capital econômico, social e humano das sociedades contemporâneas. Reforçando tal concepção de sustentabilidade, Bell, enfatiza:

"O desenvolvimento sustentável pressupõe para ser eficaz, que as políticas ambientais devem ter eficácia social e econômica; que as políticas sociais devem ser eficazes econômica e ambientalmente; e que as políticas econômicas necessitam ter eficácia social e ambiental."(Bell, 2000, p.39)

A idéia perpassada de se estabelecer três políticas distintas: social, econômica e ambiental, talvez implique numa visão segmentada da sustentabilidade, o mais apropriado seria conceber uma política pública única para orientar o desenvolvimento sócio-econômico, onde os vieses social e ambiental estejam intrinsecamente relacionados.

No entendimento de Goldemberg (2001), o desenvolvimento sustentável deve propiciar um equilíbrio na delicada situação entre a paralisia econômica, com suas conseqüências sociais, e o desenvolvimento em si. Enfatiza que futuramente deverão ser encontradas formas de conciliar o desenvolvimento, com a minimização dos problemas ambientais, lembrando que é impossível eliminar por completo os impactos ambientais, frutos das ações antrópicas.

Os sintomas mais conhecidos e abrangentes da crise ambiental, segundo Soffiati (2002) figuram com freqüência crescente nas páginas dos jornais, dos periódicos especializados e dos livros, incorporando-se com relativa rapidez ao cotidiano do leigo e do especialista, embora exista uma grande distância entre a informação e uma mudança significativa de atitude diante das grandes questões ambientais. Assim sendo, além de informar é fundamental criar elementos educativos que levem a uma progressiva mudança de atitude individual e coletiva

em relação às questões sociais, econômicas, políticas, e ambientais, intrinsecamente relacionadas com a grande questão existencial do homem contemporâneo.

Por certo a educação não é o único caminho que aponta na direção das grandes mudanças necessárias, no entanto é o principal caminho, pois:

"As conseqüências do analfabetismo científico são muito perigosas em nossa época do que em qualquer outro período anterior. É perigoso e temerário que o cidadão médio continue a ignorar o aquecimento global, por exemplo, ou a diminuição da camada de ozônio, a poluição do ar, o lixo tóxico e radioativo, a chuva ácida, a erosão da camada superior do solo, o desflorestamento tropical, o crescimento exponencial da população..."(Sagan, apud Lora, 2002, p. V).

A promoção de projetos educativos que contemplem as questões ambientais no seio das questões sócio-econômicas, políticas e culturais passa num primeiro plano pelo entendimento de como se deu a evolução dos princípios de conservação ambiental. No intuito de compreendermos os diferentes modos através dos quais o ser humano vislumbrou a conservação do meio ambiente e pautou suas políticas conservacionistas, trataremos de analisar como se deu a e evolução nos princípios supracitados.

1.3. EVOLUÇÃO NOS PRINCÍPIOS DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL

Segundo Tomazello & Ferreira (1995), os princípios de conservação ambiental sofreram uma evolução significativa dos primórdios do século XX até o tempo presente. Tal evolução esteve relacionada intrinsecamente com a evolução do conhecimento científico e a percepção dos reflexos ambientais inerentes às ações antrópicas.

Em fins do século XIX e durante as quatro ou cinco primeiras décadas do século XX o princípio de conservação ambiental estava centrado no valor estético da natureza. O tratamento da questão ambiental passava pela criação de parques e

santuários ecológicos, visando à preservação das paisagens ambientais. A ênfase estava na proteção de amostras do ambiente natural, onde não seria permitida a ocupação humana, visando conservar intactas tais amostras do ambiente físico para o deleite das futuras gerações.

Na década de sessenta, cientistas reunidos no denominado Clube de Roma (1968), alertam para a crescente degradação ambiental associada ao crescimento desenfreado da humanidade em termos demográficos e do consumo de recursos naturais esgotáveis. No período das três décadas seguintes, o princípio de conservação ambiental passa a ser centrado no bem estar, associado à qualidade de vida, buscando o tratamento da contaminação do meio ambiente. Depois da Conferência de Estocolmo sobre Meio Ambiente em 1972, inúmeras nações começaram a estabelecer legislações ambientais e a criar e/ou fortalecer as agências de monitoração e preservação ambiental, no intuito de controlar a poluição crescente e a degradação acelerada dos recursos naturais. Conforme Reigota (1994), ao longo das décadas de setenta e oitenta, proliferam os eventos, congressos e simpósios que tratam a temática ambiental, dos quais destacam-se os congressos sobre educação ambiental de Tibilissi na Geórgia (1977) e o de Moscou na Rússia (1987).

Nos anos oitenta a preocupação ambiental está centrada no controle dos resíduos tóxicos e na conseqüente contaminação ambiental, com o objetivo precípua de se obter qualidade de vida e bem estar da humanidade.

Com os anos noventa o enfoque ambiental sofre uma evolução a partir do marco que foi a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e o Desenvolvimento, conhecida como Cúpula da Terra ou Rio 92. A partir dessa conferência generaliza-se a concepção de que os problemas ambientais ultrapassam fronteiras, exigindo uma ação conjunta de toda a humanidade.

O citado evento produz a agenda vinte um, um documento que trata as questões ambientais sob diversos aspectos, dentre os quais os aspectos sociais e econômicos, relacionando as questões ambientais com o desenvolvimento

sustentável onde o princípio da conservação ambiental está na ética. O princípio ético é considerado em sentido amplo, aplicando-se as dimensões sociais, econômicas, políticas, culturais e ambientais.

No ano de 1997 firma-se o protocolo de Kyoto no Japão, onde dentre inúmeras deliberações, busca-se a limitação das emissões de gases estufa, notadamente pelos países industrializados. Passados sete anos do encontro em Kyoto, são decepcionantes os resultados atingidos. Conforme Rodrigues (2003), os Estados Unidos mesmo sendo responsáveis pela emissão de vinte e cinco por cento do total mundial de gases poluentes, recusaram-se a ratificar o protocolo de Kyoto, alegando questões econômicas.

Constata-se deste modo que a despeito da evolução nos princípios de conservação ambiental ao longo do século XX, ainda existe muito por ser feito no campo da educação ambiental, no intuito do desenvolvimento e disseminação de uma consciência ecológica coletiva. A qual permita vislumbrar um mundo onde as questões ambientais sejam tratadas além das fronteiras nacionais, onde as mesmas sejam abordadas com o cunho social, político, econômico e cultural que lhes são peculiares, onde os governos especialmente os das nações industrializadas reflitam em ações governamentais os reais interesses da comunidade internacional.

A educação apontada como elemento essencial no tratamento das questões ambientais requer para seu planejamento e execução a compreensão de como a sociedade e em especial os educadores concebem o meio ambientes, em termos conceituais e de relações com os aspectos sócio-econômicos, políticos e culturais.

1.4. CONCEPÇÕES DE MEIO AMBIENTE

Qualquer abordagem da Educação Ambiental deve passar necessariamente por uma discussão prévia das concepções de meio ambiente. Pesquisas, notadamente no campo da Educação Ambiental revelam a existência de duas

concepções sobre o meio ambiente, a naturalista e a globalizante, o que resulta em distintas maneiras de compreensão e proposição de soluções para as questões ambientais, Moraes (2001).

A concepção majoritária denominada naturalista concebe o meio ambiente como sinônimo de natureza, excluindo as ações antrópicas, as quais são concebidas como elementos de desequilíbrio ecológico. Nessa concepção o meio ambiente, é constituído pela flora, fauna, recursos naturais e similares, deste modo o enfrentamento dos problemas ambientais passa quase que exclusivamente pela preservação da natureza.

A constatação da predominância da representação social naturalista para o meio ambiente, está baseada em inúmeros estudos, dos quais destacamos: Reigota (1995), Campos (1997) e Crespo (1997). Marcos Reigota ao estudar as definições de meio ambiente fornecidas por especialistas de diferentes áreas científicas, apontou a não existência de um consenso sobre o conceito de meio ambiente nos membros da comunidade científica. O estudo também aponta a existência de diferentes representações do meio ambiente, que variam de acordo com diferentes grupos sociais. Por exemplo, o pesquisador observa a predominância da visão naturalista nos professores do interior do estado de São Paulo. Tal visão ao veicular meio ambiente com a natureza, flora, fauna e recursos naturais e excluir o homem, é considerada reducionista. Já a visão globalizante, onde o meio ambiente não se restringe apenas à natureza, mas inclui também o homem e suas peculiaridades sociais, econômicas e científico-tecnológicas é pouco freqüente.

Em pesquisa acadêmica Campos (1997) estudou as representações sociais do meio ambiente por parte dos professores de primeiro grau, de Criciúma (SC), e as concepções de meio ambiente perpassadas em livros didáticos e diretrizes governamentais. Constatou que grande percentual dos docentes pesquisados apresentava representações naturalistas sobre o meio ambiente, assim como a maioria dos livros didáticos analisados. No tocante as diretrizes curriculares governamentais, constatou que as mesmas enfocam uma reintegração do homem

ao ambiente, a busca de uma visão holística do mundo, e a preocupação com o desenvolvimento sustentável, próprios de uma concepção de meio ambiente globalizante. Pode-se observar uma discrepância entre a concepção de meio ambiente naturalista presente na maioria dos livros didáticos analisados e nos professores pesquisados e a concepção globalizante presente nas diretrizes curriculares, o que demonstra a necessidade da elaboração de materiais didáticos centrados na concepção globalizante de meio ambiente e um trabalho de formação docente mais apurado.

Em levantamento coordenado por Crespo (1997), buscou-se obter dados sobre o que o brasileiro pensa sobre meio ambiente, desenvolvimento e sustentabilidade, constatou-se a existência de uma consciência ambiental nos grupos estudados, representativos da população brasileira. Tal consciência caracterizou-se por apresentar uma reverência quase religiosa perante a natureza, uma concepção naturalista de meio ambiente, bem como uma forte rejeição à degradação ambiental.

A predominância da visão naturalista apontada nos estudos acima citados é preocupante, pois tal representação do meio ambiente constitui uma visão de mundo fragmentada, que dissocia meio ambiente e o seu sistema de referência, o primeiro concebido como a natureza e o segundo como o conjunto de atividades humanas. Tal visão é insatisfatória, pois leva a comportamentos e abordagens das questões ambientais, caracterizados pelo imediatismo, individualismo ou corporativismo, desconsiderando o contexto histórico, as implicações sócio-econômicas, políticas, bem como os inúmeros aspectos antrópicos inerentes à crise ambiental.

As questões ambientais como o efeito estufa, a chuva ácida, a destruição da camada de ozônio, a poluição hídrica e a desertificação, segundo a ótica naturalista estão dissociadas da miséria, da fome, e do modelo de produção e consumo capitalista. A dissociação das questões ambientais dos problemas sociais e econômicos também está presente em economias socialistas, (Soffiati, 2002). Tal

dissociação mostra-se equivocada, pois todas essas questões estão interligadas, interconectadas, sofrendo interações de causa e efeito, e, portanto o enfrentamento das mesmas deve partir de uma visão globalizante, onde as questões ambientais sejam intrinsecamente abordadas dentro do contexto das atividades antrópicas.

De acordo com Angotti & Auth (2001), a questão ambiental está inserida numa problemática maior, fazendo parte das questões culturais, sociais e políticas. No entender dos autores a ampliação do conjunto de relações, constitui uma perspectiva mais global onde as questões ambientais, sociais, culturais e políticas devem ser analisadas em suas origens e conseqüências. Dispõe o autor que: "*... o entendimento de problemáticas como a ambiental tende ainda a se restringir a uma visão naturalista, quase romântica.*" (Angotti, 2001, p.21). Insiste ainda que são incipientes no âmbito escolar abordagens relacionais que contemplem uma perspectiva histórica, e as representações sociais da natureza e meio ambiente num viés globalizante.

A concepção de meio ambiente minoritária é a denominada globalizante, que concebe o meio ambiente com a inclusão da civilização humana, associando as questões ambientais com as questões sociais, políticas e econômicas, relacionando-as numa perspectiva histórica. Tal concepção constitui uma visão de mundo não fragmentada e sim integrada, pois os seres humanos constituem o sistema de referência para a definição do seu entorno ambiental, o sistema de referência (homem) é então considerado como um sub-sistema do seu meio ambiente, e assim o meio ambiente passa a conter o homem.

A visão de mundo integrada perpassada pela concepção globalizante permite uma compreensão e abordagem das questões ambientais, onde são levadas em conta as grandes questões sociais humanas. O sistema social humano que inclui suas atividades sociais, econômicas, políticas e culturais é o referencial para a definição de meio ambiente e, portanto o enfrentamento da crise ambiental deve propiciar soluções inovadoras para o progresso e equilíbrio da civilização humana. A viabilização de um novo paradigma sócio-político e econômico, bem como uma

revisão no modus vivendi de uma civilização consumista, perdulária e individualista, deve provavelmente resultar em novas formas de organização política, produção econômica, estruturação social e entorno cultural, lastreadas na solidariedade, descartando-se a exploração econômica, a alienação política, a exclusão social, a opressão política e sobretudo a destruição ambiental, Moraes (2001).

Uma vez que haja discernimento sobre a existência de duas distintas concepções de meio ambiente, e que a concepção globalizante constitui a mais adequada para referenciar uma proposta de Educação Ambiental; deve-se buscar a compreensão da educação ambiental em suas diferentes nuances, características e processo de evolução.

1.5. EDUCAÇÃO AMBIENTAL

A Educação Ambiental constitui o elemento estratégico para a formação de uma ampla consciência crítica das relações sociais e de produção econômica, que por consequência redefina a inserção do homem em nosso planeta, Loureiro (2002).

A real transformação do quadro de crise estrutural e conjuntural que a civilização humana vivencia no limiar do século XXI, passa por mudanças significativas no modo de ver e vivenciar nossas vidas. O que implica na adoção de novas formas de organização sócio-política, produção econômica, hábitos culturais, desenvolvimento científico-tecnológico e exercício da cidadania.

A cidadania em seu sentido mais restrito constitui o atributo do cidadão que no gozo de seus direitos e deveres, civis e políticos tem participação ativa na sociedade. O conceito de cidadania se origina da idéia de pertencimento a uma comunidade, na qual são estabelecidas relações que pressupõem direitos e deveres, havendo distinção entre os espaços público e privado. No espaço público, o cidadão reafirma a responsabilidade política de trabalhar pelo bem comum e participar dos

processos decisórios do interesse da sociedade como um todo, Aranha & Martins (1998).

Segundo Carvalho (1991), o discurso ecológico oficial veicula um modelo de cidadania formal, bem comportada e disciplinada, oriunda de uma concepção liberal de sociedade que preconiza a prevalência dos interesses privados e individuais sobre os públicos e coletivos. De acordo com a mesma, tal cidadania, propõe uma participação vigiada dos indivíduos, a fim de que não se altere a ordem estabelecida. Tal participação tutelada e condicionada pelas forças hegemônicas delimita e orienta a participação cidadã, constituindo uma cidadania oferecida como dádiva.

A cidadania que evocamos nesse trabalho acadêmico, por certo, não é a cidadania tutelada e outorgada pelas forças hegemônicas, é a cidadania obtida pelo livre arbítrio e construída nas relações sociais estabelecidas pelos atores sociais, por intermédio da cooperação e do conflito. Tal cidadania implica numa participação genuína dos atores sociais buscando-se alterar os padrões de distribuição de poder, riqueza, conhecimento, informação e acesso aos recursos tecnológicos e naturais. Deste modo, a cidadania além dos direitos e deveres do cidadão, implica em ações efetivas para mudar o status quo social, político, econômico e cultural.

Segundo Castro & Baeta (2002), ter a Educação Ambiental como objeto de reflexão e motivo para participação em ações em diferentes instâncias sociais, exige a garantia de pressupostos que dizem respeito aos direitos básicos da cidadania, tais como os direitos políticos e civis da liberdade de expressão, direito à organização, acesso à informação e dos direitos sociais como educação e cultura. Ainda segundo Castro:

"Conceitos abstratos como ética, política pública, sustentabilidade, estado e democracia são essenciais para entender a educação ambiental em sua complexidade. Essa compreensão exige uma participação autônoma do ator social, que requer entendimento dos fatores interligados para a apreensão da realidade e seus diversos conflitos. A construção da autonomia intelectual possibilita a transformação desses conceitos, pela ação/cooperação, em atos de cidadania."(Castro, 2002, p.106)

A escola pode através de enfoques didático-pedagógicos que favoreçam a autonomia intelectual do educando, contribuir para a construção de um indivíduo capaz de exercer sua cidadania, pressuposto básico da Educação Ambiental. O exercício da cidadania no contexto da Educação Ambiental segundo Loureiro (2002), pressupõe levar em consideração cinco aspectos para reflexão:

O primeiro aspecto consiste em evitar o uso do velho discurso de que a educação é a solução, típico do início do século XX, promovido por educadores por meio do "otimismo pedagógico" e do entusiasmo pela educação. Pois a Educação Ambiental é um dos mais importantes agentes de transformação histórica, porém não atua isoladamente.

O segundo aspecto está em definir a responsabilidade do indivíduo, deste numa comunidade, da comunidade no Estado-Nação, e deste no Planeta. Cabendo ao indivíduo sensibilizar-se e mobilizar-se para a questão ética da preservação da vida. Cabendo a sociedade buscar alternativas econômicas e tecnológicas que permitam sua sobrevivência sem a exploração destrutiva da natureza. Cabendo finalmente ao conjunto de sociedades repensar o consumo, inibir a lógica do supérfluo e da vaidade individual.

O terceiro aspecto está em associar os processos educativos formais às demais atividades sociais de luta pela qualidade de vida e sustentabilidade. Podendo se concretizar através de projetos que articulem o trabalho escolar ao trabalho comunitário, no intuito de promover o conhecimento, a reflexão e a ação concreta sobre o ambiente em que se vive.

O quarto aspecto está em adquirir a consciência de que não basta que cada um faça sua parte. Os problemas são complexos e não derivam diretamente do indivíduo. É necessário a articulação política para reestruturar uma sociedade civil popular organizada, que promova o controle social do estado no que tange a definição de políticas públicas de planejamento familiar, ocupação urbana e rural, legislação e fiscalização ambiental, programas sociais e um modelo de

desenvolvimento sócio-econômico politicamente correto, socialmente justo e ecologicamente equilibrado.

O quinto aspecto está em enfatizar o direito constitucional de cada cidadão de reivindicar no sistema judiciário seu direito a um ambiente sadio e ecologicamente equilibrado, por intermédio do Ministério Público. A legislação ambiental brasileira é ampla, no entanto apresenta brechas e entendimentos diversos, o que requer grande e intensa participação popular, respaldada em conhecimento para que seja respeitada e cumprida a legislação.

Cabe ressaltar que Loureiro enfatiza que:

"Esses cinco aspectos da reflexão sobre a construção da cidadania ecológica, cerne da prática educativa ambientalista, são essenciais para a obtenção da garantia de uma cidadania local e do senso de pertencimento a uma sociedade cujo futuro é de nossa responsabilidade por direito." (Loureiro, 2002, p.95)

A Educação Ambiental deve se visualizada e trabalhada num contexto maior, onde a concepção de meio ambiente seja a globalizante no intuito de evitar uma visão de mundo fragmentada. Um exemplo claro de como um enfoque reducionista na prática da Educação Ambiental, leva a fragmentação e pouca efetividade do processo educativo, é levantado por Layrargues (2002) ao avaliar o significado ideológico da reciclagem da lata de alumínio e suas implicações para a Educação Ambiental. Segundo o pesquisador o problema ambiental do lixo tem sido abordado em muitos programas ambientais sob uma ótica reducionista, pois desenvolve apenas a coleta seletiva do lixo, enfatizando a reciclagem. Deixando de elaborar uma reflexão crítica e abrangente sobre os valores sócio-culturais da sociedade de consumo, do consumismo, do industrialismo, do modo de produção capitalista e dos aspectos econômicos e políticos da questão do lixo. Conforme o pesquisador, essa visão reducionista está preocupada com a promoção de uma mudança comportamental sobre a técnica de disposição domiciliar do lixo, contrapondo a coleta convencional e a coleta seletiva, e não preocupada com uma reflexão sobre mudanças dos valores culturais que sustentam o estilo de produção e consumo da

sociedade moderna. Sobre os propósitos da Educação Ambiental, Layrargues com contundência levanta a indagação: *"Se a educação ambiental pode ao mesmo tempo reverter tanto a degradação ambiental como a opressão social e exploração econômica por que não fazê-lo?"* (Layrargues, 2002, p.215)

No tocante a indagação acima, convém observar que a Educação Ambiental pode contribuir para reverter a degradação ambiental e reestruturar o modus vivendi de nossa civilização. No entanto a mesma não é o único elemento capaz de tal empreendimento, pois se assim a idealizarmos, estaremos recaindo na concepção equivocada do otimismo pedagógico, próprio do início do século XX, onde se exacerbava a crença de que a educação seria a panacéia para todos os males da humanidade. Enfatizamos que a educação constitui uma condição necessária, porém não suficiente em si para solucionar os problemas anteriormente aludidos.

A afirmação elaborada por Sato reforça a reflexão do parágrafo anterior enfatizando que a responsabilidade dos cuidados ambientais extrapola as comunidades escolares, estendendo-se a toda sociedade:

"A educação ambiental não deve ser direcionada unicamente para a sensibilização nas escolas, pois não são somente crianças e jovens que manifestam cuidados ecológicos. Além disso, os conhecimentos sistemáticos e organizados em currículos não são os únicos a gerar habilidades e competências. A responsabilidade pertence a todos, pela busca da cidadania que possibilite a construção de um Brasil ecologicamente mais equilibrado e com menos desigualdades sociais." (Sato & Passos, 2002, p.249)

Em concordância com a afirmação acima, devemos observar a Educação Ambiental com um enfoque não centrado apenas no contexto escolar e curricular, devendo-se estender a práticas abrangentes que resgatem a participação cidadã da comunidade. Pois existem populações nativas que praticam um modo de vida ecologicamente mais equilibrado, e que são negligenciadas quando da coleta de subsídios para elaboração de políticas públicas regionais, embora sejam as primeiras a sofrerem os impactos ambientais e as últimas a se beneficiarem das políticas de conservação ambiental. A participação da comunidade é fundamental, respaldada por mecanismos educacionais que incentivem o exercício da cidadania visando à

manutenção de ambientes de forma sustentável. Com isto não estamos minimizando a importância do papel da escola na promoção da Educação Ambiental e sim salientando que a mesma pode e deve também se dar em outros espaços extra-escolares, tais como museus, teatros e mídia televisiva e radiofônica.

Para uma melhor compreensão dos muitos aspectos associados à Educação Ambiental, se faz necessário um entendimento de sua evolução.

1.6. EVOLUÇÃO DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL

Conforme Mayer (1998), no século XX, durante as décadas de cinquenta e sessenta, o meio ambiente servia como instrumento pedagógico para a participação ativa do aluno, na forma de excursões educativas. Na década de setenta, devido ao reconhecimento dado à ecologia, as ciências naturais incorporam elementos de educação ambiental em sua estrutura curricular, notadamente a biologia. No final da década de setenta e nos anos oitenta, devido aos desastres ecológicos e a descoberta dos riscos ambientais inerentes a muitas tecnologias e sistemas de produção econômica, são inseridos nos livros didáticos, noções sobre a importância dos recursos naturais e dos prejuízos causados pela poluição.

De acordo com Lucas (1980/81), os processos educativos que foram observados centram-se na educação sobre o ambiente, no ambiente e para o ambiente.

No processo educativo sobre o ambiente, as atividades educativas objetivam fornecer informações sobre o ambiente, o enfoque é puramente cognitivo, buscando apenas a compreensão cognitiva das interações entre os seres humanos e seu meio. Nesse processo educativo a premissa é a de que os problemas ambientais decorrem da falta de conhecimento de como evitá-los, e que a solução de tais problemas está em conhecê-los. No entanto os países centrais, a despeito de seu grande desenvolvimento científico-tecnológico e educacional, apresentam graves problemas

ambientais, para os quais, as soluções propostas passam quando muito por ações paliativas, como relocação de plantas industriais altamente poluentes para países periféricos.

No processo educativo no ambiente, o meio físico é utilizado como recurso didático, como em estudos de campo para análise de desmatamentos, processos de erosão, deposições inadequadas de lixo e similares. Nesse processo educativo a tônica está na aprendizagem por vivência, reforçando-se o lado emotivo, pois o mesmo seria um elemento suficientemente persuasivo para promover mudanças comportamentais nos educandos. Na educação no ambiente, é freqüente o enfoque conservacionista, no qual existe a crença de que a natureza pode viver em equilíbrio desde que cesse as agressões inerentes à ação humana. Uma vez que não se pode isolar a natureza da ação antrópica, pois a sobrevivência do homem passa pela exploração dos recursos naturais, presentes em diversos ecossistemas, pode-se deduzir que o enfoque puramente conservacionista é utópico e, portanto inapropriado. A resposta para as questões ambientais passa não pelo conservacionismo puro, mas por um repensar nas relações de produção, consumo e distribuição das riquezas, dentro de uma ótica socialmente justa, politicamente correta e ambientalmente saudável.

No processo educativo para o ambiente, o objetivo está na procura de soluções dos problemas ambientais, via o lema "atuar localmente e pensar globalmente". Nesse processo educativo, busca-se como meta maior conseguir mudanças de atitudes acompanhadas por mudanças de hábitos e comportamentos no indivíduo e na coletividade.

Segundo Mayer (1998) atualmente a Educação Ambiental proposta por instituições de ensino e grupos ambientais, buscam enfatizar um triplo enfoque para a educação ambiental, onde os processos educativos sobre, no e para o ambiente estejam simultaneamente presentes. Nesse enfoque complexo de educação ambiental, a educação passa pelos valores, emoções, conhecimentos, interpretações e compreensões dos fenômenos ambientais, buscando-se também mudanças de

atitude, hábitos e comportamentos. No tocante as atitudes, a mudança está na predisposição de encarar os problemas ambientais sob uma ótica globalizante, no tocante ao comportamento, a mudança está não só na predisposição, mas na mudança de fato o que implica em mudanças de hábitos e costumes de consumo, lazer e similares.

Segundo Lago (1991) os enfoques ecológicos conquistaram nos anos oitenta espaços extraordinariamente ampliados nos veículos de comunicação da imprensa escrita, falada e televisada, o que de certa forma favoreceu uma grande evolução da Educação Ambiental no Brasil na década de noventa, de tal modo que a área de meio ambiente foi incluída como um dos temas transversais nos Parâmetros Curriculares Nacionais da Educação - PCNs, centrando-se o trabalho pedagógico "*no desenvolvimento de atitudes e posturas éticas e no domínio de procedimentos mais do que na aprendizagem de conceitos.*" (PCNs,1998, p.201).

Os PCNs colocam como um dos objetivos almejados na formação dos educandos, o de que os mesmos sejam capazes de se perceberem integrantes do meio ambiente e agentes de transformação desse ambiente, tendo a capacidade de contribuir para sua melhoria. Reconhece-se nos PCNs que as disciplinas tradicionais que representam as áreas do saber científico, não são mais suficientes para responder os desafios impostos pela modernidade como a crise socioambiental. Nos PCNs são apresentados como indicativo de proposta de solução, um conjunto de temas, denominado de transversais, que perpassam todo o conjunto de disciplinas, buscando conferir uma certa organicidade curricular com respeito a um determinado assunto, como a crise socioambiental, Carvalho (2003).

O meio ambiente é um dos seis temas transversais propostos pelos PCNs, onde a questão ambiental é tratada como um grupo de temas que não se relacionam apenas com a proteção da vida no planeta, mas incluem a melhoria do meio ambiente e da qualidade de vida das diferentes comunidades. Assim sendo a distribuição desigual de renda, a injustiça social, a exclusão tecnológica, o individualismo crescente e os desafios da pluralidade cultural que atualmente são inerentes ao mundo globalizado, também

devem ser abordados como questões ambientais. Uma vez que nos PCNs o tema meio ambiente está relacionado não apenas com o tema vida e ambiente, mas também com outros fatores de interesse social, pode-se vislumbrar nesses a natureza interdisciplinar da educação ambiental, Travassos (2004).

Para Dias (1992) a educação ambiental deve apresentar um enfoque interdisciplinar orientado para a resolução dos problemas concretos do ambiente, através da participação ativa e responsável do indivíduo e da comunidade. Corroborando tal concepção, Oaigen ressalta:

"A educação ambiental constitui-se em um conjunto de atividades práticas ambientais, voltadas para a busca de solução aos problemas concretos do ambiente, desenvolvendo-o através de uma base interdisciplinar e com visão transversal, conforme sugere os Parâmetros Curriculares Nacionais, exigindo a participação ativa e responsável de cada indivíduo da comunidade." (Oaigen, 2001, p.88)

No entendimento de Lef (2000), a questão ambiental com sua complexidade, e a interdisciplinaridade emergem nas últimas três décadas do século XX, como problemáticas contemporâneas, apresentando-se como sintomas de uma crise de civilização, em virtude do fracionamento do conhecimento, da degradação ambiental, caracterizados pelo logocentrismo da ciência moderna e por uma visão tecnocrática de mundo guiado pelos ditames econômicos do livre mercado. Ainda segundo o autor a problemática ambiental constitui o campo singular das inter-relações sociedade-natureza, o que exige uma abordagem holística e um método interdisciplinar que viabilizem a integração das ciências da natureza e da sociedade, da economia, da tecnologia e da cultura.

A educação ambiental constitui uma área de conhecimento eminentemente interdisciplinar em virtude dos inúmeros fatores interconectados e que são fundamentais ao diagnóstico, terapêutica e prognóstico das questões ambientais, Castro (2002). A educação ambiental, historicamente, abrange preocupações de setores sociais, com implicações conceituais, políticas e éticas, no entanto por estar em construção, ocasiona *"... diversas confusões conceituais, consequência esperada em um campo teórico recente."* (Castro, 2002, p.99).

A despeito da educação ambiental ser um campo de estudos em construção, e apresentar confusões conceituais é consenso que uma abordagem interdisciplinar favoreça uma compreensão integral e não fragmentada das questões ambientais, o que pode conduzir a prática da cidadania ambiental, anteriormente enfatizada.

De acordo com Carvalho (2004), a interdisciplinaridade não objetiva a unificação dos saberes, tenciona a construção de um local de mediação entre conhecimentos e articulação de saberes, no qual as disciplinas em coordenação e cooperação mútua, objetivam a elaboração de um marco conceitual e metodológico comum para poder compreender realidades complexas. A autora enfatiza que o objetivo da interdisciplinaridade não está na unificação das disciplinas, mas em estabelecer conexões entre elas, buscando, estabelecer novos referenciais conceituais e metodológicos consensuais, bem como promover a troca entre os conhecimentos disciplinares e o diálogo dos saberes especializados com os saberes não científicos.

Segundo Pereira (1991) a interdisciplinaridade pressupõe a interação e não simplesmente a integração de disciplinas científicas, de seus conceitos e diretrizes, de sua metodologia, de seus procedimentos, de seus dados e da sua organização de ensino. A abordagem interdisciplinar para a condução da educação ambiental no contexto escolar, não implica o abandono da estrutura curricular centrada nas disciplinas, nem tampouco o desenvolvimento de projetos educativos conduzidos pela simples justaposição de disciplinas, onde um problema ambiental é estudado por várias disciplinas e na conclusão do projeto se faz uma síntese das avaliações disciplinares individuais.

A abordagem interdisciplinar passa por projetos educativos, onde em sua análise dos problemas ambientais sejam utilizados não só os conhecimentos e técnicas de cada disciplina, mas sobretudo o modo de ver, diagnosticar e propor soluções próprias de cada área do conhecimento. Deste modo os educandos participantes do projeto educativo, poderão tecer relações conceituais sobre as diferentes áreas do conhecimento humano, avaliando a problemática ambiental num contexto histórico, geopolítico, geoeconômico, científico-tecnológico e cultural.

A qualidade de vida no planeta sofre rápida degradação pelo comprometimento nos ambientes físicos e ecológicos, mas também pelo comprometimento das condições sociais, econômicas e políticas, deste modo à questão ambiental não pode ser tratada apenas no âmbito de cada disciplina, estando essa isolada de outros fatores, Sato (2003). A autora ressalta que a educação ambiental é eminentemente transdisciplinar, devendo permear todas as disciplinas do currículo escolar.

O contexto colocado acima e as questões levantadas no primeiro capítulo nos levaram a perceber que as proposições para a Educação Ambiental estão muito próximas do objeto do enfoque que se tornou conhecido como estudos CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade). Sendo assim, vamos defini-lo como base para nossa proposição e, para uma melhor compreensão, destacaremos a seguir os pontos mais relevantes sobre o mesmo.

CAPÍTULO 2 - ESTUDOS CTS

2.1. APRESENTAÇÃO

No presente capítulo, buscamos apresentar pontos relevantes dos estudos CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade), tendo em vista que nessa dissertação, os elementos para uma proposta de Educação Ambiental focada sobre o tema poluição nuclear tem como eixo integrador, os estudos que abordam o trinômio ciência, tecnologia e sociedade.

No delineamento desse capítulo, objetivamos num primeiro plano apresentar o contexto no qual se insere a relação entre ciência, tecnologia e sociedade. Num segundo plano abordamos os estudos CTS, descrevendo suas origens, vertentes, objetivos e elementos curriculares. Num terceiro plano justificamos nossa opção pelo enfoque CTS, como uma alternativa consistente para uma abordagem de Educação Ambiental que viabilize o tratamento das questões ambientais, numa perspectiva globalizante, justificando também, o emprego do tema “poluição nuclear” como substrato programático.

2.2. CONTEXTO: SOCIEDADE, CIÊNCIA & TECNOLOGIA

O Homo sapiens é por natureza um ser gregário, dado sua característica inata de consorciar-se com semelhantes para o enfrentamento dos perigos e desafios contrapostos a sua sobrevivência e evolução, Moraes (1993), Pedro (1995), Arruda (1996). Defini-lo como um ser social, como o fez Aristóteles é reconhecer o apanágio humano de estabelecer relações interpessoais num grupo hominídeo, através das quais

o homem adquire os atributos que o levam ao progresso, evolução e domínio dos elementos naturais. De acordo com Moraes:

"O homem tornou-se capaz de compreender e controlar a natureza e através do trabalho, transformá-la em favor de sua sobrevivência. Vivendo socialmente, isto é, relacionando-se com o próprio homem, ele acumula, troca e reproduz conhecimentos através do tempo, tornando esse controle mais eficaz e produtivo." (Moraes, 1993, p.3).

Sob o ponto de vista antropológico desde os primeiros grupos sociais de natureza tribal, a comunhão social tem permitido ao homem, o apuro da linguagem, da organização sócio-cultural e do aprimoramento técnico. Este último constitui uma das mais contundentes características da estrutura das sociedades humanas. Deste modo, o elemento técnico-científico constitui a "pedra angular" para a evolução dos distintos tipos de sociedade.

Como anteriormente discutido é impossível dissociar a técnica da existência humana uma vez que a civilização tem como base para o seu progresso, o desenvolvimento da linguagem, da organização sócio-cultural e da manipulação técnica, que apurou seu domínio sobre muitos elementos da natureza. O Homo sapiens talvez possa ser considerado também como um Homo faber, dado sua capacidade inata e ou adquirida de produzir artefatos técnicos e desenvolver estruturas sistêmicas de produção tecnológica.

Existe uma distinção entre técnica e tecnologia, a primeira refere-se ao conjunto de habilidades sem respaldo de conceitos ou paradigmas científicos, a segunda fundamenta sua ação construtiva e investigativa num conceitual científico, tratando-se de um conhecimento codificado. Um exemplo desta distinção encontra-se no procedimento tradicional de fabricação de laticínios e vinhos, o qual constitui o domínio técnico, já a lapidação desses processos por meio da pesquisa da bioquímica das fermentações, constitui a tecnologia, Palácios (2001).

A tecnologia não pode mais ser considerada apenas como ciência aplicada, embora utilize conceitos e procedimentos da ciência, a tecnologia e a ciência são duas subculturas simetricamente interdependentes, Bazzo(1998). Inúmeros avanços científicos decorreram de trabalhos tecnológicos, deste modo nem sempre é o

conhecimento científico que serve de fonte para o desenvolvimento tecnológico, muitas vezes são necessidade e disponibilidades técnicas que influem decisivamente no avanço científico, como bem afirma Garcia:

"Necessidades e disponibilidades técnicas selecionadas por interesses particulares tem influenciado poderosamente no desenvolvimento de programas de investigação científica, promovendo determinados programas de investigação e bloqueado outros." (Garcia, 1996, p.129)

A tecnologia é produto do conhecimento técnico-científico, mas também de valores, expectativas e influências sócio-econômicas e políticas, portanto, não é algo neutro, em sua gênese, desenvolvimento e aplicação. Segundo Garcia:

"Fazer tecnologia é, sem dúvida, fazer política e, posto que a política é um assunto de interesse geral, deveríamos ter a oportunidade de decidir que tipo de tecnologia desejamos." (Garcia, 1996, p.132)

Garcia concebe a tecnologia como um complexo interativo de formas de organização social com implicações características na produção e uso de artefatos, assim como na gestão de recursos. Em sua concepção avanços tecnológicos podem produzir ajustes nos aspectos culturais e organizacionais, do mesmo modo que inovações na organização podem conduzir a mudanças tecnológicas e culturais. Deste modo o binômio (ciência & tecnologia) não constitui algo neutro, sendo que um exemplo dessa não neutralidade está evidenciado na indústria automobilística. É bem sabido que o transporte ferroviário notadamente de propulsão elétrica, produz significativamente menos poluentes, menor impacto ambiental na construção e manutenção de ferrovias e sistemas de metrô, bem como transporta uma tonelagem carga / passageiro muito maior que o transporte rodoviário, Angoti & Auth (2001), Ludd (2004).

No entanto mesmo em países centrais com boa malha ferroviária, a indústria automotiva e o entorno da infra-estrutura rodoviária segue em franca expansão. Tal expansão decorre de apelos publicitários próprios de uma concepção de desenvolvimento econômico não auto-sustentável que prioriza o lucro e a expansão inexorável do mercado consumidor, onde a tecnologia não se adapta as reais necessidades humanas e sim o homem é que se adapta a tecnologia, Postman (1994).

Não é possível negar o impacto da tecnologia na estrutura sócio-econômica, na crise ambiental, na distribuição do poder geopolítico e, sobretudo no modus vivendi de uma civilização ansiosa, movida por um consumismo predatório. Deste modo não é plausível conceber a tecnologia como algo neutro e apolítico, pois como afirma Garcia:

"Se vemos a tecnologia não só como resultado, mas também como um processo que inclui fatores sociais, psicológicos, econômicos e políticos onde os valores e interesses humanos estão constantemente presentes, a tese de uma tecnologia autônoma perde sua base." (Garcia, 1996, p.134)

No panorama do mundo atual, as tecnologias da informação e comunicação e o progresso científico expandem em muito as possibilidades do progresso humano, onde o fluxo principal é o da informação e não o da energia e matéria. No entanto nessa aldeia global, o progresso humano está acompanhado de inúmeras características problemáticas e preocupantes, dada a capacidade do poder técnico-científico de modificar acentuada e caoticamente as relações sócio-culturais, a concentração de riquezas e as condições ambientais.

Constata-se uma progressiva perda da identidade política, cultural e territorial, frente às imposições econômicas, culturais e políticas das culturas e sociedades hegemônicas. Tal perda é acompanhada de uma diminuição acentuada no poder do cidadão em definir os rumos econômicos e políticos de seu país, frente à influência hegemônica dos países centrais, empresas transnacionais e do mercado financeiro global sobre os governos, parlamentos e economias dos países periféricos como o Brasil, Palácios (2001), Auler (2001).

Nesse contexto também evolui um crescente desprestígio da política ou dos políticos, pois como Palácios coloca:

"Nesta nova realidade globalizada são poucos os atores quem podem influenciar na marcha da realidade sóciopolítica só certos países, algumas grandes multinacionais ou alguns organismos internacionais." (Palácios, 2001, p.110)

Diante de tais perturbadoras características associadas à expansão da sociedade globalizada intrinsecamente ligada ao poder técnico-científico de poucos atores, constata-se a necessidade da busca de um caminho que passe pela concepção de uma grande democracia global. No entanto o exercício da democracia apenas no âmbito das

atividades dos poderes executivo e legislativo, constitui insuficiente uso da mesma, é necessário estabelecer um princípio de responsabilidade que seja entendido como um princípio ético, para com as futuras gerações, (Jonas, 1995).

Para tanto se faz necessário mobilizar a sociedade devidamente educada, sobretudo, no viés técnico-científico, para que a mesma crie, difunda e efetivamente implemente uma concepção de ética que permeie toda a estrutura da sociedade globalizada.

Talvez quando a referida ética tornar-se elemento orgânico nas relações políticas, culturais e sócio-econômicas das diferentes nações e cidadãos que formam a sociedade global, poder-se-á vislumbrar um mundo, ecologicamente equilibrado, politicamente correto, socialmente justo; onde ciência e tecnologia estejam a serviço da qualidade de vida e da liberdade do espírito humano. Acreditamos que no campo da educação podemos vislumbrar o que almejamos, através dos estudos CTS, para tanto analisaremos suas origens e vertentes, bem como seus objetivos e elementos curriculares.

2.3. ESTUDOS CTS

2.3.1. ORIGENS E VERTENTES DOS ESTUDOS CTS

A revolução industrial traz em seu bojo a crença de que investimentos em ciência e tecnologia implicariam conseqüentemente em aumento da produtividade agroindustrial e melhoria no bem estar social, Bazzo (1998).

Tal crença ganha impulso, logo após o término da Segunda Guerra Mundial (1939-1945), traduzindo-se numa concepção sobre ciência e tecnologia que permeia deste então, as políticas públicas de gestão econômica, ambiental, social, educacional e de fomento a pesquisa técnico-científica. (Gordillo, 2001; Garcia, 1996; Palácios, 2001). Segundo Santos:

"As sociedades modernas passaram a confiar na ciência e na tecnologia como se confia em uma divindade. A lógica do comportamento humano passou a ser a lógica da eficácia tecnológica e suas razões passaram a ser as da ciência." (Santos, 2000, p.133)

Tal concepção tradicional de ciência e tecnologia vislumbra um modelo linear, que parte do pressuposto de que um maior investimento e desenvolvimento técnico-científico gerarão por consequência mais riqueza e crescimento no bem estar social, Palácios (2001), Bazzo (1998).

Essa concepção de ciência estendida à tecnologia, devido a euforia provocada pelas conquistas técnicas nas décadas de cinquenta e sessenta do século XX, e ao atrelamento de considerável parcela do quadro de cientistas e tecnólogos americanos, europeus e soviéticos ao complexo industrial militar durante a guerra fria, tornou-se o esteio para a definição oficial das políticas públicas, Garcia (1996), Palácios (2001), Gordillo (2001).

São exemplos emblemáticos dessa época de euforia pela ciência e tecnologia, o primeiro computador eletrônico (ENIAC 1946), os primeiros transplantes de rins (1950), o submarino nuclear Nautilus (1954), e a invenção da pílula anticoncepcional (1955).

A despeito das grandes conquistas e realizações atribuídas à ciência e a tecnologia, começa a emergir na década de sessenta do século XX, uma postura crítica em relação à concepção hegemônica de ciência e tecnologia. Isto se deve a constatação de inúmeros problemas e desastres decorrentes do uso irrefletido do saber técnico-científico, próprio de uma visão de mundo onde o progresso é colocado a frente da qualidade de vida, Garcia (1996), Palácios (2001), Gordillo(2001), Bazzo (1998). Dos citados problemas e desastres ressaltam-se:

- O acidente na usina nuclear de Windscale na Inglaterra em 1957, o que deu início as discussões sobre a periculosidade inerente as centrais nucleares.

- A proibição da Talidomida depois de causar mais de dois mil e quinhentos defeitos congênitos em 1961.

- A constatação do impacto ambiental do pesticida DDT, o que segundo Garcia (1996) desencadeou o movimento ambientalista.

- O afundamento do moderno submarino nuclear USS Thresher em 1963, seguido pelo afundamento do submarino nuclear USS Scorpion em 1968.

-A queda de um bombardeiro B-52 com quatro bombas de hidrogênio perto de Palomares na Espanha em 1966.

No âmbito desse quadro estão presentes os polêmicos embates sociais e políticos pertinentes a Guerra do Vietnam, a segregação racial nos Estados Unidos, e a discriminação feminina. Nesse contexto surgem e proliferam movimentos sociais de contestação como os movimentos ambientalistas, pacifista, e de direitos civis, Palácios (2001); também se percebe um questionamento sobre o papel e o controle da ciência o que Cruz descreve:

"Os movimentos contraculturais, a favor da tecnologia alternativa e as diversas correntes ecologistas e pacifistas, são apontadas por Gonzáles García, López Cerezo e Luján López (1996), como alguns dos antecedentes do interesse no cenário americano por estudos das conseqüências sociais da inovação tecnológica e da defesa de maior controle social sobre a mesma." (Cruz, 2001, p.16).

No âmbito social e político das décadas de sessenta e setenta do século XX, despontam os estudos CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade), ou estudos sociais da ciência e da tecnologia, refletindo no viés educacional, uma nova concepção de ciência e tecnologia, bem como de suas relações com a sociedade, Palácios (2001), Gordillo(2001), Garcia(1996).

No entendimento de Garcia:

"Os estudos CTS constituem a resposta por parte da comunidade acadêmica a crescente insatisfação com a concepção tradicional de ciência e tecnologia, aos problemas políticos e econômicos relacionados com o desenvolvimento científico-tecnológico, e aos movimentos sociais de protesto que surgiram nos anos sessenta e setenta. A reação acadêmica que terminou com o reinado do empirismo lógico na filosofia da ciência converge nos estudos CTS com a reação social de crítica ao cientificismo e a tecnocracia." (Garcia, 1996, p.66)

Os estudos CTS surgem no cenário acadêmico e educacional dos países centrais, notadamente Estados Unidos e Inglaterra nas décadas de sessenta e setenta. Observa Cruz (2001) que a despeito de várias iniciativas no âmbito da educação científica, o CTS

só começou a se firmar no cenário educacional norte-americano a partir do início dos anos oitenta, isto se deve a dois fatos relevantes da década de setenta: O primeiro relaciona-se ao elevado grau de insatisfação com relação ao ensino de ciências e o segundo estava vinculado ao anseio acadêmico por reformas no ensino de ciências. Esses fatos foram levantados com contundência em 1981 com o "Project Syntesis", segundo Cruz(2001), tal projeto visava avaliar o ensino de ciências nos EUA, tendo evidenciado que a ciência ensinada nos anos setenta não atendia as três justificativas para inclusão das ciências no currículo das escolas para crianças de dez a treze anos. As citadas justificativas relacionavam ciência para a necessidade pessoal, para resolver questões sociais e para ajudar na escolha da carreira profissional. Assim sendo a conclusão do relatório apontava na direção dos estudos CTS como solução para o ensino de ciências.

Ao longo das décadas de oitenta e noventa inúmeras iniciativas na área CTS surgiram, assumindo grande extensão e complexidade, de tal forma que o enfoque CTS espalhou-se na educação americana principalmente no ensino médio e fundamental, conforme Cruz & Zylbersztajn (2001) atesta-se que o "*... CTS pode ser considerado um novo movimento de reforma curricular.*" (Cruz & Zylbersztajn, 2001,p.181)

Na Inglaterra os estudos CTS estão vinculados aos movimentos sociais de reflexão sobre as conseqüências do emprego do saber científico e tecnológico, no que tange a tecnologia bélica, a degradação ambiental, bem como as discussões no âmbito curricular inglês, (Cruz, 2001). Nos anos setenta os debates sobre os fatores sociais e culturais da educação, bem como a procura por esclarecimentos sobre implicações e conseqüências do desenvolvimento técnico-científico, serviram de esteio para o surgimento e evolução dos estudos CTS no cenário inglês.

No Brasil os currículos de ciências começaram a incorporar timidamente uma visão de ciência contextualizada nos aspectos social, político e econômico somente nos anos setenta. No entanto só nos anos oitenta, o ensino de ciências começa a sofrer uma renovação orientada no sentido de avaliar as implicações sociais do desenvolvimento científico e tecnológico, Krasilchik (1987). Sendo a partir da década de

noventa, que emergem em profusão trabalhos acadêmicos e iniciativas que visam elaborar o conceito de alfabetização científica e tecnológica, Leal & Gouvêa (2000).

Os estudos acadêmicos sobre o movimento CTS permitem distinguir duas vertentes ou tradições, nomeadas como as tradições americana e européia, Gordillo (2001), Garcia (1996), Palácios (2001), Cruz(2001^a), Bazzo (1996).

De acordo com as publicações acima citadas existem características singulares dos estudos CTS quer na tradição americana, quer na tradição européia. No entanto ambas coincidem ao destacar a dimensão social e prática da ciência e da tecnologia, estando em oposição à visão essencialista que considera a ciência uma forma autônoma de conhecimento e concebe a tecnologia como ciência aplicada.

A tradição européia dos estudos CTS é assim denominada por ter sua origem em universidades européias, caracterizando-se por centrar atenção na ciência e em segundo plano na tecnologia. Tendo um caráter teórico e descritivo assentado numa fundamentação conceitual cujo marco explicativo encontra-se nas ciências sociais, especialmente a sociologia, psicologia e antropologia. Na tradição européia, a ênfase dos estudos CTS encontra-se na busca do entendimento dos fatores sociais que antecedem os desenvolvimentos técnico-científicos.

A tradição americana dos estudos CTS tem sua origem administrativa e acadêmica nos Estados Unidos da América, caracterizando-se por centrar atenção na tecnologia e em segundo plano na ciência. Tendo um caráter prático e valorativo assentado num marco de avaliação ética e reflexão educativa, especialmente sobre a democratização dos processos de tomada de decisões nas políticas tecnológicas e ambientais.

Na tradição americana a ênfase dos estudos CTS encontra-se na busca do entendimento das conseqüências sociais das inovações tecnológicas, bem como das implicações sobre a vida dos cidadãos e instituições sociais, culturais e políticas. No enfoque CTS da tradição americana a tecnologia é entendida como produto, detentor da capacidade de influenciar as estruturas e dinâmicas sociais, ao passo que a ciência é

estudada posteriormente como um elemento subordinado ao estudo do desenvolvimento tecnológico.

2.3.2. OBJETIVOS E ELEMENTOS CURRICULARES

O ensino CTS diferencia-se do ensino clássico, segundo Santos & Schnetzler (2000), por apresentar uma organização conceitual centrada em temas sociais, pelo desenvolvimento de atitudes de julgamento e por uma concepção de ciência voltada para o interesse social, visando compreender as implicações sociais do conhecimento científico.

No ensino CTS o estudo da natureza, da ciência, da tecnologia, da sociedade e de suas inter-relações, é realizado de tal modo que o educando compreenda a interdependência de tais componentes sob uma perspectiva social. Tais considerações conforme Santos & Schnetzler (2000), evidenciam que os cursos CTS são organizados numa abordagem interdisciplinar de ensino de ciências, ao contrário dos cursos convencionais de ciências, estruturados essencialmente na transmissão de conceitos científicos.

Muitos educadores dos diferentes níveis de ensino passam em número crescente a considerar o que Arroyo esclarece:

"Na área do ensino de ciências,... o que aí acontece é inseparável dos processos sociais e políticos da produção-reprodução, apropriação-uso da ciência e das técnicas, tanto nos processos gerais como nas especificidades de nossa formação social."(Arroyo, 1998, p.3)

A perspectiva da educação científica dentro da ótica CTS está em internalizar o que Morais coloca:

"... não vamos aceitar a afirmação ingênua de que o próprio desenvolvimento da ciência e tecnologia deverá trazer soluções para os nossos impasses, pois

segundo entendemos e já ficou dito, as grandes questões da era científico-tecnológica são de natureza filosófica, concernem a toda uma transformação de mundividência.” (Morais, 1981, p.172)

A maioria dos artigos revisados no estudo realizado por Santos & Mortimer(2000) vinculam o ensino CTS aos direitos do cidadão e sua participação na sociedade democrática. Como ressalta Santos & Mortimer:

"Os trabalhos curriculares em CTS, surgiram assim, como decorrência da necessidade de formar o cidadão em ciência e tecnologia, o que não vinha sendo alcançado adequadamente pelo ensino convencional de ciências.” (Santos & Mortimer, 2000, p.137)

Deste modo a proposta curricular CTS corresponderia a integração entre educação científica, tecnológica e social, em que os conteúdos de ciência e tecnologia são estudados no contexto de seus aspectos históricos, éticos, políticos e sócio-econômicos.

Divisa-se dois grandes objetivos gerais do ensino CTS, Santos & Schenetzler (2000), o primeiro diz respeito à aquisição e desenvolvimento da capacidade do cidadão em tomar decisões notadamente no tocante a sua participação democrática na definição de políticas públicas que envolvam ciência e tecnologia. O segundo objetivo está vinculado ao desenvolvimento da compreensão do educando em filosofia e história da ciência, para que o mesmo compreenda a natureza e o papel da ciência e tecnologia, sendo capaz de reconhecer as potencialidades e limitações do conhecimento técnico-científico.

A estrutura curricular centrada no viés CTS, é apresentada por Mckavanagh e Maher apud Santos & Schenetzler (2000), como sendo pautada em nove aspectos, sendo os mesmos relacionados as discussões que busquem esclarecimentos sobre:

- 1- Natureza da ciência.
- 2- Natureza da tecnologia
- 3- Natureza da sociedade.
- 4- Efeito da ciência sobre a tecnologia.

5- Efeito da tecnologia sobre a sociedade.

6- Efeito da sociedade sobre a ciência.

7- Efeito da ciência sobre a sociedade.

8- Efeito da sociedade sobre a tecnologia.

9- Efeito da tecnologia sobre a ciência.

Para Yager e McCormack (1989) o grande diferencial entre os cursos CTS e aqueles que utilizam a ciência e tecnologia apenas como elemento motivador, está no fato dos cursos CTS enfatizarem as inter-relações entre sociedade, tecnologia e ciência, o que divisamos nos aspectos de quatro a nove acima relacionados. Reforçando tal diferenciação Santos & Mortimer (2000) afirmam que não podemos confundir com o ensino CTS o ensino do cotidiano, que se limita, por exemplo, a citar as aplicações dos produtos químicos ou descrever os processos físicos envolvidos no funcionamento de artefatos eletrônicos.

O ensino centrado apenas no cotidiano é puramente enciclopédico, típico de uma cultura de almanaque, constituindo um subterfúgio, por introduzir algumas aplicações práticas que disfarçam um ensino puramente conceitual e abstrato que deixa ao largo as prementes discussões sobre as implicações sociais, políticas, e econômicas do saber técnico-científico.

Concluem Santos & Mortimer que um currículo ou abordagem educativa CTS não trata apenas de preparar o cidadão para lidar com ciência e tecnologia e suas aplicações. Embora tais conhecimentos sejam importantes, a educação não pode limitar-se a tão somente a isso, pois contribuiria para:

"...manter o processo de dominação do homem pelos ideais do lucro a qualquer preço, não contribuindo para a busca de um desenvolvimento sustentável."
(Santos & Mortimer, 2000, p.142)

2.4. ENFOQUE CTS E EDUCAÇÃO AMBIENTAL

Com o advento da revolução industrial, e notadamente ao longo do século XX a ciência e a tecnologia têm influenciado o cotidiano humano de modo amplo e contundente. O que constitui imperiosa necessidade de se promover uma educação técnico-científica que aborde objetivamente tal influência, enfocando as conseqüências sociais, ambientais e político-econômicas do uso do conhecimento científico e tecnológico, Garcia et al (1996).

Tal educação técnico-científica, instrumentaliza o educando para a compreensão, reflexão e ação prática no que concerne aos desdobramentos da ciência e tecnologia na sociedade e ambiente.

Essa concepção de educação tornou-se conhecida como o enfoque CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade). Em países europeus e nos Estados Unidos tal enfoque remonta aos anos setenta, tendo se intensificado nas décadas de oitenta e noventa do século XX.

O enfoque educacional CTS enseja o que Krasilchik coloca:

"Além de propiciar conhecimentos para compreender os fenômenos da natureza, as disciplinas científicas devem desenvolver a capacidade dos alunos para assumirem posições face a problemas...e agirem no sentido de resolvê-los.... Um debate sobre as implicações sociais do desenvolvimento científico e tecnológico envolve tanto aspectos que dependem de conhecimentos factuais e técnicos como posições fundamentadas por convicções políticas, éticas, religiosas, etc."(Krasilchik, 1985, p.8)

Os efeitos da ciência e tecnologia nas sociedades são evidenciados conforme o International Newsletter on Chemical Education (1986, número 26), quando se observa que a educação científica deve conferir ao educando conhecimentos e capacidade de reflexão para avaliar:

- a) Qualidade do meio ambiente frente ao uso de tecnologias;

- b) Utilização dos recursos naturais no que concerne à prospecção, exploração e conservação dos mesmos;
- c) Efeitos do desenvolvimento tecnológico na sociedade, economia, política e ambiente;
- d) Conhecimento acadêmico das ciências no que tange ao desenvolvimento da ciência e suas aplicações;
- e) Oportunidade para a carreira profissional, bem como o direito de decisões em relação às conseqüências sócio-ambientais do emprego de ciência e tecnologia na sociedade.

No Brasil o enfoque CTS começa a se fazer sentir num primeiro momento nas Universidades no final da década de oitenta e notadamente nos anos noventa. Embora tal enfoque ainda não seja prática comum no cotidiano da educação no ensino fundamental e médio, reformas curriculares e novas abordagens nos livros didáticos de ciências, física, química, e biologia, têm demonstrado uma maior preocupação com a contextualização ambiental, econômica, e tecnológica do conhecimento científico. O que se encontra indicado no PCN+ Ensino Médio (2002), onde se observa que o ensino médio deve dar continuidade à perspectiva educacional do ensino fundamental que busca a prática da cidadania e a visão interdisciplinar através do ensino de ciências. Bem como a ênfase de que o aluno deve estabelecer relações entre necessidades sociais, evolução de tecnologias e degradação ambiental;

Ensinar através da ciência como o que propõe o ensino CTS difere de ensinar para a ciência. O primeiro refere-se a preparação de cidadãos, a partir do conhecimento mais amplo da ciência e de suas implicações para com a vida do indivíduo. Já o ensino para a ciência refere-se a formação do especialista em ciência, Santos & Schnetzler (2000)

Os objetivos dos estudos CTS, acima relacionados vem ao encontro da concepção de ciência e educação para a cidadania, preconizada por Santos e Schnetzler:

" Enquanto nos limitarmos a uma educação científica, pura e neutra, desvinculada dos aspectos sociais, a nossa contribuição será muito pouca

para reverter o atual quadro da sociedade moderna. Essa educação alienante e defeituosa tem até mesmo reforçado o sistema de dominação humana ... Sendo assim, é necessário que não tenhamos resistência a transformar a ciência da sala de aula em um instrumento de conscientização, com o qual trabalharemos não só os conceitos científicos fundamentais para a nossa existência, mas, também, os aspectos éticos, morais, econômicos e ambientais a eles relacionados.”(Santos & Schnetzer, 1998,p.268)

A escolha do enfoque CTS como um possível caminho para uma Educação Ambiental que privilegie uma abordagem interdisciplinar e contribua para uma cidadania crítica e participativa, reside no fato dos estudos CTS objetivarem:

- A compreensão da dimensão social do saber científico e tecnológico no que concerne às conseqüências sociais e ambientais de tal saber, procurando estabelecer parâmetros para a elaboração de mecanismos democráticos de controle, a serem exercidos por cidadãos críticos e embasados num adequado suporte educacional.
- A avaliação da influência de valores não epistêmicos (sociais, econômicos, políticos, religiosos e ideológicos) sobre a gênese do saber científico e tecnológico.
- A realização de estudos de cunho educacional dentro de um contexto integrador (interdisciplinar) que viabilize uma proposta didático-pedagógica, que contribua para a formação de cidadãos críticos, participativos e preparados para o enfrentamento de questões de valor que envolvam ciência e tecnologia.

Como demonstrado o enfoque CTS busca a capacitação de cidadãos críticos, participativos e preparados para tratar questões que envolvam as conseqüências sócio-ambientais do conhecimento científico e tecnológico. Cidadãos que exerçam a cidadania ecológica, onde possamos repensar o *modus vivendi* de uma civilização ansiosa e perdulária e o *modus operandi* de um sistema econômico excludente, concentrador de renda e ecologicamente predatório.

O enfoque CTS apresenta-se como um dos possíveis caminhos que viabilizem uma abordagem interdisciplinar das questões ambientais, onde as soluções passam pela

interação "simbiótica" das diversas áreas do saber e pela participação crítica de cidadãos instrumentalizados para o exercício da cidadania ecológica. Em conformidade com o exposto, Krischke ressalta: "*... o futuro da ecologia e da cultura política de um país passa pelas biografias dos cidadãos que nele vivem, jovens e adultos.*" (Krischke, 2000,p.187)

Para exemplificar a adequação dos estudos CTS na prática da educação ambiental orientada para uma concepção de meio ambiente globalizante, partimos do pressuposto que o levantamento dos conceitos científicos inerentes às disciplinas de física, química, biologia e geografia, essenciais a compreensão dos fenômenos associados à poluição nuclear, bem como o levantamento das relações sócio-econômicas, políticas e ambientais essenciais à compreensão do tema; associado a proposição de um conjunto de atividades didático-pedagógicas com enfoque CTS podem fornecer elementos para elaboração de uma proposta de Educação Ambiental centrada na concepção de meio ambiente globalizante. No referido estudo concorrem informações e conceitos oriundos das seguintes áreas: Física, Química, Biologia, Matemática, História e Geografia, buscando-se obter uma abordagem interdisciplinar que viabilize a elaboração de uma proposta de Educação Ambiental centrada na concepção de meio ambiente globalizante; onde o tratamento da poluição nuclear ocorra de tal modo, que permita a análise dos seus desdobramentos científicos, tecnológicos, ambientais, econômicos e sóciopolíticos.

Acreditamos que o enfoque educacional CTS pode se constituir não no único, mas num seguro caminho para uma abordagem da Educação Ambiental que contemple uma concepção de meio ambiente globalizante. Em tal abordagem, a prática da cidadania e a visão interdisciplinar preconizada pelo PCN+ pode ser viabilizada no contexto curricular de uma disciplina ou de um grupo de disciplinas. Pois o documento PCN+ dispõe na página 17, que a perspectiva interdisciplinar de conteúdos educacionais apresentados com contexto, não precisa necessariamente de uma reunião de disciplinas, podendo ser realizado no âmbito de uma única disciplina, citando como exemplo: a mineração da hematita e magnetita numa aula de química, onde além da

discussão de processos siderúrgicos, sejam colocadas em discussão as ofertas regionais de carvão conjuntamente com o impacto ambiental da mineração e processamento dos minérios estudados. Salientamos que a abordagem centrada numa única disciplina constitui quando muito uma aproximação para o tratamento interdisciplinar da temática ambiental, sendo mais conveniente o emprego de um conjunto de disciplinas para a concretização de tal propósito.

Para demonstrar a viabilidade do uso do enfoque CTS numa proposta de educação ambiental pautada na concepção de meio ambiente globalizante, escolhemos o tema poluição nuclear. Tal escolha deve-se ao fato do PCN+, ressaltar nas páginas 78 e 106, que as disciplinas de química e física no ensino médio, devem apresentar respectivamente dentro de suas unidades temáticas, uma que trate da energia nuclear e radioatividade, e outra que trate da constituição nuclear e propriedades físico-químicas. Em tais unidades temáticas, o desenvolvimento dos conceitos científicos deve se dar no sentido de capacitar o educando, para a compreensão dos riscos e benefícios do uso da tecnologia nuclear bem como a avaliação dos efeitos biológicos e ambientais da radioatividade e das radiações ionizantes.

Deste modo, o tema poluição nuclear, constitui um adequado substrato sobre o qual procuramos estabelecer as bases para a inserção da educação ambiental que contemple a concepção de meio ambiente globalizante, utilizando o enfoque CTS. Uma vez definidas tais bases, estaremos oferecendo com esse trabalho de dissertação, elementos que poderão ser aplicados por educadores do ensino médio sobre outros temas, tais como: efeito estufa, chuva ácida, destruição da camada de ozônio, poluição hídrica, edáfica e atmosférica dentre outros.

CAPÍTULO 3 - POLUIÇÃO NUCLEAR

3.1. APRESENTAÇÃO

A opção pelo tema poluição nuclear teve como base a possibilidade do mesmo favorecer situações que contemplem uma aprendizagem mais ampla, ou seja, que contemple a discussão das dimensões científica, tecnológica e social. Como vimos no capítulo 1, tais dimensões são essenciais para a inserção da Educação Ambiental. Destacaremos a seguir alguns aspectos que contribuíram para a definir nossa opção pelo tema da poluição nuclear:

a) A relevância da temática nuclear no contexto geopolítico e geoeconômico mundial, no que concerne a aplicações pacíficas e bélicas das radiações e da energia nuclear, Cabral (1987), Hakwes (1986), Oliveira(1989) e Hinrichs (2003);

b) A necessidade de inclusão da temática nuclear na educação ambiental, tendo em vista os problemas decorrentes dos resíduos radioativos das Centrais Nucleoelétricas, dos equipamentos de Medicina Nuclear, e do desmonte de Artefatos Bélicos, bem como dos Acidentes Radioativos e Nucleares, Autos de Goiânia (1988) e Hakwes (1986);

c) A importância da discussão e aquisição de uma postura crítica por parte da sociedade em relação aos aspectos ambientais do programa nuclear brasileiro, tanto no aspecto pacífico (Acordo Nuclear Brasil-EUA, Acordo Nuclear Brasil-Alemanha) quanto no aspecto bélico (Programa Nuclear Paralelo), Goldemberg (1978) e Oliveira (1989);

d) A constatação realizada em estudo acadêmico por Nunes (1990), na qual se observa que os fenômenos nucleares não são abordados no ensino de Física no ensino médio, sendo abordados de modo limitado em conteúdo e

forma no ensino de Química, onde a abordagem mostra-se insuficiente para atingir os fins de informação científica e de formação de uma consciência crítica dos educandos em relação a temática nuclear. Passado quatorze anos da constatação evidenciada na citada dissertação de mestrado, faz-se necessário uma reavaliação dos principais livros didáticos de química e física destinados ao ensino médio, para que se possa apurar com o critério de uma análise acadêmica as características da abordagem da temática nuclear em tais livros didáticos;

e) A constatação realizada em estudo acadêmico por Cruz (2001, p.51) de que:

"... com os acidentes de Goiânia e da usina nuclear de Chernobyl, aumentou consideravelmente a quantidade de informação de textos e livros paradidáticos relacionados ao tema. No entanto estes textos não se encontram disponíveis para a grande maioria das escolas. Normalmente esses trabalhos são elaborados por professores de terceiro e grau ficam restritos à região de sua produção ou são publicados em revistas de difícil acesso para professores..." (Cruz, 2001, p.51) .

f) A constatação de que no PCN+ Ensino Médio (2002), encontra-se indicado que o ensino médio deve dar continuidade à perspectiva educacional do ensino fundamental que busca a prática da cidadania e a visão interdisciplinar através do ensino de ciências. Bem como a ênfase de que o aluno deve estabelecer relações entre necessidades sociais, evolução de tecnologias e degradação ambiental;

A motivação maior de realizar um trabalho acadêmico, que traga uma contribuição educacional à *práxis* didático-pedagógica no ensino médio, no que concerne a temática da poluição nuclear, está em concordância com o que ressalta Lopes (1978):

"... se cientistas e educadores não podem transformar sozinhos o mundo, podem pelo menos-principalmente no terceiro mundo contribuir para uma análise da situação existente em seus países e tentar entender a significação social do trabalho científico e de seu posicionamento político." (Lopes, 1978, P. 231).

No delineamento desse capítulo antes de trabalharmos conceitualmente a Poluição Nuclear, vamos pontuar o tema Poluição. Como a Poluição aparece primeiro no âmbito da Ecologia enquanto ciência e movimento social, iremos, portanto, num primeiro plano pontuar tal área do conhecimento.

3.2. ECOLOGIA

3.2.1. ECOLOGIA ENQUANTO CIÊNCIA

O vocábulo ecologia foi criado pelo biólogo alemão Ernest Haeckel em 1866, derivando de duas palavras gregas, oikos (casa) e logos (estudo), portanto, de modo simplificado a ecologia enquanto objeto científico constitui o estudo das relações entre os seres vivos e entre estes e o meio ambiente, Pinheiro & Monteiro (1992). De acordo com Odum (1988) a proposição do vocábulo ecologia foi realizada por Haeckel em 1869.

Segundo Sewell (1978), muitos cientistas consideram a ecologia como o estudo da estrutura e funcionamento da natureza, ou a ciência do ambiente dos seres vivos. De acordo com Ziberman (1997), a ecologia constitui a ciência que estuda as relações dos seres vivos com o seu meio, especialmente, o estudo das relações do tipo positivo ou negativo com as plantas e animais que convivem.

A ecologia conforme Pinheiro (1992) é dividida em auto-ecologia e sinecologia, a primeira trata do estudo das relações entre uma espécie biológica e seu meio físico, procurando esclarecer a influência de fatores abióticos (clima, solo, etc) sobre os fatores bióticos como as características morfológicas, fisiológicas e etológicas da espécie estudada. A sinecologia trata do estudo de como se correlacionam as diferentes espécies que habitam um mesmo ambiente, e de que modo interagem com o ambiente físico.

Conforme Ferri (1977), a ecologia é dividida em ecologia animal, vegetal, dos microorganismos e geral. A ecologia animal trata do estudo das relações entre os

seres metazoários e os ambientes em que vivem, a ecologia vegetal trata do estudo das relações dos seres metáfitas e dos ambientes onde ocorrem, a ecologia dos microorganismos trata do estudo das relações entre o ambiente e os seres unicelulares com características morfofisiológicas que não os enquadram nos reinos metazoa e metáfita. Por fim a ecologia geral trata dos fenômenos comuns a todos os seres vivos, fenômenos gerais, fundamentais aos mesmos, quaisquer que sejam seus reinos taxonômicos, tratando das interações desses com os ambientes.

Afirma Ferri (1977) que a ecologia ainda pode ser subdividida em auto-ecologia e sinecologia. A auto-ecologia é praticamente sinônimo de ecologia fisiológica ou ecofisiologia, estudando os limites de tolerância e a preferência de cada espécie em relação a cada fator ecológico (clima, solo, água, etc). A sinecologia ou sociologia de todos os seres vivos estuda as relações entre as espécies que coabitam um determinado ambiente e as relações entre essas espécies e seu ambientes.

De acordo com Fornari (2001), a ecologia constitui o estudo das inter-relações dos seres vivos com o meio físico onde esses se inserem, buscando desvelar as recíprocas influências entre o ser e o ambiente. Conforme o autor a ecologia não deve ter seu papel investigativo reduzido à mesologia, que é um termo botânico usado para expressar as influências do meio físico (solo, clima, altitude, água, etc) sobre os vegetais. Ainda segundo Fornari, a ecologia pode ser dividida em ecologia clínica, da paisagem, das espécies, das populações, especial e vegetal.

A ecologia clínica constitui o estudo dos processos alergênicos e das intolerâncias alimentícias, relacionadas à poluição química dos alimentos e do meio ambiente. A ecologia da paisagem constitui o ramo da ecologia que trata das inter-relações entre o Homo sapiens e seu entorno paisagístico. A ecologia das espécies ou sinecologia constitui o ramo da ecologia que estuda as relações entre as comunidades metazoas ou metáfitas e o meio ambiente como um todo: sendo particularizada como biozonoecologia, fitocenologia ou fitossociologia. A ecologia das

populações constitui o ramo da ecologia que trata do estudo das condições de adaptação das populações ao meio ambiente.

A ecologia especial ou mesologia especial estuda as influências das condições químicas e físicas na vida do indivíduo, bem como o modo em que tais condições ao sofrerem variações no decurso da evolução geológica influenciaram ou influenciam no desenvolvimento da morfologia e fisiologia dos órgãos. As citadas condições químicas dizem respeito à água, oxigênio alimentos e venenos, e as condições físicas dizem respeito às ações mecânicas, pressão, clima, temperatura, luminosidade, eletricidade e similares. A ecologia vegetal ou fitoecologia constitui o ramo da ecologia que aborda o estudo dos vegetais, seu habitat e os fatores que promovem sua evolução e extinção.

Ainda sobre as divisões ou matizes da ecologia, Dashefsky (2001), aponta as seguintes divisões ou especialidades: ecologia aplicada, de sistemas, descritiva, experimental, teórica, populacional, profunda e terrestre.

A ecologia aplicada constitui uma divisão da ecologia que trata dos problemas ambientais que afetam diretamente a sociedade humana, buscando a pesquisa de fatos e elaboração de teorias para a proteção ambiental frente às ações antrópicas.

A ecologia de sistemas constitui a divisão da ecologia que estuda as relações entre os fatores bióticos e abióticos de um ecossistema, centrando seu foco de estudo nos fluxos de matéria e energia através dos sistemas ecológicos. O termo sistema pode se restringir a uma floresta ou a toda a biosfera, sendo usual o emprego de modelos computacionais para compreender como um ecossistema comporta-se diante da mudança de certos fatores ambientais, tais como elevação na concentração de certos poluentes atmosféricos.

A ecologia descritiva constitui uma forma de abordagem da ecologia, cujo foco de estudos está centrado na descrição dos diversos ecossistemas que formam a biosfera. A ecologia descritiva foi a primeira abordagem utilizada para o estudo da

ecologia, sendo muito comum até a década de cinquenta do século XX, a esse método de estudo descritivo, veio somar-se uma abordagem experimental e teórica.

A ecologia experimental teve como antecessora a ecologia descritiva e como sucessora a ecologia teórica, a ecologia experimental ganhou ênfase na década de sessenta, focando seus estudos nos mecanismos de funcionamento de um dado ecossistema, buscando manipular o meio ambiente ou um organismo para aferir o que ocorre quando são alterados certos fatores de controle como temperatura, pressão, salinidade, pH, disponibilidades hídricas e similares. Ainda hoje muitos estudos ecológicos são intrinsecamente experimentais.

A ecologia teórica constitui uma abordagem dos estudos ecológicos, que faz uso de modelos matemáticos em super computadores, no intuito de compreender e prever o que ocorrerá com populações e a vida no planeta Terra, frente às mudanças ambientais. Tais modelos são baseados em dados experimentais já conhecidos e em simulações baseadas em pressupostos com razoabilidade científica. Um dos objetivos da ecologia teórica está na tentativa de prever as múltiplas conseqüências do aquecimento global.

A ecologia populacional constitui a divisão da ecologia que estuda estatisticamente uma população avaliando os fatores que afetam a mesma, tais como as taxas de natalidade e mortalidade, e os fatores que induzem a variações dessas taxas.

A ecologia profunda constitui não uma divisão ou especialidade, mas sim uma forma de abordagem ecológica, onde os ecologistas profundos propõem que a humanidade é a principal ameaça à sobrevivência da vida no planeta Terra. Das proposições da ecologia profunda, ressaltam-se:

- 1)- A redução da riqueza da vida só deve ser aceita na medida exata da satisfação das necessidades mais básicas dos seres humanos, sem desperdícios.

2)- A substancial diminuição da população humana, conferirá uma melhora significativa na qualidade da vida e da cultura humana.

3)- O florescimento da vida não humana está intrinsecamente ligado à diminuição da população humana.

A ecologia terrestre trata do estudo dos organismos que vivem na terra e suas relações com o habitat, ou seja, dos seres vivos que constituem o epinociclo.

Segundo Ferri (1977), atribui-se a Haeckel, zoólogo germânico, a primazia na criação do vocábulo ecologia em 1866, no entanto o autor afirma que existem provas documentais que demonstram que tal vocábulo era conhecido e usado pelo menos oito anos antes da citada data.

De acordo com Ferri, as idéias de Malthus (1798) sobre crescimento das populações e aumento de meios de subsistência, podem ter influído na obra de Charles Darwin a "Origem das Espécies" de 1858. Ferri propõe que nas idéias de Darwin podemos avistar traços da hipótese de Malthus que propõe que as populações crescem em progressão geométrica, enquanto os meios de subsistência crescem em progressão aritmética. O cientista Darwin encampa tal proposição ao conceber que os indivíduos de uma determinada espécie em número excessivo e diferentes entre si lutam pelos meios de subsistência, levando a sobrevivência dos mais aptos. Tanto nas proposições de Malthus quanto nas de Darwin, vislumbra-se um relacionamento entre os seres vivos e o ambiente em que vivem, o qual fornece os meios de subsistência dos mesmos. Deste modo sem usarem o vocábulo ecologia, suas idéias implicavam num modo ecológico de pensar, que antecede a criação do termo ecologia por Haeckel em 1866.

Tal ponto de vista é compartilhado por Odum (1988), quando o mesmo afirma:

"..., muitos dos grandes personagens do renascimento biológico dos sécs. XVIII e XIX haviam contribuído para essa área do conhecimento, muito embora não se tenha utilizado a palavra "ecologia"." (Odum, 1988, p.1)

Reforça Odum, que Anton Van Leeuwenhoek no início do século XVIII foi pioneiro no estudo de cadeias alimentares e da regulação das populações, assim como o botânico inglês Richard Bradley revela em seus escritos uma boa compreensão da produtividade biológica, assuntos esses importantes para a ecologia moderna.

A despeito de ter sido criado o vocábulo ecologia em 1866, Pinheiro (1992), ou em 1869, Odum (1988), a mesma só foi se constituir como uma especialidade científica a partir de 1900, Odum (1988).

3.2.2. ECOLOGIA ENQUANTO MOVIMENTO SOCIAL

A ecologia nasceu como uma disciplina científica umbilicalmente ligada à biologia no século XIX. Durante quase um século, os estudos científicos no campo da ecologia estiveram centrados na taxonomia da estrutura da natureza, bem como na compreensão das funções específicas de determinadas espécies biológicas num dado ecossistema.

A ecologia era considerada ciência básica, descritiva, não se atendo a estudos que enfocassem aspectos sócio-econômicos e políticos inerentes as ações antrópicas e seus reflexos sobre o meio ambientes, Sewell (1978).

Na década de trinta no século XX, alguns naturalistas começaram a externar não só a importância científica, mas, sobretudo a relevância da ecologia para a humanidade, dentre os quais cita-se o naturalista inglês Charles Elton que por volta de 1927, na primeira edição da obra "Animal Ecology", afirma:

"A ecologia é um ramo da zoologia que talvez seja a mais capaz de oferecer uma ajuda prática imediata para a humanidade do que qualquer um dos outros e, no atual estado da civilização, um tanto ebuliente, talvez fosse bastante importantes incluí-la no currículo dos jovens zoólogos." Apud:(Lago, 1991, p.27).

Após o término da Segunda Guerra Mundial (1939-1945), houve um significativo período de crescimento econômico e demográfico, notadamente nos países europeus, Japão, China, Estados Unidos e União Soviética. Tal crescimento decorreu da necessidade de vultosos investimentos em infra-estrutura, principalmente para promover a recuperação dos países que mais sofreram com a conflagração bélica. No decurso de duas décadas ocorreu uma intensa industrialização e aumento das concentrações urbanas, com contundentes reflexos para o meio ambiente, Tuci (2000).

Durante as décadas de cinquenta e sessenta as preocupações ambientais eram irrelevantes frente à premência de reconstrução da infra-estrutura urbana, rural, rodoviária, ferroviária, portuária e fabril dos países fortemente afetados pela Segunda Guerra Mundial. Mesmo países que não sofreram danos com o conflito, como Estados Unidos, Canadá e países em desenvolvimento, não tinham políticas públicas de desenvolvimento econômico com viés ambiental. Isto resultou em crescentes problemas e incidentes de cunho ecológico, que foram ganhando volume no transcorrer dessas décadas, dos quais ressaltam-se:

- Em 1954, contaminação com mercúrio (sulfato de Mercúrio), lançado pela fábrica Chisso Corporation, como efluente industrial nas águas próximas as aldeias de Minamata e Nijigata no Japão, que atingiu mais de quatrocentas pessoas em diferentes níveis, Bernardes & Ferreira (2003).
- Em 1957, o reator nuclear de Windscale na Inglaterra, sofreu um grave incidente, criando uma nuvem radioativa que se dissipou atravessando a Europa Ocidental, Garcia (1996).
- Em 1961, ocorreu a proibição da Talidomida na Europa depois de causar mais de dois mil e quinhentos defeitos congênitos em crianças, Garcia (1996).
- Em 1966, ocorreu a queda de um bombardeiro B-52, perto de Palomares, Almería, causando a contaminação de extensa área, Palácios (2001).

- Em 1967, ocorreu um grave acidente com o navio petroleiro Torrey Canyon, que liberou grande volume de petróleo nas praias do sul da Inglaterra, Palácios (2001).

Nesse período histórico cristalizara-se a crença de que o crescimento econômico não teria limites, assim como a proposição de que o desenvolvimento implicaria necessariamente no domínio da natureza e do homem. No entanto nas décadas de sessenta e setenta do século XX, começou a percepção da esgotabilidade dos recursos naturais e de que o crescimento econômico ilimitado seria algo insustentável, Bernardes & Ferreira (2003).

É desse período de despertar da consciência ecológica ou vislumbamento das questões ambientais, a obra de Rachel Carson, "Silent Spring", publicada nos Estados Unidos, em 1962. Em tal publicação, a autora denunciou o efeito nocivo dos biocidas (inseticidas, fungicidas, e os herbicidas) sobre o meio ambiente. O nome primavera silenciosa foi adotada para sugerir que o uso dos biocidas de modo abusivo provocaria o desaparecimento de pássaros e outros animais dos bosques, florestas e dos jardins, implicando na ausência da sinfonia ruidosa típica dos animais nos períodos primaveris, Branco (1990), Darling (1973).

A citada obra teve grande penetração na opinião pública incluindo a comunidade científica, o que causou a reação adversa das empresas fabricantes dos defensivos agrícolas. A clareza, fluência e objetividade de Rachel Carson ao atacar os pontos vulneráveis (efeitos colaterais) dos biocidas, despertou na opinião pública, o perigo no nível trófico, pois demonstrou que o pão-nosso-de-cada-dia tinha um pouco de veneno. Em virtude disso, para muitos "Silent Spring", constitui um dos elementos detonadores dos movimentos ecológicos que tiraram a ecologia das salas e laboratórios acadêmicos para o contexto das grandes discussões públicas, Lago (1991).

A popularização das questões ambientais iniciada nos anos sessenta é bem descrita por Richard A. Falk no início da década de setenta ao colocar:

"Hoje, a ecologia é discutida nos jornais e na imprensa em geral - e será cada vez mais - porque as represas ou projetos de grandes usinas de energia para a sociedade de consumo geram também a poluição que anda contaminando o nosso meio-ambiente natural." (Falk, 1972, p.32).

Para enfatizar a importância que estavam assumindo as discussões politizadas das questões ambientais, não restringindo as mesmas a um seleto grupo de especialistas, e afirmar a penetração da ecologia no cotidiano do cidadão no início dos anos sessenta, Falk coloca:

"Estamos envolvidos com a ecologia por dois motivos distintos: em primeiro lugar, a fim de ampliarmos o campo da política de modo que haja lugar, para a ecologia entre os assuntos políticos; em segundo lugar, a fim de dar uma melhor orientação acerca do equilíbrio da natureza e procurar diminuir a tendência dos engenheiros e desenvolvimentistas imaturos, que só analisam aquilo que julgam válido para a sociedade tomando por base os critérios econômicos." (Falk, 1972, p.33).

Como apontado anteriormente, até a primeira metade do século vinte e mesmo meados da década de sessenta, inexistiam preocupações a nível global com as grandes questões ambientais, onde fossem discutidos de modo amplo, democrático e público, o impacto das ações antrópicas sobre o meio ambiente.

As questões ambientais ganharam relevância e centraram a atenção global a partir da década de oitenta, desde então, as mesmas permeiam o cotidiano jornalístico, as agendas governamentais e o ideário político, especialmente quando apontavam previsões apocalípticas e desastres ecológicos, Brügger (1994).

Dos citados desastres ecológicos que conferiram um ar de premência as questões ambientais, dando um caráter de movimento social a ecologia, destacam-se:

- Em 1979, a fusão parcial do reator nuclear da usina de Three Mile Island nos Estados Unidos, Garcia (1996).
- Em 1984, ocorreu o vazamento de quarenta e cinco toneladas de isocianeto de metila da fábrica da Union Carbide em Madhya Pradesh na Índia,

provocando a morte de 2352 pessoas e atingindo duzentos mil habitantes numa área de cem quilômetros quadrados, Bernardes& Ferreira (2003).

- Em 1985, cientistas britânicos denunciaram a constante redução da camada de ozônio sobre a Antártida desde 1979, Garcia (1996).

- Em 1986, ocorreu o acidente nuclear na usina de Chernobyl na Ucrânia, com liberação de uma nuvem radioativa sobre a Europa, Garcia (1996).

- Em 1987, ocorreu o acidente radioativo com uma cápsula de césio-137 em Goiânia no Brasil, Autos de Goiânia (1998).

- Em 1988, depois de uma seca intensa nos Estados Unidos, a ONU, criou um Comitê Científico para investigar o aquecimento global e o que fazer sobre ele, Pearce (2002).

- Em 1989, o super petroleiro Exxon Valdez sofreu um acidente na Costa do Alaska, liberando quarenta e três milhões de litros de óleo cru, atingindo dois mil e quinhentos quilômetros da região litorânea, afetando drasticamente a flora e a fauna local, Bernardes& Ferreira (2003).

- Em 1991, ocorreu o incêndio dos poços petrolíferos e derramamentos de petróleo no Kuwait, realizado pelo governo iraquiano na Guerra do Golfo Pérsico, como tática bélica de terra arrasada, Garcia (1996).

- Em 1994, ocorreu grave vazamento de petróleo em oleodutos corroídos no norte da Rússia, causando grave contaminação da tundra ártica, Garcia (1996).

Esses desastres ambientais associados a outros de menor impacto, serviram para reforçar uma concepção coletiva que relacionava a ecologia com a poluição ambiental, em seus diferentes matizes, causas e conseqüências. O engajamento social nas causas ecológicas foi então ganhando corpo ao longo das três últimas décadas do século vinte, principalmente através das organizações não governamentais, como o Greenpeace, WWF e SOS Mata Atlântica, Bernardes&Ferreira (2003).

A relação entre ecologia e poluição foi incrementada com especial interesse nas possibilidades de desenvolvimento de tecnologias e modos de produção econômica ecologicamente sustentável, onde além de medidas paliativas para controle da poluição ambiental, fossem elaboradas formas de reduzir o consumo de energia e matérias primas e o impacto ambiental inerentes as ações antrópicas, Becker (2002).

3.3. POLUIÇÃO AMBIENTAL

3.3.1. BREVE HISTÓRICO

Como observamos anteriormente a ecologia enquanto ciência e movimento social esteve intrinsecamente ligada à poluição ambiental. O termo poluição tem sua origem etimológica no verbo latino *polluere*, cuja acepção semântica remonta ao significado de "sujar" e, por extensão "corromper" e "profanar". No entanto o sentido de sujar esteve sempre mais relacionado à aparência estética, do que a um efeito danoso, Branco (2003). Como exemplo, temos a poluição hídrica, onde a água suja não implica necessariamente na presença de substâncias tóxicas ou patogênicas.

A idéia de sujeira veicula uma preocupação estética, estando associada as nossas percepções sensoriais, envolvendo, a turbidez e a cor da água, as fumaças exaladas por chaminés, as montanhas de lixo em aterros sanitários, os odores desagradáveis e similares.

A concepção de poluição associada à presença de substâncias tóxicas ou efeitos virulentos ao meio ambiente supera a simples associação da poluição com a estética. Segundo Branco (2003), alguns especialistas, propõem a diferenciação entre contaminação e poluição. A contaminação seria a simples transferência de elementos nocivos a um determinado meio, por intermédio de um veículo

transportador como, por exemplo, a água, onde a mesma constitui-se apenas no instrumento de inserção da patologia ou efeito tóxico, não sendo um ecossistema alterado.

O conceito de poluição está associado às conseqüências ecológicas da introdução de elementos tóxicos e patogênicos num dado ambiente, ou seja, a poluição decorre da inserção de matéria e energia em lugar errado. Tal introdução se dá de tal modo que o ambiente não é capaz de assimilar tal inserção, sobrecarregando o mesmo, desfazendo seu equilíbrio ecológico e alterando sua composição e estrutura, deste modo pode-se afirmar que o referido ambiente está poluído, Branco (1997).

Historicamente a poluição ambiental esteve associada à ocupação humana e as ações antrópicas como a caça, pesca e as práticas agrícolas e industriais predatórias, isto se evidencia no exemplo do declínio da agricultura dos sumérios devido a salinização do solo por irrigação de terras planas entre 3500 a 1800 a.C., Lora (2002).

O despejo de produtos e resíduos em rios ou no ar atmosférico, desde tempos historicamente remotos tem revelado conseqüências tóxicas e incômodas, assim sendo, o ser humano tentou controlar a produção e remoção de detritos por meio de normas e decretos. Na antiga Grécia, as construções de curtumes exigiam a expedição de autorização especial, devido a liberação de gases e odores desagradáveis ao olfato da população grega. Das fundições de prata que exalavam gases tóxicos, como o dióxido de enxofre (SO_2), exigia-se a construção de chaminés de elevada altura, no intuito de otimizar a dispersão dos gases na atmosfera, Fellenberg (1980).

Na antiga Roma, um decreto estabelecia que somente em locais desabitados além do rio Tibre, seriam permitidas as instalações de matadouros, curtumes, fabricas de azeite e lavanderias, devido aos odores desagradáveis. Já os fornos das fábricas de vidro só poderiam ser construídos em áreas restritas da região urbana de Roma, devido aos gases tóxicos desprendidos, como o ácido fluorídrico (HF),

Fellenberg (1980). Na mesma Roma existia um eficiente sistema de fornecimento hídrico por meio de aquedutos e canais para receber efluentes, o que revelava um certo grau de preocupação com as condições de saneamento básico desse centro urbano, Rocha (2004).

Embora já existissem sistemas de coleta de efluentes domésticos em certos centros urbanos desde da antiga Babilônia e no império romano desde o século VI a.C., tais procedimentos de saneamento público caíram em desuso no período histórico conhecido como Idade Média (473 a 1453 d.C.), período esse, de dez séculos de estagnação, ou mesmo, de retrocesso sanitário, Rocha (2004). Os detritos acumulavam-se nas ruas, viabilizando a proliferação de patologias infecto-contagiosas, como a peste bubônica que vitimou na Europa, vinte e cinco milhões de pessoas, Rocha (2004).

No século XIII, na Inglaterra o Rei Eduardo em 1273, promulgou leis de qualidade do ar, proibindo o uso de carvão com alto teor de enxofre, proibindo também a combustão de carvão em Londres, quando das sessões do parlamento, devido a fumaça e odores desagradáveis. Em 1300, o Rei Ricardo III tentou diminuir o ritmo de devastação de florestas inglesas devido à queima de madeira, estabelecendo taxas para o uso do carvão, no entanto o consumo de carvão aumentou, Braga et.al. (2002).

Durante a idade moderna (1453 a 1789) as condições sanitárias nos centros urbanos continuaram calamitosa, embora tenham existido ações pontuais para minimizar os efeitos poluentes dos esgotos domésticos e dos efluentes industriais das primeiras fábricas da revolução industrial no século XVIII. Tais ações implicavam na canalização dos efluentes dos centros urbanos e industriais para os rios, os quais passaram a sofrer de forma rápida os nocivos efeitos da poluição como a mortandade de espécies ictiológicas e a propagação de patologias como a cólera provocada pelo vibrião colérico, um tipo de bactéria taxonomicamente denominado (*Vibrio cholerae*).

A Inglaterra por ser o berço da Revolução Industrial foi o primeiro país a sofrer em grande escala os efeitos da poluição, e por isso mesmo foi a primeira nação a estudar e tentar controlar a poluição ambiental, medidas essas que foram sendo estendidas a outros países na medida em que esses foram sendo industrializados, Rocha (2004).

No princípio as medidas de controle da poluição doméstico-industrial, estavam assentadas na crença equivocada de que os rápidos aumentos dos dejetos industriais e da produção agrícola poderiam sofrer eliminação através de uma distribuição de águas e gases poluídos numa vasta área geográfica. Acreditava-se que as substâncias tóxicas devidamente diluídas em grandes áreas sofreriam degradação espontânea, pois se raciocinava que os rios e lagos poderiam receber grandes quantidades de poluentes sem maiores problemas, já que tais mananciais hídricos carregariam os poluentes para o oceano, Fellenberg (1980).

No início do século XX, percebeu-se o equívoco cometido, pois no rio Reno o peixe esturjão comum no século XIX, sofreu um declínio populacional, desaparecendo em 1920. O mesmo ocorreu com o salmão, considerado extinto em 1955 no ambiente limnológico do citado rio. A fauna e flora marinha em regiões costeiras com grandes concentrações urbano-industriais começaram a sofrer danos irreparáveis, causando a extinção de inúmeras espécies, o que defenestrou a crença no princípio da diluição pura e simples dos dejetos doméstico-industriais. A natureza não conseguia auto depurar-se no mesmo ritmo em que a civilização crescia e produzia resíduos de impacto ambiental.

Nas últimas décadas do século XX, os problemas ambientais adquiriram uma dimensão global, onde o efeito estufa, a chuva ácida, a destruição da camada de ozônio estratosférico, a poluição hídrica em rios e lagos transnacionais e oceanos, a poluição nuclear via acidentes como o de Chernobyl (1986), derramamentos de petróleo, e outros problemas ambientais, não respeitavam fronteiras geopolíticas e econômicas. Lora (2002) corrobora tal diagnóstico ao enfatizar:

"... a carga de poluentes ultrapassou a capacidade natural de "tratamento" da natureza e começaram a se agravar os problemas ambientais, passando de locais e regionais, a problemas de caráter global." (Lora, 2002, p.3).

Concomitante ao agravamento dos problemas ambientais, ocorre o crescimento da consciência ambiental no seio da opinião pública, o que contribuiu para o surgimento de órgãos e legislações públicas para tratar das questões ambientais, tais como:

- Em 1969, a Junta Nacional de Proteção Ambiental da Suécia.
- Em 1970, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA).
- Em 1970, a Ata do Ar limpo nos Estados Unidos.
- Em 1970, a Agência Estadual de Saneamento Básico e de Defesa do Meio Ambiente CETESB, no estado de São Paulo (Brasil).
- Em 1971, o Ministério Francês de Proteção da Natureza e o Meio Ambiente.
- Em 1974, a Ata Federal de Controle de Emissões.

Durante os últimos trinta anos do século XX, inúmeras conferências, congressos e acordos internacionais buscaram equacionar e propor soluções aos problemas ambientais dos quais ressaltam-se segundo Lora (2002):

- Em 1972, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Humano em Estocolmo (Suécia), onde os problemas ambientais passaram a ser considerados em caráter intergovernamental por uma organização de alcance planetário.
- Em 1987, o Protocolo de Montreal (Canadá), tratou de aspectos da destruição da camada de ozônio, dentre os quais a redução gradual da produção de cloro-fluorcarbonos até a total proibição no ano 2000.
- Em 1989, a Convenção de Basileia (Suíça), tratou da regulamentação no transporte transfronteira de resíduos tóxicos.

- Em 1992, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento no Rio de Janeiro (Brasil), tratou de firmar um acordo visando reduzir a taxa de aquecimento global, do qual participaram 154 países.
- Em 1996, a ISO 14000, estabeleceu um conjunto de normas genéricas voluntárias desenvolvidas pela Organização Internacional de Padronização que concilia gerenciamento de negócios e gerenciamento ambiental.
- Em 1997, o Protocolo de Kyoto (Japão), tratou de estabelecer um acordo para limitar as emissões de gases estufa pelos países industrializados.

3.3.2. CONCEPÇÕES E TIPOS DE POLUIÇÃO AMBIENTAL

As diferentes concepções sobre poluição e seu tipos derivam de enfoques distintos, os quais podem estar centrados em visões mais restritivas ou mais abrangentes, onde o contexto ambiental contém o entorno social.

Segundo Pinheiro (1992), a poluição de um ambiente implica em alterações na composição natural do mesmo devido à inserção de elementos estranhos ou por desequilíbrio na proporção de seus componentes, de tal modo que são provocados prejuízos ambientais com conseqüentes danos para a saúde e economia. Apontam-se os seguintes tipos de poluição; poluição do ar, do solo, hídrica em rios, lagos e no mar, poluição radioativa, eletromagnética e do espaço sideral.

De acordo com Zilberman (1997), a poluição é o processo pelo qual algo se torna impuro, maculado, sujo ou imundo, podendo ser poluição por sedimentos, sonora, termal, hídrica, atmosférica e edáfica.

Conforme Mellanby (1982), a diferença entre poluição nociva e contaminação inofensiva não é muito clara, estando a poluição associada à ocorrência de efeitos tóxicos agudos, que efetivamente provoquem danos ao homem ou ao meio ambiente. Segundo o autor divisam-se os seguintes tipos de poluição: poluição do ar, água, térmica, do mar, radioativa e por praguicidas, aos quais Ottaway (1982) acrescenta a poluição do solo, sendo que Benn (1981) enfatiza que a maior parte da poluição é de natureza química.

Conceitua Fornari (2001), que a poluição constitui qualquer modo de contaminação do meio ambiente, provocada por diversos agentes, provenientes de atividades domésticas comerciais ou industriais, sendo apresentados os seguintes tipos de poluição: poluições atmosférica, biológica, da água, do ar, do mar, eletromagnética, estrutural do solo, física do solo, química do solo, mecânica, nuclear do espaço, química brutal, química crônica ou insidiosa, radioativa, sonora e térmica.

O dicionário de ecologia (1980) aponta que a poluição expressa toda alteração de origem antrópica que inserida no ambiente de modo voluntário ou não, seja capaz de romper o equilíbrio ecológico existente, podendo até levar a um novo equilíbrio. São tipificadas a poluição do ar, solo, das águas (doces e salgadas). No citado dicionário, o termo contaminação é definido como a introdução de qualquer tipo de impureza num dado ambiente, podendo existir contaminação atmosférica, das águas, do mar, eletromagnética, por óleo e radioativa.

O dicionário brasileiro de ciências ambientais (2002), define poluição como sendo degradação da qualidade ambiental originada por atividades que direta ou indiretamente, causem prejuízo à saúde, a segurança e o bem-estar da população; produzam adversidades para as atividades sócio-econômicas; cause prejuízo a biota; danifiquem as condições estéticas ou sanitárias do ambiente; desprendam matéria e energia fora dos padrões estabelecidos pela legislação ambiental. De acordo com o mesmo a poluição pode ser: atmosférica, hídrica, industrial, química, sonora e térmica.

Segundo Dashefsky (2001), poluição constitui uma alteração negativa na qualidade de algum segmento da biosfera ou em aspectos da vida humana. Tais alterações sem o devido enfrentamento podem causar doenças, morte ou extinção de espécies biológicas. A classificação da poluição quando relacionada a uma parte danificada do planeta, aponta as seguintes modalidades: poluição do ar, água, e solo. Quando a poluição é classificada por sua fonte, apontam-se os seguintes tipos: poluição difusa e poluição de fonte pontual, como exemplo respectivamente tem-se a poluição gerada pela guerra do golfo e a poluição de um oleoduto rompido. A tipificação da poluição pode se dar de acordo com sua causa ou um dado produto, tais como a poluição de plásticos, sonora, termal, metais pesados, do cortador de grama, por entulho espacial, por computador, estética e outros.

Na concepção de Fellenberg (1980), o conceito de poluição ambiental é abrangente, pois se estende desde a contaminação atmosférica, hídrica e pedológica, a desfiguração do entorno geográfico, erosão de monumentos e construções, até a contaminação de carnes com hormônios. No entanto reforça o autor que a poluição ambiental pode ser abordada apenas considerando os fatores do meio ambiente que podem comprometer a saúde ou mesmo a sobrevivência do Homo sapiens. Deste modo nesse prisma restrito, excluí-se do âmbito da poluição os aspectos puramente estéticos ou referentes à proteção da natureza e paisagem, tipificando-se a poluição em poluição natural e antropogênica, sendo a última subdividida em poluição atmosférica, hídrica, térmica, por resíduos sólidos, por praguicidas, medicamentosa, radiativa e sonora.

Conforme Braga (2002), a poluição é uma modificação não desejável nas propriedades físicas, químicas ou biológicas da atmosfera, litosfera ou hidrosfera que produz danos à saúde, à sobrevivência ou às atividades antrópicas e de outras espécies ou ainda que cause deterioração de materiais. Braga observa que para efeito de gerenciamento, controle e prevenção da poluição, essa deve restringir-se aquela de origem antrópica, embora o conceito de poluição possa abranger causas naturais como erupções vulcânicas. Explicita que a poluição pode ser tipificada em

poluição pontual ou localizada como exemplo tem-se o lançamento de esgotos domésticos em um determinado manancial hídrico; e poluição difusa ou dispersa, tendo como exemplo, gases poluentes expelidos por automóveis.

De acordo com Lora (2002), a poluição ambiental, constitui a degradação do ambiente evidenciada por alterações nas propriedades físico-químicas ou biológicas do ar, água ou solo, que causem efeito negativo à saúde, as atividades antrópicas e de sobrevivência humana e de outros organismos vivos. Em função do tipo de poluente a poluição pode ser: poluição física, química, físico-química, bioquímica, e radiativa.

Segundo Sewell (1978), a definição do vocábulo “poluição” já sofreu inúmeras tentativas para conceituação gerando celeuma, cuja causa está centrada no grau em que as atividades antrópicas devem ser consideradas como foco para a definição de poluição. Sob um ponto de vista restritivo, muito afeito à engenharia a poluição constitui todo e qualquer despejo de resíduos ou alterações ambientais diretamente lesivas ao homem, deste modo latas vazias ao longo de uma rodovia seriam poluição, contudo as mesmas latas no centro de uma região desértica não acessível ao homem não constituiriam poluição.

Outro enfoque para definição da poluição é o de considerar certa incapacidade humana em predizer a real nocividade de resíduos ou alterações ambientais, assim sendo, a poluição seria a indesejável mudança nas características biológicas e físico-químicas do ar, água e solo que podem afetar ou não a vida humana ou de outras espécies e provocar a degradação dos recursos naturais e culturais. Sob outra perspectiva o conceito de poluição foge do caráter de valoração antropocêntrica, sendo considerada qualquer ruptura do sistema natural causada pelo homem, sendo eticamente aceitável que tal ruptura seja interrompida ou minimizada mesmo que as custas de sacrifícios ou efeitos negativos para as atividades econômicas e produtivas da humanidade.

Conforme Sewell (1978), a definição mais ampla de poluição é a que evoca algo fora do lugar, ou seja, a disposição de matéria e ou energia num dado

ambiente de tal maneira que o mesmo não seja capaz de assimilá-las de modo satisfatório, em tal conceito a origem dos poluentes pode ser antrópica ou natural.

Qualquer que seja o enfoque adotado para a definição e tipificação da poluição ambiental é inegável que nos últimos cem anos as ações antrópicas tem intensificado o efeito nocivo dos diversos tipos de poluição sobre a qualidade de vida do ser humano e contribuído para a extinção de outras formas de vida. A globalização dos efeitos ambientais, decorrentes da poluição torna premente um repensar e um agir efetivo, na remodelação do modelo de desenvolvimento econômico e na relação filosófica do homem com o seu entorno ambiental maior, o planeta terra.

3.4. POLUIÇÃO NUCLEAR

Com intuito de propiciar uma ampla apreensão das questões ambientais associadas à poluição nuclear, dentro de um contexto que contemple os fatores geopolíticos e geoeconômicos, se faz necessário: realizar um levantamento histórico da evolução de algumas descobertas científicas sobre os fenômenos nucleares e de seus empregos no contexto bélico e pacífico; levantar os conceitos científicos relevantes para o entendimento da poluição nuclear; descrever as fontes de poluentes radioativos; pormenorizar os meios de armazenagem e tratamento de resíduos radioativos bem como os efeitos ambientais da poluição nuclear.

3.4.1. BREVE HISTÓRICO

As primeiras descobertas associadas ao fenômeno da radioatividade remontam ao final do século XIX. Em 1886, Eugen Goldstein ao perfurar o catodo de um tubo de Crookes, constatou que, a partir dessas perfurações surgia um tipo de

radiação que apresentava carga elétrica positiva, sendo denominada por Goldstein de raios canais, Martins (2001).

Em 1895, Wilhelm Konrad Röntgen trabalhando com um feixe de elétrons emitidos por um catodo, percebeu que ao serem freados por um alvo sólido produziram radiações por ele denominadas de raios-X. Röntgen observou que os raios-X passavam através da carne, mas não pelos ossos. Isto produziu um grande impacto na medicina, ocorrendo rápida disseminação do uso de equipamentos de raios-X em aplicações médicas na Europa e Estados Unidos, Martins (2001), Faria (1989).

Em 1896, Henri Becquerel verificou que sais de urânio (sulfato de uranila e potássio - $K_2UO_2(SO_4)_2 \cdot 2H_2O$) emitiam radiações análogas às dos raios-X e que impressionavam chapas fotográficas. Tais radiações eram emitidas naturalmente, sendo inicialmente denominadas de raios urânicos ou raios de becquerel, Martins (2001), Rosmorduc (1988). Tal descoberta assinala o marco histórico da descoberta da radioatividade, Osada (1972), porém convém salientar que o termo radioatividade foi cunhado pelo casal Curie, ao constatar que outros elementos emitiam tais radiações, Merçon & Quadradt (2004).

Becquerel submete a radiação naturalmente emitida pelo urânio à ação de um campo eletromagnético, e constata que os raios urânicos eram, constituídos de três partes distintas. Tais partes são denominadas radiações alfa, beta e gama por Ernest Rutherford, Martins (2001). Em 1909, Rutherford e Royds estabelecem que uma das partes denominada de radiação alfa, é formada de corpúsculos de carga elétrica positiva dupla, em valor absoluto, da carga elementar ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Coulomb). A radiação denominada beta é identificada por Pierre e Marie Curie como um fluxo de elétrons. Ao passo que a radiação denominada gama, que não sofria desvio pelo campo eletromagnético é reconhecida por Paul Ulrich Villard como sendo de natureza eletromagnética, Rosmorduc (1988).

Seguem-se várias descobertas científicas no recém inaugurado campo da radioatividade, como a descoberta dos elementos químicos rádio e polônio em 1898 pelo casal Pierre e Maire Curie e as leis que descreviam o decaimento radioativo elaboradas por Ernest Rutherford e Frederick Sody, os quais demonstraram em 1903 que a radioatividade era uma prova da instabilidade dos átomos, Martins (2001).

No campo da física, inúmeros avanços ocorrem para um melhor entendimento da estrutura íntima da matéria e do universo, como: a descoberta do elétron por Joseph John Thomson em 1897, a hipótese quântica de Max Planck em 1900, a teoria da relatividade restrita em 1905 de Albert Einstein e a interpretação do efeito fotoelétrico e do movimento browniano também por Einstein, os modelos atômicos de Rutherford em 1911 e de Neils Henrik Bohr em 1913, a teoria de De Broglie sobre a natureza do elétron em 1924.

A Teoria física que mais contribuiu para o entendimento da radioatividade e por conseqüência da estrutura do núcleo atômico foi a mecânica quântica, a qual surge a partir da teoria de Heisenberg em 1925. O cientista em questão procurava um método para calcular a intensidade das linhas espectrais, explicadas em sua frequência pelo modelo de Bohr, mas não em sua intensidade. Assim sendo, Heisenberg constrói uma nova mecânica onde poderia calcular não só a frequência, mas também a intensidade de cada linha espectral do átomo de hidrogênio, mostrando adequada concordância entre o modelo teórico e os dados experimentais. Embora a nova mecânica criada por Heisenberg fosse aceita, essa carecia de um significado físico, pois, parecia mais à resolução de um código.

Quando então, em 1926, o físico Schrörindger apresentou a nova mecânica de um modo mais compreensível, lastreado na idéia de De Broglie, considerando o elétron inicialmente como uma onda para descrever seu movimento e, depois, conferindo a essa onda um caráter corpuscular.

Nascia assim a mecânica ondulatória, Schrörindger ao usar uma matemática mais avançada demonstrou posteriormente que as duas mecânicas eram expressões de uma mesma equação, com conteúdos completamente iguais. Os trabalhos de

Dirac, Jordan, Von Newman e outros refinaram a mecânica quântica, de tal modo que a partir dessa época tal teoria passou a ser empregada no estudo da estrutura atômica, molecular, do estado sólido, e posteriormente nuclear, Osada (1972), Martins (2001), Segré (1987).

Em 1928, Gamow publicou um trabalho interessante aplicando a mecânica quântica para o estudo do decaimento alfa, o que implicava que no estudo da estrutura nuclear poderia se empregar a mecânica quântica. No mesmo ano da publicação de Gamow, Dirac obtinha uma equação de onda relativística pela combinação da equação de Schrödinger e da teoria da relatividade de Einstein, tornando possível o estudo de elétrons em alta energia. Em 1930, ele previu por meio dessa teoria a existência do pósitron, Osada (1972).

Por volta do início dos anos trinta, existia a idéia de que o núcleo atômico era constituído por prótons e elétrons e, portanto, seus movimentos seriam descritos pela mecânica quântica. A equação de Schrödinger descreveria o próton mais pesado, a equação de Dirac descreveria o elétron mais leve. No entanto pela teoria de Dirac era impossível encerrar o elétron de velocidade muito alta num domínio pequeno como o do núcleo atômico com raio da ordem de 10^{-13} cm.

Isto constituía uma encruzilhada para tal teoria nuclear, porém em 1932, James Chadwick descobriu o nêutron, o que implicava que o núcleo atômico seria constituído por prótons e nêutrons, sendo a mecânica dos seus movimentos a mecânica quântica de Schrödinger e Heisenberg. Isto marca o surgimento da física nuclear, a qual nos últimos 75 anos tem buscado aproximações para obter soluções para a equação de Schrödinger, tendo em vista, que o número de partículas constituintes do núcleo atômico varia de cem a duzentas, o que torna difícil a manipulação matemática, praticamente impossibilitando a resolução da equação de Schrödinger com extremo rigor, Osada (1972).

Em 1939, os cientistas alemães Otto Hahn e Fritz Strassmann observam experimentalmente a fissão dos núcleos atômicos de átomos de urânio ao serem bombardeados por nêutrons, embora descrevam o fenômeno constatado não o

explicam adequadamente. Tal interpretação é realizada posteriormente pela física austríaca Lise Meitner, radicada na Suécia devido a perseguição levada a cabo pelos nazistas, Merçon (2004).

Em primeiro de setembro de 1939 a Alemanha invade a Polônia iniciando a Segunda Guerra mundial, o físico húngaro Leo Szilard idealizador de um projeto da bomba atômica por volta de 1933, procura convencer as potências aliadas antinazistas a desenvolvê-la. Já em 1936, Szilard havia elaborado e patenteado na Inglaterra duas alternativas para construir a citada bomba, embora não houvesse na época dados experimentais que dessem suporte a tal projeto, ainda que os mesmos estivessem fundamentados no princípio de que os núcleos atômicos guardavam colossal quantidade de energia, Herrera (1985).

Paralelamente em 1939, Joliot-Curie na França e o grupo de pesquisa de Enrico Fermi na Universidade de Colúmbia realizam experimentos com fissão nuclear, Leo Szilard convence o governo britânico a desenvolver o projeto da bomba atômica, no entanto devido ao esforço de guerra, os ingleses abandonam tal projeto, repassando todas as informações para os americanos em 1941. Nos Estados Unidos, Szilard convence Enrico Fermi e depois Einstein a levar suas idéias ao governo americano. Em agosto de 1939, Einstein escreve uma carta ao presidente Roosevelt alertando sobre o que representaria uma arma baseada na fissão nuclear. De pronto o presidente americano criou o Comitê do Urânio, do qual, mais tarde originou o Projeto Manhattan.

Em 1942, Enrico Fermi, físico que saiu da Itália devido à ditadura fascista de Benito Mussolini, coloca em funcionamento o primeiro reator nuclear do mundo em Chicago, o qual usava carbono grafite como moderador de nêutrons e 50 toneladas de urânio natural, sendo este o caminho posteriormente usado para produzir a bomba atômica de plutônio, Herrera (1985).

Dando prosseguimento as pesquisas nucleares e de enriquecimento de urânio, o governo americano criou sob absoluto sigilo o projeto Manhattan. O qual reuniu a nata de cientistas norte americanos e cientistas exilados em solo

americano, concentrou recursos da ordem de dois bilhões de dólares, utilizou a mão de obra especializada de milhares de técnicos e engenheiros, sob um fantástico planejamento industrial e logístico. Após cinco anos do recebimento do relatório "The use of uranium for a bomb" cedido pelos ingleses, os americanos detonam ao primeiro artefato nuclear em 16 de julho de 1945 em Alamogordo no Novo México, Herrera (1985).

Em 6 de agosto de 1945 lançam a bomba atômica Little Boy a base de urânio enriquecido na cidade japonesa de Hiroxima, matando 80000 pessoas. Em 9 de agosto, lançam a bomba atômica Fat Man a base de plutônio na cidade japonesa de Nagasaki, matando 40000 pessoas, Thomas (1977), Merçon (2004). Grande polêmica envolve tais lançamentos, pois a Alemanha já havia sido derrotada, e o Japão estava isolado em seu arquipélago, sem recursos para continuar a guerra, portanto, quais razões levaram os americanos a lançarem tais bombas?

As justificativas apresentadas vão da necessidade de testar o efeito de tais artefatos em centros urbanos e sobre seres humanos, a viabilização do término da guerra com imediata rendição japonesa, poupando milhares de vidas de soldados americanos, as quais seriam inevitavelmente ceifadas caso houvesse a invasão militar do Japão; e a presumível demonstração de poder diante dos soviéticos, Merçon (2204), Herrera (1985), Thomas & Witts (1977).

Após a rendição alemã em 8 de maio de 1945, os aliados constataram que os cientistas germânicos nunca estiveram próximos de produzir uma arma nuclear. As causas para tal situação, segundo Herrera (1985), se devem ao fato que os norte-americanos carregaram recursos e organizaram um modus operandi onde os conhecimentos científicos e idéias geniais dos físicos foram passados para a execução prática por engenheiros disciplinados e obedientes, já na Alemanha, os estudos ficaram restritos aos pesquisadores, pouco práticos para finalizar um projeto tecnológico. Merçon (2004), cita o historiador Eric Hobsbawm, que postula que a máquina de guerra alemã não pode dispor dos recursos necessários para tal

empreendimento tecnológico, preferindo concentrar-se no desenvolvimento de foguetes, que propiciavam um retorno mais imediato.

Após o término da Segunda Guerra Mundial, a tensão geopolítica entre a União Soviética e os Estados Unidos dão início a um período histórico conhecido como "Guerra Fria", que vai de 1945 a 1989 com a queda do muro de Berlim, Merçon (2004). Nesse período surgem dois blocos antagônicos, o bloco ocidental liderado pelos Estados Unidos e organizados militarmente através da OTAN (Organização do Tratado do Atlântico Norte) e o bloco oriental liderado pela União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) e organizado militarmente através da aliança do Pacto de Varsóvia.

Durante a Guerra fria ocorre uma expansão no número de países que detém armas nucleares, em 1949 a URSS explode sua primeira bomba atômica, seguindo-se da Inglaterra em 1952, da França em 1960, da China em 1964 e da Índia em 1974. Em 1952, os Estados Unidos explodem sua primeira Bomba de Hidrogênio, baseada na fusão nuclear e muito mais poderosa que as bombas baseadas na fissão nuclear como as empregadas sobre o Japão. A corrida armamentista não para, em 1953 a União soviética explode seu primeiro artefato de fusão, seguida pela Inglaterra em 1957, pela China em 1967, e pela França em 1968, Herrera (1985). Em 1977, os Estados Unidos testam um tipo de artefato nuclear baseado na emissão de nêutrons, o qual provoca menores danos materiais que as bombas de fissão e fusão, porém, é extremamente letal para os seres vivos, Dias (1994).

Os testes envolvendo explosões nucleares foram realizados ao longo das décadas de cinquenta e sessenta na atmosfera, no entanto a opinião pública começa a se preocupar com as conseqüências ambientais de tais explosões, a partir da explosão de Bravo, uma bomba de hidrogênio, detonada no atol de Bikini em 1954. Pois se tornaram públicas informações de que uma nuvem contendo material radioativo resultante da explosão, atingiu regiões muito afastadas, expondo suas populações a altas doses de radiação, Dias (1994).

Como não era possível conter a expansão de nuvens contaminadas com material radioativo, surge então, uma campanha internacional para abolir os testes nucleares na atmosfera. Um dos cientistas que mais se destacou nessa campanha foi o químico americano Linus Pauling, ganhador do prêmio Nobel de química de 1954. Pauling contribuiu decisivamente para arrebatar nove mil assinaturas de cientistas de quarenta e quatro países, num documento que propunha o fim dos testes nucleares, que foi apresentado a ONU. Em 1962 foi conferido o prêmio Nobel da paz a Linus Pauling, devido suas ações pacifistas, Farias (2003).

Em 1963 a pressão da opinião pública mundial ao longo dos anos levou à assinatura de um tratado que coibia experimentos com explosões nucleares na atmosfera. Até esse ano os Estados Unidos tinham realizado 183 explosões nucleares atmosféricas no oceano Pacífico e no deserto de Nevada. A União Soviética, a Inglaterra e a França tinham realizado respectivamente: 118,18 e 4 explosões nucleares atmosféricas. Convém observar que a França foi um dos países que não assinou o tratado, desde então os testes passaram a serem subterrâneos, porém a segurança dos mesmos não era absoluta, pois em 31 testes realizados pelos americanos no deserto de Nevada constatou-se escape de material radioativo para a atmosfera, Dias (1994).

No período da Guerra Fria, surgiram divergências, debates e protestos no seio da comunidade científica internacional contra a proliferação de arsenais nucleares e as conseqüências ambientais decorrentes da prospecção de minérios radioativos, construção e operação de navios, submarinos, armas e usinas nucleares. O complexo Industrial-Militar que passa a dominar o cenário econômico e político americano a partir da década de cinquenta arrebata muitos cientistas para defender seus interesses, Arnt (1985). Como o físico Eduard Teller, pai da bomba de hidrogênio americana, defensor convicto da política de dissuasão nuclear, que propugnava a destruição mútua garantida em caso de um conflito nuclear americano-soviético. No entanto, muitos cientistas opunham-se ao desenvolvimento de artefatos nucleares mais potentes, dentre os quais citam-se os físicos Enrico

Fermi, Isidore Rabi, Robert Oppenheimer e Albert Einstein, contrários ao desenvolvimento da bomba de hidrogênio na administração Truman, Martins (2001). Também na União soviética houve questionamentos, dentre os quais ressaltam-se os do brilhante físico Andrei Sakharov, considerado um dos pais da bomba de hidrogênio soviética detonada pela primeira vez em 12 de agosto de 1953. O cientista russo foi perseguido e confinado sete anos numa cidade a 400 quilômetros de Moscou, por se opor abertamente à política de dissuasão nuclear, aos testes nucleares atmosféricos e por ser partidário da democracia e do pluralismo político, condenando a intolerância e o dogmatismo, Weis & Diegues (1990).

Uma parcela considerável da comunidade de cientistas questionava de modo contundente o uso do conhecimento científico-tecnológico que poluía o meio ambiente e conduzia a uma situação instável de paz armada que poderia levar a terceira guerra mundial, com o conseqüente inverno nuclear e o ocaso da civilização, Goldemberg (1985), Martins (2001). Após décadas de pressão da opinião pública e da comunidade científica e incontáveis conferências, protocolos e tratados de redução e não proliferação dos arsenais nucleares consegue-se com o término da Guerra Fria e o desmantelamento da União Soviética, uma efetiva estabilização e redução dos arsenais nucleares, Merçon (2004), Salgado (2002).

Atualmente as preocupações de conflitos bélicos empregando armas nucleares estão centradas em países detentores de bombas de fissão nuclear que se encontram em regiões conflagradas por disputas políticas, religiosas e territoriais, como a Índia, Paquistão, Israel e Coréia do Norte, Hinrichs (2003). Outra fonte de medo e preocupação está na possibilidade de grupos terroristas utilizarem bombas nucleares ou bombas sujas (artefatos explosivos comuns impregnados com material radioativo) em atentados de natureza política e religiosa, Hinrichs (2003), Murray (1980).

Nas décadas de cinquenta e sessenta, as promessas de energia farta e barata a partir de fissão nuclear seduzia governos e opinião pública. Em 1951, próximo a Detroit é gerada a primeira eletricidade a partir de um reator experimental, em

1953, foi construído o submarino nuclear Nautilus, em 1957, foi completado o primeiro reator nuclear a gerar eletricidade comercialmente na Pensilvânia, Hinrichs (2003).

Ocorre então, a proliferação no emprego de reatores nucleares. No entanto alguns acidentes com a operação de usinas nucleoeleétricas, coloca em cheque o uso dessa fonte de energia, desviando a atenção da opinião pública das armas nucleares para as discussões sobre a periculosidade do uso da energia nuclear, Merçon (2004). O primeiro acidente nuclear ocorreu com a explosão de um reator de pesquisa em Chalk River no Canadá, em 1952, no qual não ocorreram sérios desdobramentos. Em 1961, ocorre a morte de três técnicos, quando da explosão num reator experimental militar em Idaho Falls, nos Estados Unidos, Nunes (1991).

Em 1957, houve a explosão de um reator destinado à produção de plutônio para uso militar na usina de Windscale na Inglaterra. Tal explosão liberou uma nuvem radioativa, que segundo um informe do governo inglês de 1983, provocou a morte de 39 pessoas, acometidas de processos oncológicos derivados desse acidente, Nunes (1991).

No ano de 1979, ocorreu o mais grave acidente com as operações de reatores nucleares nos Estados Unidos, na usina nuclear de Three Mile Island na Pensilvânia. Falhas no sistema de refrigeração e erros na operação do sistema provocaram o derretimento da camisa do elemento combustível e a fusão de um terço do núcleo do reator, com formação de uma bolha de hidrogênio, que poderia explodir e eventualmente romper o vaso de contenção do reator. Os trabalhos de especialistas trazidos para a emergência, reduziram a falha e permitiram trazer o reator para uma parada segura, evitando a liberação de material contaminado para o ambiente, Nunes (1991), Fornari (2001), Dicionário Brasileiro de Ciências Ambientais (2002). Tal acidente embora não tenha produzido vítimas, provocou grande celeuma na opinião pública americana no que concerne aos perigos inerentes ao emprego da energia nuclear.

No entanto, o acidente mais grave é o da Usina de Chernobyl na Ucrânia dentro da União Soviética em 1986. Nessa ocasião, durante um teste no reator número 4, falhas humanas associadas a falhas de equipamentos e erros de projeto, produziram a perda do controle da reação em cadeia, o que gerou duas explosões. As mesmas destruíram o teto do reator e incendiaram o coração do reator, o que provocou a liberação de grande quantidade de material radioativo na atmosfera, sendo esse espalhado pelo vento por considerável parte da Europa. Locais a mais de 1600 Km foram contaminados. Um número superior a 135000 pessoas foi evacuado dos arredores de Chernobyl. Depois de decorridos 3 anos o governo soviético admitiu 36 vítimas fatais, no entanto muitos afirmam que o número de vítimas superou 300 pessoas. Médicos estimam que entre 5000 a 150000 pessoas morrerão prematuramente devido ao acidente. Em 1992 um renomado epidemiologista da Ucrânia constatou um incremento de 900% nos casos de leucemia, em locais próximos a região do acidente. A limpeza total da instalação já superou o custo de 14 Bilhões de dólares. O reator está isolado num sarcófago de aço e concreto, o qual já apresenta fissuras com possibilidade de escape de radiação, Andrade (1986), Hawkes (1986), Dashefsky (2001), Dicionário Brasileiro de Ciências Ambientais (2002).

Os acidentes de Three Mile Island e principalmente Chernobyl, decisivamente constituem um divisor de águas no que concerne ao uso da energia nuclear. A partir dos mesmos, inúmeros países iniciam a desativação de seus programas nucleares. Nos Estados Unidos 21 dos 125 reatores são desligados depois de Three Mile Island e na Europa após Chernobyl, apenas três reatores foram inaugurados Merçon (2004). No entanto alguns países buscam na energia nuclear a panacéia para suas carências energéticas, como a China que pretende quadruplicar sua capacidade nucleoeleétrica até 2020, Hinrichs (2003).

Os defensores da energia nuclear alegam que as novas tecnologias de detecção de radiação e controle de operações nucleares, associadas a projetos mais seguros de reatores e vasos de contenção, e treinamento de mão de obra,

inviabilizam os riscos de novos acidentes. Acrescentam que a energia nuclear representa uma alternativa ecologicamente limpa para combater o efeito estufa, a chuva ácida e a destruição da camada de ozônio, pois é capaz de gerar eletricidade em grande escala sem produzir gases poluentes como o dióxido de carbono (CO_2), os óxidos de enxofre (SO_2 , SO_3) e os óxidos de nitrogênio (NO , NO_2).

Por outro lado os críticos da energia nuclear alegam que é impossível assegurar total segurança na operação de usinas nucleares e nas fábricas de enriquecimento de combustível nuclear. Acrescentam o problema ambiental do lixo nuclear, que no final do século XX, já atingia a cifra de 130000 toneladas, nas quais existem materiais radioativos que permanecerão emitindo radiações perigosas por séculos e até milênios. Alegam que qualquer abrigo construído pelo homem por mais seguro que o seja, não poderá garantir vedação hermética por lapsos de tempo tão grandes.

Outro argumento contrário ao emprego da energia nuclear, diz respeito aos custos astronômicos das operações de desmonte e descontaminação de materiais e artefatos tecnológicos contaminados com material radioativo. Nos Estados Unidos, existem 103 usinas nucleares comerciais em atividade, seus proprietários estão planejando seu fechamento e descomissionamento, o que se revela um trabalho complexo e custoso. Por exemplo, a usina nuclear de Maine Yankee, uma das primeiras usinas nucleares comerciais, terá um custo financeiro na operação de descomissionamento de 635 milhões de dólares, valor extremamente elevado quando comparado com seu custo de construção de 231 milhões de dólares. As despesas com outras usinas devem ficar na mesma faixa. Esses vultosos valores não foram devidamente apreciados na época da construção dessas usinas nas décadas de 60 e 70, Wald (2004).

Além dos acidentes envolvendo usinas nucleares, ocorreram inúmeros sinistros na operação de armas nucleares. Devido ao sigilo que envolve operações militares, se desconhece na grande maioria dos casos a gravidade e os efeitos ambientais. Alguns vieram parcialmente a público, como: o afundamento dos

submarinos nucleares americanos USS Tresher em 1963 e USS Scorpion em 1968, a queda de um bombardeiro Estratégico B-52 contendo quatro bombas de hidrogênio perto de Palomares na Espanha em 1966 e o afundamento do submarino nuclear russo Kursk no mar de Barents em 2000, Palácios(2001).

Acidentes graves também ocorreram com materiais radioativos, notadamente aqueles empregados em medicina nuclear, sendo esses, denominados acidentes radioativos. Em 1962, uma criança levou para casa uma fonte de radiação gama encontrada no lixo, possivelmente empregada em radioterapia, o que provocou a morte de todos os familiares, exceto o pai da criança que a visitava nos finais de semana, Nunes (1991). Em 1963 em Juarez no México, catadores de lixo roubaram um aparelho de radioterapia, o qual foi vendido a um ferro-velho, após a abertura do aparelho foram dispersas 6.010 pastilhas metálicas de cobalto-60. Tal material radioativo misturou-se a sucata vendida posteriormente a fundições mexicanas e a uma fundição nos Estados Unidos. Devido a esse acidente duzentas pessoas receberam altas doses de radiação, no entanto não houve vítimas fatais, Nunes (1991).

O acidente radioativo de maior repercussão ocorreu no Brasil em 1987 na cidade de Goiânia. Na ocasião, catadores de papel e sucata invadiram as dependências de um edifício abandonado, onde até 1985, operou o Instituto de Radiologia de Goiânia, subtraindo uma caixa de chumbo, que continha em seu interior um cilindro de metal contendo uma pastilha com 28 gramas de cloreto de cério (CsCl) e 63 gramas de material aglutinante. Posteriormente a caixa foi vendida e aberta num ferro-velho de Goiânia, ocorrendo grave contaminação ambiental, que produziu conforme os órgãos oficiais, quatro mortes e 244 contaminações em pessoas. Este acidente radioativo teve grande repercussão mundial, abrindo calorosas discussões sobre a segurança na área nuclear, demonstrando a falta de preparo das autoridades brasileiras para lidar de modo eficiente e preventivo na condução de políticas públicas de fiscalização no tocante a

tecnologia nuclear, Nunes (1991). Tal conclusão é reforçada no suplemento Autos de Goiânia da revista Ciência Hoje de março de 1988, ao enfatizar que:

"O acidente de Goiânia deixou transparecer não só o despreparo técnico do governo para enfrentar esse tipo de emergência. Tornou patente, também, a ignorância da população em relação à área nuclear." (Autos de Goiânia, 1988, p.5).

3.4.2. FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS

O entendimento da poluição nuclear em seus diferentes matizes passa necessariamente pela compreensão de certos fundamentos científicos. Os quais dizem respeito aos conceitos físicos, químicos e biológicos, tratados em caráter introdutório nesse capítulo. Tal entendimento também passa pela aferição da velocidade com que os radionuclídeos sofrem decaimento radioativo com o intuito de estimar seu tempo de persistência contaminante; pelo conhecimento das unidades de medida de exposição e dose absorvida de radiação para poder estimar os efeitos das radiações em sistemas biológicos; bem como, na compreensão dos efeitos biológicos das radiações em seus aspectos somáticos e genéticos.

3.4.2.1. CONCEITOS PRELIMINARES

A estrutura da matéria revela-se numa composição onde os átomos ou núclídeos apresentam-se constituídos por duas regiões distintas, a eletrosfera onde estão presentes os elétrons e o núcleo atômico onde estão presentes os prótons e os nêutrons. De modo esquemático, sem levarmos em conta as dimensões reais do núcleo e da eletrosfera podemos representar o átomo conforme a figura (1):

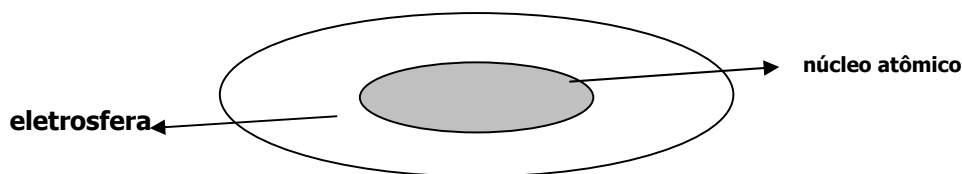


Figura 1: Representação pictórica do átomo.

Os prótons, nêutrons e elétrons são denominados de partículas atômicas apresentando propriedades de massa e carga elétrica, sumarizadas na tabela1:

Tabela 1: Partículas Atômicas, Okuno (1982).

<i>Partícula Atômica</i>	<i>Massa (Kg)</i>	<i>Carga elétrica(C) Coulomb</i>	<i>Representação</i>
Próton	$1,6272 \cdot 10^{-27}$	$1,6021 \cdot 10^{-19}$	p
Nêutron	$1,6275 \cdot 10^{-27}$	nula	n
Elétron	$9,109 \cdot 10^{-31}$	$1,6021 \cdot 10^{-19}$	e

Os núclídeos são caracterizados pelos números atômico (Z) que expressa seu número de prótons, de nêutrons (N) e o número de massa (A), sendo esse, a soma de (Z) mais (N). Por convenção podemos representar um dado núclídeo empregando as seguintes notações:

$${}^A_Z \mathbf{X} \text{ ou } {}_Z \mathbf{X}^A \text{ sendo: } \mathbf{A} = \mathbf{Z} + \mathbf{N}$$

Figura 2: Notações de núclídeos.

Átomos podem apresentar igualdade entre seus números de prótons, ou de nêutrons ou de massa, recebendo as denominações respectivas de isótopos, isótonos e isóbaros, os quais são exemplificados na tabela 2 :

Tabela 2: Tipos de igualdades em termos de partículas nucleares.

<i>Igualdade</i>	<i>Z</i>	<i>A</i>	<i>N</i>	<i>Exemplos</i>
Isotopia	=	≠	≠	$^{12}_6\text{C}$ <u>Carbono</u> e $^{14}_6\text{C}$ <u>Carbono</u>
Isobaria	≠	=	≠	$^{40}_{19}\text{K}$ <u>Potássio</u> e $^{40}_{20}\text{Ca}$ <u>Cálcio</u>
Isotonia	≠	≠	=	$^{11}_5\text{B}$ <u>Boro</u> e $^{12}_6\text{C}$ <u>Carbono</u>

Um conjunto de átomos de mesmo número atômico é denominado elemento químico, o qual apresenta um nome oficial e um símbolo químico. O elemento químico natural de maior número atômico é o Urânio ($_{92}\text{U}$), quando o número atômico de um elemento é menor do que o do Urânio, esse, é nomeado de elemento químico cisurânico, sendo esses, elementos naturais, exceto os elementos Tecnécio, Promécio, Astató e Frâncio, os quais são elementos cisurânicos artificiais. Quando o número atômico for maior do que 92 o elemento é denominado de transurânico, sendo esses, artificiais.

3.4.2.2. INTERAÇÕES E PARTÍCULAS NUCLEARES

De acordo com a Física clássica ou Newtoniana, uma força constitui a entidade física capaz de promover modificação no estado de movimento de um corpo. A Física Moderna denomina as forças de interações e concebe que as mesmas são transmitidas pela troca de partículas mediadoras, existindo quatro tipos de interações, Tipler (2001), sumarizadas na tabela 3:

A interação nuclear forte é responsável pela estabilidade do núcleo atômico, pois atua sobre os quarks, partículas elementares constituintes dos prótons e nêutrons, e de certa forma compensa a força eletromagnética repulsiva que se

manifesta entre os prótons que possuem cargas elétricas de mesmo sinal. A interação nuclear fraca é a força responsável pelo decaimento beta (β), os neutrinos são afetados apenas por esse tipo de interação, Ostermann (1999).

Tabela 3: Tipos de interações, Ostermann (1999), Tipler (2001), Kane (2003).

TIPO DE INTERAÇÃO	CARACTERÍSTICAS	PARTÍCULA MEDIADORA	CAMPO DE ATUAÇÃO	EXEMPLO
Gravitacional	Tipo de interação atrativa que se manifesta entre partículas com massas, tendo um alcance infinito.	gráviton	Massa	Atração entre planetas
Eletromagnética	Tipo de interação atrativa ou repulsiva que se manifesta entre cargas elétricas, tendo um alcance infinito.	fóton	Partículas eletricamente carregadas	Atração entre prótons e elétrons
Nuclear Forte	Tipo de interação atrativa que se manifesta entre os núcleons (prótons e nêutrons), tendo um alcance muito pequeno da ordem de 10^{-15} a 10^{-18} m	glúons	núcleons	Atração entre prótons e nêutrons
Nuclear Fraca	Tipo de interação atrativa de intensidade menor que a interação nuclear forte, tendo um alcance da ordem de 10^{-18} m.	W^+ , W^- , Z^0	Quarks e Léptons	neutrinos

A proposta teórica para explicar a constituição atômica conhecida como modelo padrão, propõe que a matéria é constituída por dois grandes grupos de partículas, os léptons e os hádrons.

Os léptons seriam partículas elementares, isso é, sem estrutura, não participam da coesão do núcleo, ou seja, não apresentam relação com a força nuclear forte, como exemplo de léptons, citamos o elétron, o anti-elétron ou pósitron, e os neutrinos dentre outros, Braz Júnior (2002).

Os hádrons são partículas que interagem via força nuclear forte, mantendo a coesão nuclear, sendo formados por partículas menores denominadas de quarks. Na atualidade são conhecidos seis tipos ou "sabores" de quarks, nomeados de up (u), dow (d), charm (c), strange (s), top(t), e botton (b), Braz Júnior (2002).

Nunca foi detectado a existência de carga elétrica isolada que fosse uma fração da carga elétrica elementar (e) cujo valor corresponde a carga elétrica de um elétron sendo aproximadamente igual a $1,6 \cdot 10^{-19}$ coulomb, no entanto atribuisse aos quarks up, charm e strange carga elétrica $+2e/3$, e aos quarks dow, top e botton têm carga elétrica igual a $-1e/3$, tal aparente contradição esgota-se quando consideramos que os quarks existem unidos, formando os hádrons, os quais subdividem-se em dois grupos, os mésons e os bárions, Braz Júnior (2002).

Os bárions apresentam spin nuclear fracionário sendo compostos a partir de três quarks, os prótons e nêutrons são exemplos de bárions. O próton tem carga elétrica (+e) revelando uma constituição tipo (uud), ou seja, formado por dois quarks up e um dow, dessa combinação em termos de carga elétrica teríamos o seguinte resultado $(+2e/3 + 2e/3 - 1e/3 = +e)$. O nêutron tem carga elétrica nula revelando uma constituição tipo (udd), ou seja, formado por um quark up e dois dow, dessa combinação em termos de carga elétrica teríamos o seguinte resultado $(+2e/3 - 1e/3 - 1e/3 = 0)$, Braz Júnior (2002).

Os mésons são tipos de hádrons que apresentam spin nuclear com valor inteiro, como exemplos, citamos os píons (π^+, π^0, π^-) os quais são partículas

mediadoras que intermedeiam a troca de partículas entre núcleons ou seja as partículas nucleares, Ostermann (1999).

Existe um grande número de partículas, como os múons, pósitrons, antiprótons e antinêutrons, que são estudadas no campo de pesquisa da física nuclear e de partículas subatômicas. Outro modo de classificar tais partículas está em dividi-las em férmions e bósons, Kane (2003). Os férmions são as partículas de massa, como os prótons e os elétrons, os bósons são as partículas intermediadoras das forças, a força eletromagnética é intermediada por fótons; a força nuclear fraca, envolvida na formação de elementos químicos é intermediada por bósons (w) e (z); a força nuclear forte, que mantém os núcleos atômicos coesos é intermediada por glúons; para a força da gravidade foram postulados os grávitons.

3.4.2.3. ESTABILIDADE NUCLEAR

Inúmeros são os fatores que contribuem para a estabilidade e instabilidade dos núcleos atômicos, sendo que quando um núcleo atômico emite algum tipo de radiação, ou seja, sofre um decaimento radioativo, com o propósito de adquirir estabilidade, verifica-se que são conservadas as grandezas da massa-energia relativística, da carga elétrica, do momento linear, do momento angular, do número de núcleons e do número de léptons, Tipler (2001). O decaimento radioativo decorre da instabilidade do núcleo atômico e como todo processo físico obedece às leis de conservação, o entendimento da estabilidade nuclear em caráter introdutório, pode se dar ao considerarmos algumas constatações.

Primeiro, todos os núcleos estáveis contém no mínimo um nêutron, com exceção do isótopo de hidrogênio, denominado prótio (${}^1_1\text{H}$).

Segundo, nos núcleos estáveis, à medida que aumenta o número de prótons, aumenta o número de nêutrons por próton, o que sugere que os nêutrons são

imprescindíveis para evitar a desintegração do núcleo atômico, provocada pela repulsão eletrostática entre os prótons. Deste modo quanto maior o número de prótons no núcleo, maior deve ser a relação nêutron-próton, para manter a estabilidade nuclear.

Terceiro, em nuclídeos com número atômico superior a 83, não existe um número de nêutrons satisfatório para estabilizar seus núcleos atômicos, visto que o último elemento da tabela periódica que possui isótopo estável é o bismuto de número atômico 83, Russel (1994), Mahan (1995), Rozenberg (2002).

O gráfico que expressa no eixo das abscissas os valores dos números atômicos (Z) e no eixo das ordenadas os valores dos números de nêutrons (N), revela uma região denominada cinturão de estabilidade, onde a relação numérica nêutron-próton está próxima de 1 para núcleos atômicos menores, como o caso do isótopo de lítio (${}^6_3\text{Li}$) onde a relação é de um nêutron para cada próton. Bem como revela, que para núcleos atômicos maiores, à medida que cresce o número de prótons, cresce a relação nêutron-próton, como o caso do isótopo de cádmio (${}^{110}_{48}\text{Cd}$) cuja relação é de 1,29 nêutrons para cada próton.

O gráfico (Z versus N) revela também que os núcleos atômicos instáveis têm seus valores de relação (N/Z) acima, abaixo ou entre os extremos do cinturão de estabilidade. Os isótopos que estão acima do cinturão de estabilidade, apresentam uma relação N/Z muito alta, apresentando a tendência de diminuir o número de nêutrons para se transformarem em núcleos dentro do cinturão de estabilidade ou próximo a ele. Para tanto sofrem um decaimento radioativo beta ou, mais raramente a emissão de nêutrons. No decaimento beta um nêutron desintegra-se gerando um próton, um neutrino e um elétron (radiação beta) que é emitido do núcleo atômico em alta velocidade, conforme exemplificado na figura (3) que ilustra o decaimento do xenônio:

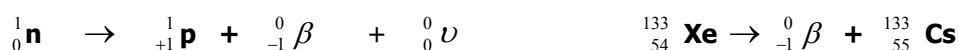


Figura 3: Equação de decaimento do xenônio

No exemplo da figura (3), o nuclídeo pai, o xenônio transforma-se num nuclídeo filho mais estável, o césio, nesse caso a relação nêutron-próton foi de 1,46:1 para 1,41:1. Para certos nuclídeos instáveis são necessários inúmeros decaimentos sucessivos, a fim de que seja alcançado o cinturão de estabilidade, como exemplificado na figura (4), que ilustra os decaimentos radioativos do antimônio:

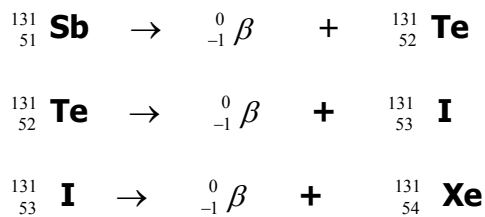


Figura 4: Equações de decaimento do antimônio

No intuito de diminuir a relação nêutron-próton, alguns nuclídeos podem eventualmente emitir nêutrons, como exemplificado na figura (5), que ilustra uma transição isotópica do criptônio por emissão neutrônica:

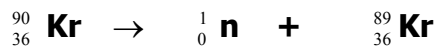


Figura 5: Equação de transição isotópica do antimônio

Os isótopos que estão abaixo do cinturão de estabilidade, apresentam uma relação N/Z muito baixa, apresentando a tendência de aumentar o número de nêutrons para se transformarem em núcleos dentro do cinturão de estabilidade ou próximo a ele. Para tanto sofrem um decaimento radioativo pósitron ou por captura eletrônica. No decaimento pósitron um próton desintegra-se gerando um nêutron, um neutrino e um anti-elétron (radiação pósitron) que é emitido do núcleo atômico em alta velocidade, conforme exemplificado na figura (6) que ilustra o decaimento do cádmio.

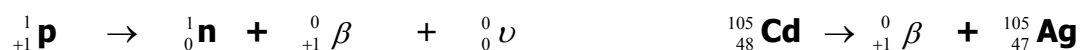


Figura 6: Equação de decaimento pósitron do cádmio

Na captura eletrônica, um elétron preferencialmente da camada eletrônica K é capturado interagindo com um próton do núcleo atômico, dando origem a um nêutron com emissão de neutrino, conforme exemplificado na figura (7) que ilustra o decaimento por captura eletrônica do xenônio:

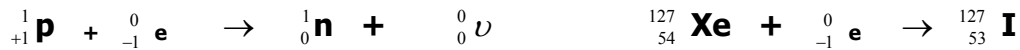


Figura 7: Equação do decaimento por captura eletrônica do xenônio

Para núclídeos cuja relação nêutron-próton revela-se além dos extremos do cinturão de estabilidade, o número total de partículas nucleares (núcleons) é tão elevado que a força de coesão nuclear revela-se insuficiente para mantê-los agregados. Nesse caso o núcleo atômico em busca da estabilidade, emite partículas alfa, que lhe permite diminuir seu número de núcleons em quatro unidades (dois prótons e dois nêutrons), conforme exemplificado na figura (8) que ilustra o decaimento alfa do polônio:

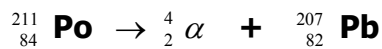


Figura 8: Equação do decaimento alfa do polônio

Para certos núclídeos instáveis que estão além do cinturão de estabilidade são necessários inúmeras emissões radioativas sucessivas, a fim de que seja alcançado o cinturão de estabilidade, como ocorre na série de desintegrações radioativas do urânio 238 (${}_{92}^{238}\text{U}$), o qual após sucessivos decaimentos alfa e beta transforma-se no isótopo estável chumbo 206 (${}_{82}^{206}\text{Pb}$).

A repulsão eletrostática que se manifesta entre os prótons e que varia inversamente ao quadrado da distância, conforme a equação (1.1), deveria ser tão intensa que impediria a formação dos núcleos atômicos. A ocorrência de tais núcleos sugere a existência de uma força de atração muito intensa, que atua só quando os núcleons (prótons e nêutrons) estão muito próximos, unindo-os numa estrutura compacta e coesa. Em conjunto com essa força de atração nuclear há uma energia potencial de ligação, o que implica que no rompimento de um núcleo, com

separação de seus componentes, torna-se necessário fornecer energia ou massa do exterior, levando-se em consideração a relação de Einstein: $E = m c^2$, Murray (1980).

F = força eletrostática de atração ou repulsão

$$F = K \frac{Qq}{d^2} \text{ eq. (1.1) onde: } Q \text{ e } q = \text{cargas elétricas que interagem}$$

d = distância entre as cargas elétricas

A estabilidade de um núcleo atômico é medida por intermédio de sua energia de ligação, a qual constitui um conteúdo energético discreto liberado quando da formação do núcleo a partir da coesão entre prótons e nêutrons. A energia de ligação de um núcleo corresponde à diferença entre a massas dos núcleons que o formam e a massa real do núcleo, expresso seu valor conforme a equação (1.2):

B = massa total das partículas nucleares isoladas - massa do núcleo

$$B = N m_n - Z m_p - M \text{ eq.(1.2)}$$

onde: N = número de nêutrons $m_n =$ massa do nêutron

Z = Número de prótons $m_p =$ massa do próton

M = massa do núcleo

Para exemplificar, consideremos o isótopo de cobalto 57 (${}_{27}^{57}\text{Co}$) que possui um núcleo de massa igual a 56,9215 u (unidade de massa atômica) com 27 prótons e trinta nêutrons, com massas respectivamente iguais a 1,00729 u e 1,00866 u, tal isótopo apresentará uma perda de massa em sua formação igual:

$$B = N m_n - Z m_p - M$$

$$B = 30 \cdot (1,00866) + 27 \cdot (1,00728) - 56,9215$$

$$B = 0,5349 \text{ u (perda de massa)}$$

Como: $6,022 \cdot 10^{23}$ átomos de (${}_{27}^{57}\text{Co}$) possuem perda de massa $\rightarrow 0,5349 \text{ g}$

1 átomo de ($^{57}_{27}\text{Co}$) possuirá perda de massa igual $\rightarrow 8,882 \cdot 10^{-25}$ g

$$\Downarrow \div 1000$$

$$8,882 \cdot 10^{-28} \text{ Kg}$$

Considerando: $E = m c^2$ eq.(1.3)

$$E = (8,882 \cdot 10^{-28} \text{ Kg}) \cdot (2,998 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1})^2$$

$$E = 7,983 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

Considerando que existem 57 núcleons no núcleo de cobalto-57, o valor acima dividido pelo número de núcleons, expressa uma energia de ligação nuclear igual a $1,401 \cdot 10^{-12}$ J por núcleon. Esse conteúdo energético além de ser denominado de energia de ligação recebe o nome de energia de empacotamento, sendo que quanto maior for o valor dessa energia mais estável será o núcleo atômico, pois, em sua formação mais massa foi convertida em energia de ligação, Russel (1994).

3.4.2.4. RADIOATIVIDADE

O termo radioatividade aplica-se aos fenômenos que envolvem núcleos atômicos instáveis, os quais emitem radiações corpusculares e/ou eletromagnéticas no propósito de se tornarem estáveis, nesses processos de emissão radioativa podem surgir elementos químicos diferentes do nuclídeo que emitiu as radiações.

Os diferentes modos de emissão radioativa por parte de um núcleo atômico instável de um determinado nuclídeo são descritos a seguir com a denominação de decaimentos radioativos:

3.4.2.4.1. DECAIMENTO ALFA

Caracteriza-se pela emissão de radiação corpuscular formada por partículas alfa, que são constituídas por dois nêutrons e dois prótons, sendo um conjunto similar ao núcleo atômico do átomo de hélio, e por isso, foram também denominadas de helion. Nesse tipo de emissão radioativa ocorre a formação de um átomo diferente do que lhe deu origem, pois, o número atômico decresce duas unidades e o número de massa decresce quatro unidades, o que é ilustrado na figura (9).



Figura 9: Equação do decaimento alfa.

As partículas alfa apresentam velocidade na ordem de um décimo da velocidade da luz com energia de três a nove MeV (mega elétron-Volt), seu alcance ou poder de penetração, é muito pequeno, sendo da ordem de apenas alguns centímetros no ar. Para absorver qualquer emissão alfa basta apenas uma folha de papel de seda. Isso ocorre devido ao fato das partículas alfa serem bastante massivas, perdendo energia cinética através de sucessivas colisões com átomos ou moléculas do meio. O poder de ionização das partículas alfa é considerável, pois apresenta dois prótons, o que lhe permite absorver dois elétrons dos átomos do meio, transformando-se num átomo de hélio, conforme a figura (10):



Figura 10: Equação do decaimento alfa.

A emissão de partículas alfa ocorre quase que exclusivamente em núclídeos com número atômico maior ou igual a 83, tal emissão, pode ou não, ser acompanhada da emissão de radiação eletromagnética gama, Souza (1990), Biral (2002).

3.4.2.4.2. DECAIMENTO BETA

Caracteriza-se pela emissão de radiação corpuscular formada por partículas beta, que são elétrons oriundos da desintegração de nêutrons do núcleo radioativo, os quais ao se desintegrarem originam prótons e emitem elétrons e neutrinos, conforme representado na figura (11):



Figura 11: Equação de desintegração neutrônica

A emissão beta é acompanhada da emissão de um neutrino, o qual é uma partícula de carga elétrica nula e massa menor do que cinco por cento da massa de um elétron. Nesse tipo de emissão radioativa ocorre a formação de um átomo diferente do que lhe deu origem, pois, o número atômico acresce uma unidade e o número de massa mantém-se constante, o que é ilustrado na figura (12).



Figura 12: Equação do decaimento beta.

As partículas beta apresentam velocidade na ordem de grandeza da velocidade da luz (300.000 Km/s) com energia de até três MeV, seu alcance ou poder de penetração, é maior do que o das partículas alfa, pois por terem maior velocidade, perdem menos energia por colisão com os átomos do meio. Para partículas beta com energias de 100 KeV, 1 MeV e 3 MeV, o alcance no ar respectivamente é igual a 13 centímetros, 4,2 metros e 12,6 metros, Biral (2002). O poder de ionização das partículas beta é cerca de cem vezes menor do que o das partículas alfa, pois apresentam maior velocidade e menor carga elétrica, o que lhes confere menor capacidade de ionização. A emissão beta pode ou não ser acompanhada pela emissão de radiação eletromagnética gama, Souza (1990).

3.4.2.4.3. DECAIMENTO PÓSITRON

Caracteriza-se pela emissão de radiação corpuscular formada por anti-partículas denominadas de beta positivo ou anti-elétron ou pósitron, que são elétrons com carga elétrica positiva oriundos da desintegração de prótons do núcleo radioativo, os quais ao se desintegrarem originam nêutrons e emitem pósitrons e neutrinos, conforme representado na figura (13):



Figura 13: Equação de desintegração protônica

Nesse tipo de emissão radioativa ocorre a formação de um átomo diferente do que lhe deu origem, pois, o número atômico decresce uma unidade e o número de massa mantém-se constante, o que é ilustrado na figura (14):



Figura 14: Equação do decaimento pósitron

O decaimento pósitron é característico de núcleos atômicos instáveis devido a um "excesso" de prótons em relação a outro núcleo de estrutura nuclear estável. A emissão pósitron pode ou não ser acompanhada pela emissão de radiação eletromagnética gama, Souza (1990). O tempo de existência dos pósitrons é da ordem de microssegundos, devido a aniquilação provocada pelo encontro de um pósitron com um elétron, dessa colisão surgem dois fótons de 511 Kev, que corresponde a energia equivalente à massa das partículas, Soares (2003).

3.4.2.4.4. DECAIMENTO POR CAPTURA DE ELÉTRONS

Caracteriza-se pela captura de um elétron do nível de energia ou camada eletrônica K, eventualmente da camada L, o qual interage com um próton do núcleo atômico, dando origem a um nêutron com emissão de neutrino conforme representado na figura (15):

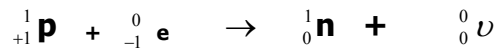


Figura 15: Equação da captura eletrônica

Nesse tipo de decaimento radioativo ocorre a formação de um átomo diferente do que lhe deu origem, pois, o número atômico decresce uma unidade e o número de massa mantém-se constante, o que é ilustrado na figura (16):



Figura 16: Equação do decaimento por captura eletrônica

Muitos núclídeos que são emissores de pósitrons podem sofrer o processo de captura eletrônica, como o núclídeo Mn-52, que em 33 por cento dos decaimentos emite radiação pósitron e em 67 por cento dos casos, sofre captura eletrônica, Souza (1990).

3.4.2.4.5. DECAIMENTO GAMA

O decaimento gama ou transição isomérica caracteriza-se pela emissão de radiação eletromagnética gama, a qual constitui uma forma de energia que se propaga através de ondas eletromagnéticas, transversais, tridimensionais, com velocidade de propagação no vácuo igual a 300.000 Km/s e comprimento de onda que varia de 0,01 a 0,001 angstrom.

A radiação gama constitui-se num conjunto de fótons de elevada energia, sendo produzidos por transições dentro de um núcleo radioativo, sua energia varia de 10 KeV a 10 MeV, Biral (2002). No decaimento gama o núcleo não sofre transmutação, sendo esse processo, denominado isomérico, pois, o número de prótons não sofre alteração. Na transição isomérica um núcleo atômico "meta-estável" ao emitir radiação gama, transfere certo conteúdo energético para fora do núcleo, acomodando-se num estado de menor energia e maior estabilidade conforme representado na figura (17):



Figura 17: Equa\u00e7\u00e3o da transi\u00e7\u00e3o isom\u00e9rica ou decaimento gama

Normalmente ap\u00f3s decaimentos alfa, beta, p\u00f3sitr\u00f3n ou captura eletr\u00f4nica, ocorre emiss\u00e3o imediata ou simult\u00e2nea de radia\u00e7\u00e3o gama, no entanto em alguns casos o nucl\u00eddeo resultante dos decaimentos acima mencionados permanece durante certo lapso cronol\u00f3gico com uma estrutura "meta-est\u00e1vel", emitindo ent\u00e3o radia\u00e7\u00e3o gama, Souza (1990), o que \u00e9 ilustrado na figura (18).



Figura 18: Equa\u00e7\u00e3o do decaimento por captura eletr\u00f4nica seguido de emiss\u00e3o gama

A radia\u00e7\u00e3o gama apresenta grande poder de penetra\u00e7\u00e3o, pois s\u00e3o f\u00f3tons de elevado conte\u00fado energ\u00e9tico. Para oferecer uma blindagem efetiva contra f\u00f3tons de alta energia empregam-se materiais de elevada densidade e alto n\u00famero at\u00f4mico como o chumbo. Por exemplo para reduzir em at\u00e9 dez vezes o fluxo de radia\u00e7\u00e3o gama incidente com f\u00f3tons de energia de dez MeV \u00e9 necess\u00e1rio uma camada de 44 cm de concreto comum com densidade de 2,3g/cm³ ou 4,1 cm de chumbo de densidade 11,3 g/cm³, Biral (2002).

3.4.2.5. INTERA\u00c7\u00c3O DA RADIA\u00c7\u00c3O COM A MAT\u00c9RIA

Nos decaimento de nucl\u00eddeos radioativos ou radionucl\u00eddeos, s\u00e3o emitidas part\u00edculas e/ou radia\u00e7\u00f5es, as quais interagem de diversos modos com a mat\u00e9ria e de maneira direta ou indireta, acabam provocando ioniza\u00e7\u00f5es, e por isso, s\u00e3o denominadas radia\u00e7\u00f5es ionizantes, Souza (1990).

As intera\u00e7\u00f5es das radia\u00e7\u00f5es com um dado meio implicam na absor\u00e7\u00e3o dessas com conseq\u00fcente transfer\u00eancia de energia para os \u00e1tomos do meio em quest\u00e3o. O

entendimento dos mecanismos de absorção da radiação é de importância capital, para o entendimento dos mecanismos de detecção baseados na absorção das radiações, nos efeitos biológicos produzidos por essas e no estabelecimento dos parâmetros que orientarão a proteção contra as radiações, Rocha (1979).

Sob o aspecto quantitativo a absorção da radiação pela matéria mostra que um determinado feixe de radiação incidente é atenuado em função da distância percorrida em um dado meio físico. O registro do número de fótons e a medição de suas energias respectivas, a cada centímetro atravessado pela radiação, produzem uma curva. A curva indica que a maior taxa de atenuação ocorre nos primeiros centímetros da interação com a matéria, Soares (2003).

A curva de atenuação ou absorção é uma função da energia da radiação e do material absorvedor, em virtude disso, habitualmente é descrita para materiais de elevada pureza e para fótons monoenergéticos, Soares (2003).

A capacidade de um meio material para absorver ou atenuar um dado feixe de radiação incidente (A) é diretamente proporcional a intensidade da radiação (I) e igual à taxa de variação da intensidade de radiação (dI) em função da taxa de variação de espessura do meio (dx), conforme expresso nas equações:

$A = \mu x$ onde:

I = intensidade de radiação

x = espessura do material atravessado pela radiação

μ = coeficiente de atenuação do material em função da energia do fóton

$A = - \frac{dI}{dx}$ onde: o sinal negativo significa que I decresce com a espessura

Como: $A = A$ então: $-\frac{dI}{dx} = \mu I \quad \therefore \frac{dI}{dx} = -\mu dx$

Integrando: $\int_{I_0}^I \frac{dI}{I} = - \mu \int_{x_0}^x dx \quad \therefore \quad \ln I \Big|_{I_0} = - \mu dx \Big|_{x_0}$

$(\ln I - \ln I_0) = - \mu (x - x_0)$ **considerando:** $x_0 = 0$ **teremos:**

$(\ln I - \ln I_0) = - \mu x \quad \therefore \quad \ln \frac{I}{I_0} = - \mu x$ **eq.(2.1)**

A equação (2.1) corresponde à forma integrada, tomando a exponencial em ambos os lados dessa equação, tem-se a forma exponencial:

$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x} \quad \therefore \quad I = I_0 e^{-\mu x}$ **eq.(2.2)**

A equação (2.2) constitui a forma exponencial da equação (2.1), onde (I_0) corresponde a intensidade de radiação incidente no meio material absorvedor, (I) corresponde a intensidade de radiação emergente ou transmitida pelo meio material absorvedor, (x) a espessura e (μ) o coeficiente de atenuação linear do meio material absorvedor.

Considera-se que ($x_{1/2}$) expressa a espessura capaz de transmitir uma intensidade de radiação emergente igual a metade da intensidade de radiação incidente, ou seja capaz de provocar uma redução de cinquenta por cento no feixe. Recebe a denominação de camada semi-redutora, abreviada por CSR, Scaff (1997), sendo quantificado o valor da CSR para um dado meio material absorvedor através da equação abaixo deduzida:

$x_{1/2} = x$ **quando:** $I = \frac{I_0}{2}$ **ou** $I_0 = 2 I$

Então: $\ln \frac{I}{I_0} = - \mu x \quad \therefore \quad - \ln \frac{I}{I_0} = \mu x \quad \therefore \quad \ln \frac{I_0}{I} = \mu x$

$$\ln \frac{2I}{I} = \mu x_{1/2} \quad \therefore \ln 2 = \mu x_{1/2} \quad \therefore x_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} \quad \text{eq.(2.3)}$$

Observando a equação (2.3) podemos concluir que uma espessura equivalente a duas camadas semi-redutoras produzirá uma atenuação onde existirá apenas 1/4 de fótons de alta energia original. Do mesmo modo, após uma espessura de três camadas semi-redutoras, teremos apenas 1/8 do fluxo original, após dez camadas semi-redutoras, haverá aproximadamente um milésimo (1/1024) do referido fluxo. Assim sendo, do ponto de vista matemático, nunca será atingindo um conteúdo nulo do fluxo de fótons de alta energia original, Biral (2002).

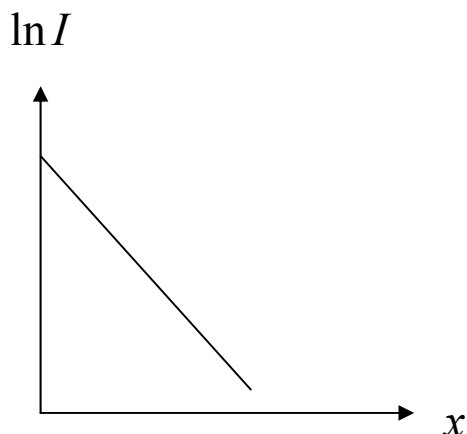
A equação (2.1) ao ser linearizada, fornece num gráfico cartesiano de $(\ln I)$ versus (x) , os valores de (μ) e $(\ln I_0)$ são obtidos respectivamente através do coeficientes angular e linear da reta, conforme demonstrado abaixo:

$$\ln \frac{I}{I_0} = -\mu x \quad \therefore \ln I - \ln I_0 = -\mu x$$

$$\ln I = -\mu x + \ln I_0 \quad (\text{equação linearizada}) \quad \text{eq.(2.4)}$$

$$Y = ax + b \quad (\text{equação da reta}) \quad \text{eq.(2.5)}$$

Comparando a equação (2.4) com a equação (2.5) obtemos o gráfico:



$$\text{Onde: } b = \ln I_0 \quad \text{e} \quad a = x = -\frac{\Delta \ln I}{\Delta x}$$

O gráfico de (**ln I**) versus espessura (x) possibilita avaliar alguns parâmetros relacionados com a capacidade de atenuação de determinada radiação num dado meio físico, tais como o coeficiente de atenuação linear do meio material absorvedor (μ).

A proteção contra radiações ionizantes, como nêutrons, radiações beta, gama e raios x, pode ser obtida pelo emprego de variados materiais, cuja natureza e espessura dependem da natureza da radiação ionizante, em termos energéticos e de poder de penetração. A tabela 4 exemplifica alguns tipos de blindagens empregadas contra radiações ionizantes, Braga (2002):

Tabela 4: Proteção contra radiações ionizantes pelo uso de blindagens.

Radiação	Material para Blindagem
Nêutrons	Quinze a trinta cm de água, parafina ou polietileno seguidos de um mm de cádmio ou um cm de boro; neste último caso, costuma-se misturar óxido de boro à água ou parafina.
Raios X, Gama	Chumbo com grande espessura com a função de conter a radiação emitida ou concreto, ferro, urânio ou outro material de alta densidade.
Radiação beta	Um cm de lucita ou de outro plástico, seguido de um mm de chumbo.

Os diferentes modos de interação da radiação com a matéria são descritos a seguir, considerando-se as radiações alfa, beta, pósitrons e gama, bem como os nêutrons:

3.4.2.5.1. INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO ALFA

A radiação alfa é a mais ionizante, porém a de menor poder de penetração das radiações conhecidas. O elevado poder ionizante das partículas alfa deve-se a sua carga elétrica igual a (+2), o que a faz interagir com os átomos e moléculas do meio, arrancando elétrons e produzindo íons.

Outro fator que contribui para o elevado poder de ionização, está na velocidade relativamente pequena das partículas alfa, da ordem de um décimo da velocidade da luz, o que determina um tempo de interação razoavelmente grande, produzindo uma ionização específica elevada, Souza (1990). A ionização específica corresponde ao número de pares de íons produzidos por milímetro de trajetória percorrida pela partícula ionizante, como em intervalos de tempos muito pequenos ocorrem várias interações, a partícula ionizante perde sua energia cinética, ou seja, sua velocidade muito rapidamente, Scaff (1997). O que explica o baixo poder de penetração das partículas alfa.

No ar a ionização específica da radiação alfa é da ordem de dezenas de milhares de pares iônicos por centímetro de ar percorrido, para materiais mais densos a ionização específica será muito maior, por exemplo, no tecido biológico a ionização específica cresce mil vezes em relação ao ar, no entanto o alcance ou penetração diminui; no ar o alcance é de centímetros, e no tecido biológico é da ordem de 0,01 milímetros, Souza (1990).

O alcance das partículas alfa no ar e em outros meios materiais depende também da natureza da fonte emissora de radiação, pois dela depende a energia das partículas. Por exemplo, para uma fonte emissora de tório-232 que emite partículas alfa com energia de 4,0 MeV o alcance no ar será de 2,5 cm, já para uma fonte emissora de plutônio-239 que emite partículas alfa com energia de 5,1 MeV o alcance será de 3,6 cm. Para partículas alfa de alcance médio com valores situados entre 3 a 7 cm, o alcance é calculado pela equação semi-empírica (2.6), Tauhata

(1981), onde (A) expressa o valor médio do alcance em metros, e (E) a energia da partícula alfa em MeV.

$$A = 0,318 E^{3/2} \quad \text{eq. (2.6)}$$

Quando as energias das partículas alfa são superiores a 200 MeV, o valor médio do alcance é calculado pela equação (2.7):

$$A = E^{1,8} (\text{MeV}) / 37,2 \quad \text{eq.(2.7)}$$

Uma blindagem não muito mais espessa que uma folha de papel alumínio é suficiente para barrar as partículas alfa, devido ao seu pequeno poder de penetração, decorrente do fato das partículas alfa apresentarem uma grande taxa de perda de energia por unidade de comprimento, Biral (2002).

3.4.2.5.2. INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO BETA

A radiação beta pode interagir com a matéria de duas maneiras distintas, por ionização ou por radiação de frenagem conhecida pelo nome de bremsstrahlung.

As partículas betas interagem eletrostaticamente com os elétrons do meio material atravessado pelas mesmas, fornecendo energia adequada para retirá-los dos átomos do meio material, produzindo-se assim, íons. Devido a apresentar maior velocidade e menor carga elétrica do que as partículas alfa, a ionização específica produzida pelas partículas beta é menor em aproximadamente cem vezes do que a produzida pelas partículas alfa; já o seu poder de penetração ou alcance será cem vezes maior do que as partículas alfa, deste modo, o alcance das partículas betas no ar pode atingir alguns metros, Souza (1990). Devido a pequena massa da partícula beta, essa sofre freqüente espalhamento (colisões) com pouca perda de energia, e por conseqüência sua trajetória na matéria é bastante tortuosa; sendo que, a medida que aumenta o número atômico do material do meio que a partícula beta atravessa, aumenta a freqüência de espalhamento , Tauhata (1981).

A radiação beta pode interagir pelo processo denominado radiação de frenagem ou bremsstrahlung, nesse processo, a partícula beta sofre uma

desaceleração e mudança em sua trajetória ao se aproximar de um núcleo atômico; quando isso ocorre há emissão de radiação eletromagnética com comprimento de onda e energia numa ordem de grandeza similar á emissão da radiação X, Souza (1990). A radiação de frenagem emitida pela desaceleração da partícula beta ao se aproximar de um núcleo tem origem distinta dos raios X, visto que esse, resulta de saltos quânticos de elétrons.

A radiação de frenagem ocorre quando as partículas betas interagem com núcleos atômicos pesados, em virtude disso, quando emprega-se uma blindagem para partículas beta usando material com elevado número atômico como o chumbo ($_{82}\text{Pb}$), ocorre emissão de fótons de bremsstrahlung. Isto implica que posteriormente os fótons gerados de alta energia necessitariam de uma blindagem maior para serem bloqueados. Portanto, a blindagem de radiação beta normalmente é feita com uma barreira de alguns centímetros de plástico ou alumínio ($_{13}\text{Al}$), o qual é um elemento químico de menor número atômico e que produz menos fótons através do processo de bremsstrahlung. No entanto, geralmente é recomendado para fontes radioativas emissoras de radiação beta com energia superior a dois MeV, uma blindagem de chumbo, Biral (2002).

3.4.2.5.3. INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO PÓSITRON

A radiação pósitron interage com a matéria através de um processo denominado aniquilação. Por serem partículas de antimatéria, apresentando-se como elétrons com carga elétrica positiva, após sua gênese, interagem com elétrons livres ou que orbitam algum átomo presente no meio material, resultando num mútuo aniquilamento, o qual transforma o pósitron e o elétron em radiação eletromagnética, surgindo dois fótons cada qual com 511 KeV de energia, Soares (2003).

3.4.2.5.4. INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO GAMA

A radiação gama interage com a matéria através de quatro modos principais, que são o efeito fotoelétrico, efeito Compton, formação de pares e conversão interna.

O efeito fotoelétrico ocorre quando a radiação gama atinge um elétron de um dado átomo, transferindo toda sua energia ao elétron, o qual sairá de seu orbital atômico, atuando como um fotoelétron com energia cinética igual a diferença energética entre a energia do fóton incidente (radiação gama) e a energia de ligação do elétron com o átomo, Soares (2003), conforme a equação (2.8):

$$E_{\text{fotoelétron}} = E_{\gamma} - E_{\text{ligação}} \quad \text{eq. (2.8)}$$

No efeito fotoelétrico ocorrem dois tipos de ionização, nomeadas primária e secundária. A ionização primária é a proporcionada pela radiação gama que interage com o elétron, o qual sairá do átomo na forma de um fotoelétron ou elétron acelerado. A ionização secundária é a proporcionada pelo fotoelétron, que irá ionizar os átomos do ambiente.

O efeito fotoelétrico ocorre com uma probabilidade que é proporcional à densidade do meio que está sendo atravessado, crescendo também com o número atômico dos elementos que constituem o meio material, entretanto, tal probabilidade diminui à medida que aumenta a energia do fóton (radiação gama), Biral (2002).

Convém salientar que o poder de ionização da radiação gama é menor do que das radiações alfa e beta, pois se trata de uma radiação eletromagnética desprovida de carga elétrica e com elevada velocidade. O poder de penetração da radiação gama é maior do que as outras formas de radiação, dado seu elevado conteúdo energético.

O efeito Compton, assim denominado por ter sido investigado por Arthur Compton em 1923, Biral (2002), ocorre quando a radiação gama atinge um elétron de um dado átomo, transferindo apenas uma fração de sua energia ao elétron, o qual sairá de seu orbital atômico, atuando como um elétron acelerado com energia

cinética igual à diferença energética entre a energia do fóton incidente (radiação gama) e energia de ligação do elétron com o átomo somada a energia gama emergente, ou seja, a fração residual de energia da radiação gama que não foi absorvida pelo elétron, Soares (2003), conforme a equação (2.9):

$$E_{\text{elétron}} = E_{\gamma \text{ incidente}} - (E_{\text{ligação}} + E_{\gamma \text{ emergente}}) \quad \text{eq. (2.9)}$$

No efeito Compton ocorre uma ionização primária quando o fóton incidente interage com o elétron do átomo, expulsando-o da eletrosfera, ionizando o átomo-alvo. O elétron expulso da eletrosfera, pode provocar ionizações secundárias e a radiação gama emergente de menor conteúdo energético que a radiação gama incidente, pode a posteriori, provocar um genuíno efeito fotoelétrico, Souza (1990) .

O processo de formação de pares ocorre quando radiações gama com conteúdos energéticos superiores a 1,02 MeV se aproximam do núcleo atômico, transformando-se em um par de partícula e antipartícula, respectivamente elétron e pósitron. A formação de pares se constitui no processo inverso do processo de aniquilação, Souza (1990), sendo representado conforme o esquema da figura (19):

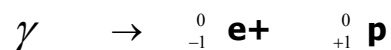


Figura 19: Equação da formação de pares

No processo de formação de pares o fóton com elevado conteúdo energético e, portanto, pequeno comprimento de onda consegue escapar da interação com elétrons da eletrosfera do átomo-alvo, aproximando-se do núcleo atômico o suficiente para sofrer a influência de um intenso campo elétrico nuclear. A interação fóton-campo elétrico nuclear provoca o desaparecimento do fóton, gerando o elétron e o pósitron, Soares (2003).

O processo de conversão interna pode ser considerado como sendo um efeito fotoelétrico interno, pois a radiação gama emitida pelo núcleo atômico interage com um elétron do próprio átomo emissor de radiação, transferindo toda sua energia para o elétron interno, arrancando-o de sua camada eletrônica. O elétron expelido

possuirá elevado conteúdo energético podendo provocar ionizações secundárias, Souza (1990).

3.4.2.5.5. INTERAÇÃO DOS NÊUTRONS

Os nêutrons possuem carga elétrica nula e por isso não apresentam campos elétricos capazes de interagir com os elétrons dos átomos que formam um meio material, assim sendo, as interações neutrônicas se processam apenas com os núcleos atômicos dos citados átomos, Tauhata (1981).

A produção de nêutrons de elevada energia (1 a 10 MeV) se dá pelo bombardeio de partículas alfa em certos materiais leves como o berílio-9 (${}^9_4\text{Be}$) e em materiais pesados como o rádio-226 (${}^{226}_{88}\text{Ra}$), sendo as fontes denominadas de polienergéticas. A produção de nêutrons monoenergéticos se dá pela incidência de um feixe de radiação gama de baixa energia de aproximadamente 2 MeV, em determinados núcleos, como os dos nuclídeos berílio-9 (${}^9_4\text{Be}$) e hidrogênio deutério (${}^2_1\text{H}$), Tauhata (1981).

Podem ocorrer modificações na estrutura dos materiais que interagem com feixes de nêutrons rápidos de alta energia e de nêutrons térmicos de baixa energia. Nas colisões desses nêutrons com os núcleos atômicos de átomos de uma rede cristalina pode ocorrer deslocamento dos núcleos de suas posições originais na rede cristalina, ocasionando defeitos no sólido, que podem propiciar mudanças significativas nas propriedades físicas e mecânicas do material, Tauhata (1981).

Em materiais não cristalinos e substâncias orgânicas, os nêutrons produzem o rompimento de ligações químicas covalentes, podendo ocasionar a formação de radicais livres. Em tecidos biológicos os processos mais significativos de interação neutrônica são o espalhamento elástico e a captura de nêutrons. O espalhamento elástico ocorre predominantemente com nêutrons rápidos com energia da ordem de 0,1 a 20 MeV e nêutrons de energia intermediária com energia da ordem de 1 a 100 KeV, em núcleos de hidrogênio, carbono, nitrogênio e oxigênio. A captura neutrônica ocorre predominantemente com nêutrons lentos com energia da ordem

de 1 a 1000 eV e nêutrons térmicos com energia da ordem de 0,025 eV, em núcleos de hidrogênio e nitrogênio, Tauhata (1981).

3.4.2.6. FISSÃO NUCLEAR

A absorção de nêutrons por núcleos de nuclídeos pesados ocasiona a fissão nuclear, a qual consiste no processo que ocorre quando um núcleo “pesado”, ou seja, de elevado número atômico, sofre um rompimento, produzindo núcleos de menor número atômico; sendo emitidos simultaneamente nêutrons que podem ocasionar a fissão, ou seja, a ruptura de outros núcleos, propiciando uma reação em cadeia e liberando um elevado conteúdo de energia, Murray (1980), conforme ilustrado na figura (20):

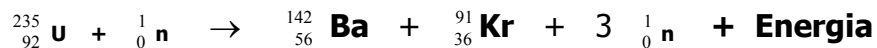


Figura 20: Equação da fissão nuclear do isótopo de urânio 235

No processo de fissão nuclear ocorre uma perda de massa, a qual é convertida em energia obedecendo a equação relativística: $E = m c^2$. O montante de energia produzido é muito elevado, por exemplo, a fissão nuclear de 1,3 gramas de urânio 235 produz um MW-dia (MEGAWATT-DIA) de energia térmica útil, o que explica o uso da fissão nuclear na geração de eletricidade em usinas nucleoeletricas e em artefatos bélicos como a bomba atômica, Murray (1980).

A sustentabilidade de uma reação de fissão nuclear em cadeia depende da possibilidade efetiva dos nêutrons produzidos, serem absorvidos por outros núcleos de material físsil, propagando deste modo, novas reações de fissão nuclear. No entanto nem todos os nêutrons chegam a impactar outros núcleos atômicos, alguns nêutrons escapam, essa fuga é proporcional à área livre entre os átomos do elemento físsil, de tal modo que à medida que aumenta a área aumenta a possibilidade dos nêutrons escaparem não colidindo com outros átomos do elemento físsil. A energia liberada na fissão é proporcional ao volume ocupado pelo material

físsil, pois à medida que aumenta o volume ocupado por tal material, torna-se mais difícil à fuga de nêutrons, aumentando assim, o número de átomos atingidos pelos nêutrons, o que proporciona mais reações de fissão nuclear e mais energia liberada.

A relação entre a área livre e o volume de material físsil é uma constante para cada elemento, sendo denominada massa crítica, constituindo a quantidade mínima de material suficiente para manter uma reação de fissão nuclear em cadeia. A tabela 5 ilustra alguns valores de massa crítica:

Tabela 5: Massas críticas.

<i>Material Físsil</i>	<i>Símbolo Químico</i>	<i>Massa Crítica (Kg)</i>
Urânio-235	$^{235}_{92}\text{U}$	40
Plutônio-239	$^{239}_{94}\text{Pu}$	5,6
Plutônio 241	$^{241}_{94}\text{Pu}$	0,25

Na natureza existem centenas de isótopos, no entanto, apenas o urânio-235 é físsil, sendo o menos abundante dos isótopos do urânio, apresentando uma porcentagem em massa de apenas 0,711 por cento do urânio natural, Murray (1980). O que exige o emprego de diferentes processos de enriquecimento de urânio, como o de difusão gasosa e de centrifugação, no intuito de produzir urânio enriquecido com o isótopo $^{235}_{92}\text{U}$ numa porcentagem de 2 a 3 por cento, adequado ao uso como combustível em usinas nucleares, Hinrichs (2003).

As usinas nucleares podem operar com diferentes tipos de reatores nucleares, os quais podem ser classificados de acordo com o tipo de combustível nuclear empregado em: reatores a urânio natural e reatores a urânio enriquecido. Os reatores a urânio natural empregam como elemento refrigerante à água pesada, ou seja, água onde os dois hidrogênios são isótopos deutério. Os reatores mais usados

no mundo são aqueles que empregam urânio enriquecido, podendo ser do tipo reator de água fervente (BWR) ou reator de água pressurizada (PWR), Hinrichs (2003).

O reator de água fervente encontra-se representado esquematicamente figura (21), nesse reator o núcleo do reator é formado por pastilhas de dióxido de urânio (UO_2) enriquecido aproximadamente a 3% com urânio-235. Tais pastilhas são dispostas em elementos de combustível confeccionados com liga metálica de zircônio, tais elementos são reunidos em grupos contendo 50 a 60 elementos, perfazendo um total de mais de 500 grupos ou feixes, os quais contém em média 35.000 elementos de combustível, com um valor aproximado de 120 toneladas de urânio, Hinrichs (2003).

Os grupos de elementos de combustível são confinados segundo a figura (21), em um vaso do reator, confeccionado em aço, esse vaso é confinado dentro de uma barreira primária de aço e concreto, a qual está contida dentro de uma barreira secundária, representada pelo prédio do reator.

Tal prédio tem sua estrutura reforçada em aço e concreto, sendo capaz de resistir ao impacto de um avião de passageiros. Os elementos de combustível são rodeados por água, a qual atua como elemento refrigerador e moderador, servindo respectivamente para dissipar o calor gerado na reação de fissão e desacelerar os nêutrons produzidos no processo de fissão nuclear. A água de refrigeração do circuito primário chega a atingir a temperatura de 280°C, Hinrichs (2003).

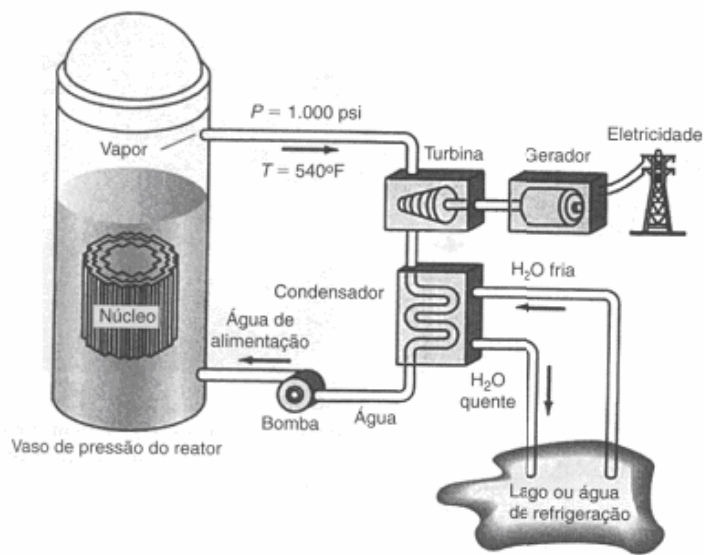


Figura 21: Esquema de um reator (BWR), Hinrichs (2003).

Os reatores a água pressurizada (PWR), têm um esquema básico representado na figura (22), nesses a água do circuito primário de refrigeração chega a atingir a temperatura de 315°C, no entanto essa não se transforma em vapor, devido a elevada pressão. No (PWR) existe um gerador de vapor que transfere calor para a água do circuito de refrigeração secundário, transformando-a em vapor, o qual move uma turbina, produzindo eletricidade. A elevada pressão no vaso do reator exige paredes mais espessas e a água do circuito de refrigeração secundário não entra em contato com o núcleo do reator, Hinrichs (2003).

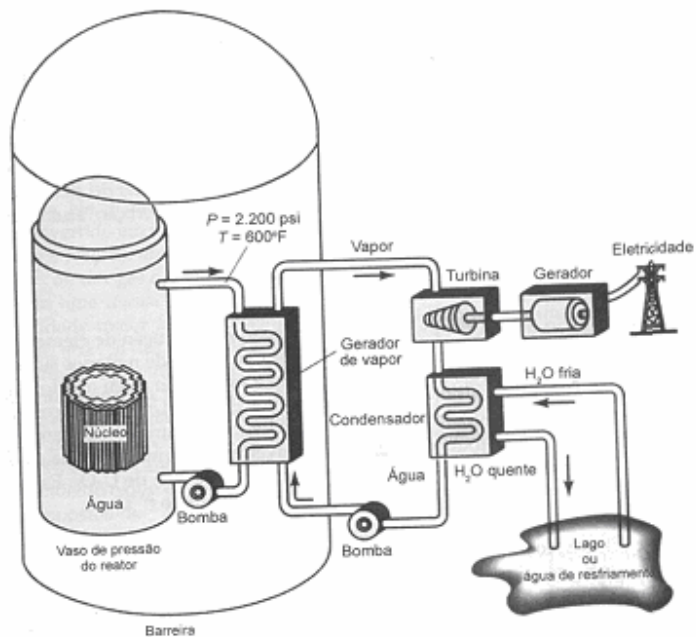


Figura 22: Esquema de um reator (PWR), Hinrichs (2003).

Na produção de bombas nucleares o urânio necessita de um grau de enriquecimento em que a proporção de urânio-235 seja igual a 80 por cento. Outro elemento físsil empregado em tais bombas é o plutônio-239, o qual é obtido a partir de urânio-238, mediante a colocação de uma camisa de urânio natural em torno de um reator nuclear, o que permite que o urânio-238 absorva nêutrons e se transmute em plutônio-239, Goldemberg (1985), conforme ilustrado na figura (23). Por esse processo é possível produzir muitos quilogramas de plutônio por ano empregando um reator nuclear de pequeno porte, em virtude disso, as bombas atômicas construídas com plutônio recebem a alcunha de “bombas atômicas dos pobres”.

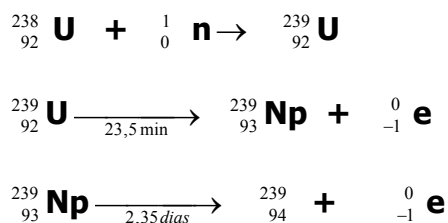


Figura 23: Equação de transmutação do U-238 em Pu-239, Murray (1980).

Na concepção de uma bomba atômica, o urânio enriquecido a 80 % ou o plutônio são disposto de tal modo a constituírem duas ou mais porções com massas ligeiramente subcríticas. Por meio de uma carga explosiva comum, como o TNT (trinitrotolueno), essas massas são reunidas igualando ou ultrapassando a massa crítica e com o auxílio de uma fonte de nêutrons (“iniciador”), inicia-se a reação em cadeia, num evento explosivo, conforme ilustrado na figura (24). Uma massa de cinco a seis quilogramas de urânio enriquecido a 80%, ou massa equivalente de plutônio, permite construir um artefato nuclear com poder explosivo equivalente a 10000 toneladas de TNT (10 quilotons), Goldemberg (1985).

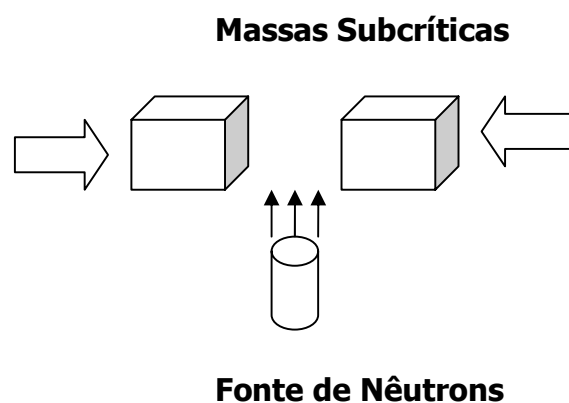


Figura 24: Possível esquema de uma bomba de fissão nuclear.

A explosão de um artefato bélico à fissão nuclear produz quatro efeitos, que são: onda de choque, radiação térmica, radiação nuclear instantânea, radiação nuclear residual, Goldemberg (1985).

A onda de choque consiste no deslocamento de ar que produz pressões de várias atmosferas, destruindo quase todas as edificações que se encontram num dado raio, o qual será tanto maior quanto for o poder explosivo da bomba atômica. A onda de choque exerce uma pressão mecânica que contém 50% da energia da explosão, propagando-se como uma onda de velocidade supersônica de aproximadamente onze quilômetros em trinta segundos e pressão de três toneladas para cada metro quadrado. Na medida em que essa se expande, o vento vai causando destruição, enquanto a onda se esvai, um vácuo é formado no epicentro

da explosão, produzindo um gigantesco deslocamento de ar na direção contrária, Goldemberg (1985).

A radiação térmica consiste na emissão de calor intenso que incinera os seres vivos próximos ao epicentro da explosão e incendeia as construções, gerando grande número de incêndios. A energia térmica contém 33 % da energia da explosão, suficiente para causar queimaduras intensas e incêndios incontroláveis. Após três segundos da explosão, uma pessoa que estiver disposta a 500 metros poderá enxergá-la com uma intensa luminosidade equivalente a 600 sóis, o que produz cegueira instantânea, se a pessoa estiver a três quilômetros de distância verá uma luminosidade equivalente a 40 sóis, Goldemberg (1985).

Aproximadamente 15 % da energia liberada numa explosão nuclear é emitida na forma de radiação ionizante, sendo que um terço dessa radiação é emitida no primeiro minuto após a explosão, constituindo a radiação nuclear instantânea. A radiação nuclear residual contém aproximadamente 60 % da radiação, tendo duração de vários anos, sendo denominada de "fall out", Goldemberg (1985).

A radiação emitida imediatamente após a detonação de um artefato nuclear à fissão, constitui-se de emissões alfa, beta e gama e posteriormente pelos produtos da fissão nuclear e pelos materiais contaminados pela exposição a esses radionuclídeos. Os materiais são contaminados pelo contato com os produtos da fissão que se misturam a eles na nuvem radioativa, ou se tornam radioativos devido ao efeito do bombardeio de nêutrons produzido na explosão. Esse material radioativo depois de ser carregado para o alto pela nuvem radioativa precipita-se sobre o local da explosão, sendo que parte desse é espalhado por extensas áreas, o que depende das condições meteorológicas, notadamente da intensidade e velocidade eólica, Herrera (1985).

3.4.2.7. FUSÃO NUCLEAR

A fusão nuclear consiste no processo onde núcleos atômicos juntam-se para formar um núcleo de maior número atômico. Esse processo nuclear libera por unidade de massa, muito mais energia do que os processos de fissão nuclear, Murray (1980), ocorrendo conforme ilustrado na figura (25):

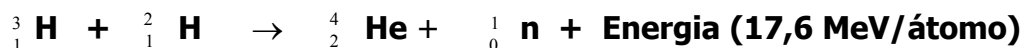


Figura 25: Equação da fusão nuclear dos isótopos de hidrogênio deutério e trítio.

As reações de fusão nuclear ocorrem no interior das estrelas, pois exigem elevadas temperaturas e pressões, no planeta Terra a fusão nuclear manifesta-se quando da explosão de uma bomba de hidrogênio ou bomba H, nessa uma bomba de fissão nuclear produz a temperatura necessária para iniciar a fusão nuclear de maneira rápida e descontrolada, Murray (1980).

Na bomba H para que se obtenha a reação de fusão dos núcleos dos isótopos de hidrogênio deutério e trítio necessita-se uma temperatura de cerca de cem milhões de graus Celsius, o que pode ser conseguido através do emprego de uma bomba de fissão. Portanto, uma bomba H também denominada bomba termonuclear, devido à elevada temperatura, consiste de um estágio de fissão, que é a bomba atômica atuando como um detonador, e um estágio de fusão, no qual o hidrogênio sofre fusão provocado pela energia térmica gerada pelo detonador a fissão nuclear, Goldemberg (1985).

A energia gerada na detonação de uma bomba H provém da detonação de fissão e do material de fusão, no entanto, se a arma de fusão for envolvida por uma camisa de urânio-238, os nêutrons de alta energia gerados no processo de fusão provocarão mais fissões nucleares na camisa de urânio-238. Tal procedimento tecnológico permite elevar o poder explosivo de uma bomba H, tal artefato termonuclear é denominado de dispositivo de "fissão-fusão-fissão", Goldemberg (1985).

Uma típica arma termonuclear tem metade de seu poder explosivo devido à fissão nuclear e a outra metade devido à fusão nuclear. O poder explosivo das bombas H excede em muito o das bombas atômicas ou à fissão, por exemplo, em 1962 a extinta União Soviética explodiu uma bomba H com poder explosivo igual a 58 milhões de toneladas de TNT (58 megatons), o que equivale ao poder explosivo de 3000 bombas atômicas do tipo da que foi empregada na cidade japonesa de Nagasaki em 9 de agosto de 1945, Goldemberg (1985).

Desde de 1952 a fusão nuclear é empregada com eficiência tecnológica em artefatos explosivos, no entanto, ainda não foi possível construir reatores de fusão que sejam economicamente viáveis, havendo problemas de viabilidade técnica. Dentre esses se destaca o fato de que até o presente momento a energia produzida em reatores experimentais ter sido menor do que o consumo de energia total veiculado para iniciar e manter o processo de fusão nuclear, Hinrichs (2003).

Os reatores experimentais a fusão nuclear, trabalham com plasma confinado num campo magnético toroidal. Nesses, bobinas de campo produzem um intenso campo magnético que confina o plasma com elevada temperatura, impedindo-o de entrar em contato com as paredes internas do reator a fusão. Tais reatores são denominados de "Tokamak", sigla em russo para câmara magnética toroidal e empregam bobinas de corrente elétrica ao redor do toróide para gerar um campo magnético em volta do perímetro do toróide, o plasma é confinado pelo campo magnético toroidal. O toróide forma a espira secundária de um transformador, sendo que a corrente induzida no toróide é empregada para aquecer o plasma, conforme ilustrado na figura (26), Murray (1980), Goldemberg (1979), Hinrichs (2003):

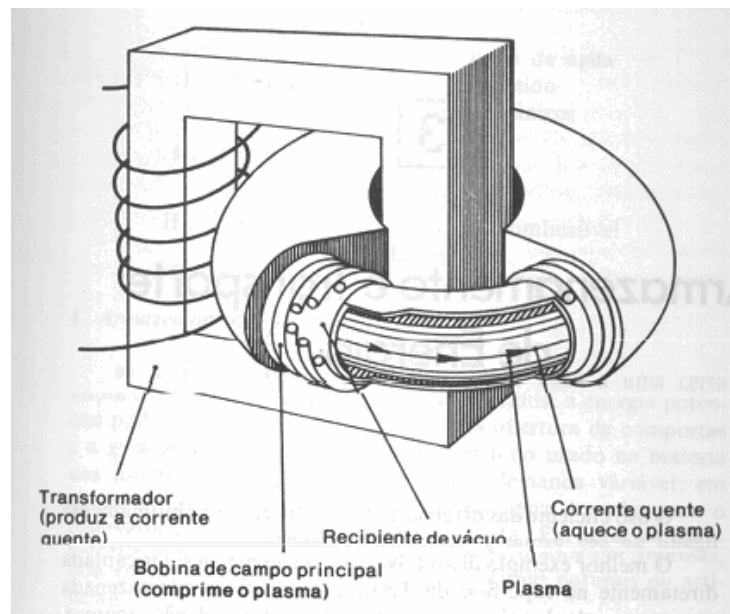


Figura 26: Esquema de um reator Tokamak, Goldemberg, (1979).

A repulsão eletrostática que se manifesta entre os núcleos atômicos com carga elétrica positiva constitui um dos obstáculos para efetivar a fusão nuclear, para superar tal repulsão, os núcleos atômicos devem ser providos de elevados conteúdos de energia cinética, os quais podem ser obtidos quando o combustível apresentar temperaturas de 50 a 100 milhões de °C. Nessas temperaturas a matéria apresenta-se num estado físico denominado plasma, o qual é uma espécie de gás ionizado formado por elétrons livres e núcleos com carga elétrica positiva, como o que ocorre no Sol. Confinar o plasma implica em superar o problema que se apresenta quando a temperatura do gás aumenta, o que provoca um aumento do volume ou da pressão ou de ambas as variáveis de estado. Desse modo, o plasma deve ser confinado num volume fixo para permitir que os núcleos possam se aproximar o suficiente para que haja fusão. Outro obstáculo à fusão em reatores, diz respeito a necessidade de altas densidades, pois, para que haja liberação adequada de energia por fusão, a reação nuclear deve envolver um número elevado de núcleos atômicos. Por fim a energia de fusão liberada deve ser convertida em uma forma útil de energia, ou seja, capaz de ser convertida em trabalho, como a eletricidade, Hinrichs (2003).

A superação dos obstáculos anteriormente citados está sendo buscada de modo intenso em inúmeros centros de pesquisa, existindo a expectativa de que as próximas décadas tragam respostas tecnológicas economicamente viáveis para tornar a fusão nuclear, a redenção energética da humanidade. Pois são muitos os fatores que contribuem para manter elevadas as expectativas em relação ao uso da fusão nuclear para geração de energia, dentre os quais destacam-se:

_ A existência de combustível farto, quase ilimitado, pois poderia ser empregado como combustível o isótopo de hidrogênio deutério (^2_1He) encontrado na água numa proporção de um átomo de deutério para cada 6500 átomos de hidrogênio; a energia produzida na fusão nuclear completa do deutério contido em 1 Km^3 é equivalente a 2 trilhões de barris de petróleo, ou seja, duas vezes as reservas totais de petróleo do planeta Terra, Hinrichs (2003).

_ A extração do isótopo de hidrogênio deutério da água do mar apresenta viabilidade técnica e econômica, constituindo uma base energética farta e barata, Hinrichs (2003).

_ Os produtos finais da fusão nuclear, hidrogênio, hélio e nêutrons não se apresentam tão radioativos como os produtos da fissão nuclear, apenas algumas partes dos reatores de fusão mereceriam maior atenção em termos de proteção radiológica. Some-se a essa vantagem, o fato dos reatores de fusão não produzirem produtos radioativos que poderiam sofrer emprego em artefatos bélicos, como o plutônio-239 ($^{239}_{94}\text{Pu}$), Hinrichs (2003).

_ O emprego de usinas a fusão nuclear as quais não emitem dióxido de carbono (CO_2) contribuiria decisivamente para minimizar o aquecimento global ou efeito estufa, Hinrichs (2003).

3.4.2.8. CINÉTICA DA DESINTEGRAÇÃO RADIOATIVA

Estudos sobre a cinética de decaimento radioativo, ou seja, sobre as velocidades de decaimento, são de importância capital, pois, viabilizam estimar a persistência dos contaminantes radioativos no ambiente e prever suas concentrações (atividades) em um dado tempo, de modo a determinar a possibilidade de completa degradação (decaimento) desses rejeitos radioativos, antes que atinjam áreas de risco para populações e/ou ecossistemas.

Não é possível prever com exatidão a duração de um núcleo radioativo, o mesmo, poderá permanecer sem se desintegrar, por lapsos de tempo, de dias, meses, ou até séculos, no entanto pode-se estimar o tempo de vida de um conjunto de núcleos radioativos mediante cálculos estatísticos sobre amostras contendo considerável número de núcleos de um determinado radionuclídeo, Okuno (1982). Sendo assim torna-se possível avaliar a velocidade com que o radionuclídeo sofre decaimento radioativo, ou seja, emite radiações.

A cinética do decaimento radioativo é de primeira ordem, onde o termo ordem representa a classificação matemática da equação diferencial, expressando a soma dos expoentes dos termos de concentração que comparecem na forma diferencial da lei de velocidade. A velocidade (V) de decaimento radioativo ou taxa do decaimento revela-se diretamente proporcional ao número de átomos (N), onde o fator de proporcionalidade é denominado de constante de desintegração (λ). Tal velocidade ou taxa de decaimento radioativo expressa a variação do número de núcleos (d N) num dado intervalo de tempo (dt), Okuno (1982), Scaff (1997), Souza (1990). Expressando na forma algébrica, teremos:

$$V = \lambda N \quad \text{onde: } V = \text{velocidade de decaimento radioativo}$$

N = número de átomos do radionuclídeo

λ = constante de desintegração radioativa

$v = - \frac{dN}{dt}$ **onde:** o sinal negativo significa que (N) decresce com o tempo

Como: $v = v \therefore - \frac{dN}{dt} = \lambda N \therefore \frac{dN}{N} = - \lambda dt$

Integrando entre os limites de números de átomos inicial e final (N_0) e (N) respectivamente para os limites de tempos inicial e final (t_0) e (t) teremos:

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = - \lambda \int_{t_0}^t dt \therefore \ln N \Big|_{N_0} = - \lambda dt \Big|_{t_0}$$

$(\ln N - \ln N_0) = - \lambda (t - t_0)$ considerando: $t_0 = 0$ teremos:

$$(\ln N - \ln N_0) = - \lambda t \therefore \ln \frac{N}{N_0} = - \lambda t \text{ eq.(3.1)}$$

A equação (3.1) corresponde à forma integrada da lei cinética do decaimento radioativo. Tomando a exponencial em ambos os lados da equação (1.1), tem-se a forma exponencial:

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} \therefore N = N_0 e^{-\lambda t} \text{ eq.(3.2)}$$

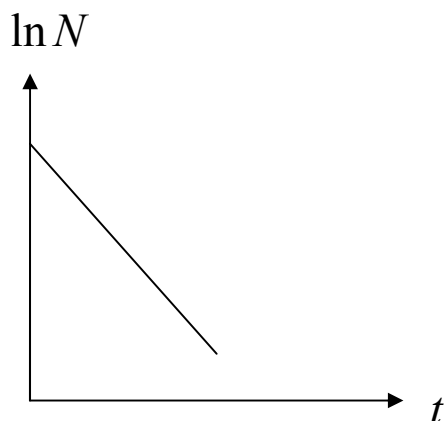
As variações de (N) podem envolver números muito grandes, sendo útil empregar um papel monologaritmo para sua representação gráfica, ou linearizar a equação (3.1), a qual fornece num gráfico cartesiano de (ln N) versus (t), os valores de (λ) e ($\ln N_0$), obtidos respectivamente através do coeficientes angular (a) e linear (b) da equação da reta, conforme demonstração:

$$\ln \frac{N}{N_0} = - \lambda t \therefore \ln N - \ln N_0 = - \lambda t$$

$$\ln N = -\lambda t + \ln N_0 \quad (\text{equação linearizada}) \text{ eq.(3.3)}$$

$$Y = ax + b \quad (\text{equação da reta}) \text{ eq.(3.4)}$$

Comparando a equação (3.3) com a equação (3.4) obtemos o gráfico:



Onde: $b = \ln N_0$ eq.(3.5) e $a = \lambda = -\frac{\Delta \ln N}{\Delta t}$ eq.(3.6)

A obtenção do valor da constante de decaimento radioativo (λ) por meio do gráfico de ($\ln N$) versus (t), permite obter uma constante específica do decaimento radioativo de um dado radionuclídeo, a qual expressa a fração do número de átomos do radionuclídeo que se desintegra ou decai na unidade de tempo. No aspecto dimensional a unidade de (λ) é igual a (s^{-1}), a mesma unidade (SI) da grandeza física frequência, portanto, para um dado radionuclídeo a constante radioativa expressa a frequência com que ocorrem desintegrações na unidade de tempo, Souza (1990). A constante de decaimento radioativo para o radioisótopo rádio 226 (${}^{226}_{88}\text{Ra}$) é igual a $1/2300 \text{ ano}^{-1}$, isto significa, que de uma amostra contendo 2300 átomos de rádio 226, desintegra-se em média um átomo por ano.

Uma das grandezas cinéticas mais importantes para estimar o tempo de persistência de um contaminante radioativo, ou seja, o lapso de tempo em que o material radioativo permanecerá contaminando um dado ambiente, é o tempo de meia vida ou período de semi-desintegração ($t_{1/2}$). Esse expressa o intervalo de tempo necessário para que haja a desintegração de metade dos átomos de uma amostra radioativa, Scaff (1997). A equação (3.7) permite obter o valor do tempo de meia vida e pode ser deduzida conforme a demonstração:

$$t_{1/2} = t \quad \text{quando: } N = \frac{N_0}{2} \quad \text{ou} \quad N_0 = 2N$$

$$\text{Então: } \ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t \quad \therefore \quad -\ln \frac{N}{N_0} = \lambda t \quad \therefore \quad \ln \frac{N_0}{N} = \lambda t$$

$$\ln \frac{2N}{N} = \lambda t_{1/2} \quad \therefore \quad \ln 2 = \lambda t_{1/2} \quad \therefore \quad t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad \text{eq.(3.7)}$$

A avaliação do tempo de persistência de contaminantes radioativos num dado ambiente passa pelo conhecimento do lapso de tempo necessário para que todos os átomos dos radioisótopos atinjam um estado de estabilidade, e, portanto, deixem de emitir radiações. Este tempo de persistência de radionuclídeos é indicado fisicamente em termos de meia-vida, a tabela (6) fornece valores de tempos de meia-vida de alguns radionuclídeos, Fellenberg (1980):

Tabela 6: Tempos de meia-vida de alguns radionuclídeos adaptada de Fellenberg (1980).

Radionuclídeo	Meia-vida	Tipo de radiação emitida
Sódio ($^{24}_{11}\text{Na}$)	15 horas	beta
Iodo ($^{131}_{53}$)	8 dias	beta e gama
Estrôncio ($^{90}_{38}\text{Sr}$)	28 anos	beta
Césio ($^{137}_{55}\text{Cs}$)	30 anos	beta
Carbono ($^{14}_6\text{C}$)	5570 anos	beta
Urânio ($^{235}_{92}\text{U}$)	713000000 anos	alfa e gama

No entendimento adequado da poluição nuclear, emprega-se além do tempo de meia-vida físico o tempo de meia-vida biológico de um dado radioisótopo, pois, esse indica o lapso de tempo em que a metade de um radionuclídeo absorvido pelo ser humano é eliminada. Tal eliminação se dá através do metabolismo do organismo, envolvendo excreção pelas fezes, urina e etc. O organismo sofre um maior comprometimento biológico quando absorve radioisótopos com meia-vida biológica mais longa do que radioisótopos de meia-vida biológica mais curta, Fellenberg (1980). A tabela (7) relaciona alguns radioisótopos que são produtos de fissão nuclear, explicitando seus tempos de meia-vida físicos e biológicos, bem como os órgãos humanos críticos na absorção dos mesmos.

Tabela 7: Tempos de meia-vida física e biológica, Fellenberg (1980).

Radioisótopo	Meia-vida física	Meia-vida biológica	Órgão crítico
Estrôncio 89	54 dias	50 anos	Ossos
Estrôncio 90	28 dias	50 anos	Ossos
Iodo 131	8 dias	138 dias	Tireóide
Césio 137	30 anos	≅ 140 dias	Músculos
Bário 140	13 dias	200 dias	Ossos

Outro conceito pertinente à cinética do decaimento radioativo importante para avaliar parâmetros de tempo na poluição nuclear é o de vida-média de um radionuclídeo (\bar{T}). A vida-média de um radionuclídeo expressa a média dos tempos de existência dos átomos desse elemento radioativo. Sua dedução segundo Scaff (1997) segue a seguinte demonstração:

$$- \bar{T} = \frac{\int_0^{N_0} t dN}{\int_{N_0}^0 dN} \quad \text{como: } N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \therefore \quad t = -\frac{1}{\lambda} \ln \frac{N}{N_0}$$

$$- \text{Então: } \bar{T} = \frac{1}{\lambda} \frac{\int_{N_0}^0 -(\ln \frac{N}{N_0}) dN}{-N_0}$$

$$- \bar{T} = \frac{1}{\lambda N_0} \int_{N_0}^0 (\ln N dN - \ln N_0 dN)$$

$$\begin{aligned}
- \bar{T} &= \frac{1}{\lambda N_0} \int_{N_0}^0 \ln N dN - \ln N_0 \int_{N_0}^0 dN \\
- \bar{T} &= \frac{1}{\lambda N_0} (N \ln N - N \Big|_{N_0}^0 - \ln N_0 \cdot N \Big|_{N_0}^0) \\
- \bar{T} &= \frac{1}{\lambda N_0} (-N_0 \ln N_0 + N_0 + N_0 \ln N_0) \\
- \bar{T} &= \frac{1}{\lambda} \quad \text{eq. (3.8)}
\end{aligned}$$

Habitualmente a vida-média de um radionuclídeo (\bar{T}) é calculada em função do tempo de meia-vida ou período de semi-desintegração, como demonstrado na equação (3.9).

$$\begin{aligned}
- \bar{T} &= \frac{1}{\lambda} \quad \text{como: } t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad \therefore \frac{1}{\lambda} = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \\
- \text{Então: } \bar{T} &= \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \quad \text{como: } \ln 2 \cong 0,693 \quad \therefore \bar{T} = \frac{t_{1/2}}{0,693} \quad \text{eq.(3.9)}
\end{aligned}$$

A vida-média dos radionuclídeos é de natureza estatística, tal como a vida média de uma população, por exemplo, quando afirma-se que a vida média do brasileiro é de 68 anos, não significa afirmar que todos os brasileiros morrerão exatamente com 68 anos: alguns morrerão mais jovens, outros mais velhos, no entanto, a longevidade média é de 68 anos.

Habitualmente nos estudo de decaimentos radioativos se emprega o conceito de atividade radioativa. O conceito cinético de atividade de uma amostra de material radioativo corresponde ao conceito de velocidade de decaimento radioativo, pois, expressa o número de desintegrações dos núcleos de seus átomos por unidade de tempo, o que é representado na equação (3.10). A atividade (A) de uma amostra

radioativa num dado instante também é proporcional ao número de átomos da amostra conforme a equação (3.11), Okuno (1982), Scaff (1997):

$$- A = - \frac{dN}{dt} \text{ eq. (3.10)} \qquad A = \lambda N \text{ eq. (3.11)}$$

Seguindo um processo de dedução matemática similar ao exposto na dedução da equação (3.2), chega-se a equação exponencial da atividade de uma amostra radioativa representada na equação (3.12):

$$- A = A_0 e^{-\lambda t} \text{ eq.(3.12)}$$

A importância em definir atividade reside no fato dessa ser uma grandeza física mensurável, enquanto que o número de radioisótopos não o é, podendo-se definir a atividade de uma amostra medindo-se o número de desintegrações em diferentes intervalos de tempo, obtendo-se assim, o valor da constante radioativa.

A unidade de medida da atividade radioativa no sistema internacional de unidade (SI) é o Becquerel (Bq), que expressa uma desintegração por segundo, no entanto, emprega-se em muitos países, dentre os quais o Brasil, a unidade denominada Curie (Ci), Scaff (1997). Um Curie corresponde a uma atividade radioativa equivalente a $(3,7 \cdot 10^{10})$ desintegrações por segundo, sendo comum o emprego dos submúltiplos milicurie ($1\text{mCi} = 10^{-3} \text{ Ci}$) e microcurie ($1 \mu\text{Ci} = 10^{-6} \text{ Ci}$), Souza (1990).

Um exemplo que demonstra a importância dos conceitos da cinética do decaimento radioativo, encontra-se quando procuramos determinar a atividade de uma amostra de fósforo radioativo ($^{32}_{15}\text{P}$) depois de decorridos 100 dias da aferição de uma atividade de 5 mCi, sabendo que a meia-vida desse radioisótopo é de 14 dias. Num primeiro passo empregando a equação (1.7) determina-se o valor da constante radioativa do fósforo que é igual a $0,0495 \text{ dia}^{-1}$, num segundo passo empregando a equação (1.12), obtém-se o valor de 0,0354 mCi como sendo a

atividade dessa amostra radioativa após decorridos 100 dias da contagem inicial de 5 mCi.

3.4.2.9. UNIDADES DE MEDIDA E DOSE ABSORVIDA

O conhecimento das unidades de medida de exposição e dose absorvida de radiação para poder estimar os efeitos das radiações em sistemas biológicos, revela-se essencial no entendimento das conseqüências da poluição nuclear sobre organismos biológicos. Para estudar os efeitos biológicos das radiações, as unidades de atividade (Becquerel e Curie) e de energia (elétron-volt) não são apropriadas, pois diferentes radiações de mesmo conteúdo energético devido apresentarem poderes de ionização e penetração diferentes, produzem efeitos distintos num sistema biológico, Souza (1990).

As unidades adequadas para compreensão dos efeitos das radiações em sistemas biológicos são de três tipos: unidades de exposição, unidades de dose absorvida e unidades de dose equivalente.

As unidades de exposição medem a ionização produzida pela radiação em determinada quantidade de matéria, sendo definidas para radiações eletromagnéticas do tipo raios X e radiação gama. As unidades de exposição antiga e nova são respectivamente o Roentgen (R) e o Coulomb por quilograma. Um Roentgen constitui a quantidade de radiação X ou gama capaz de produzir ($2,58 \cdot 10^{-4}$) Coulombs de carga elétrica em um quilograma de ar seco à temperatura e pressão normais (0°C e 1 atm), Braga (2002).

As unidades de dose absorvida expressam a quantidade de energia dissipada pela radiação ionizante num determinado volume conhecido, são mais abrangentes que as unidades de exposição, pois são válidas para todas as radiações e para qualquer material absorvente. As unidades de dose absorvida antiga e nova são respectivamente o rad e o gray (gy), Braga (2002). Um rad constitui a dose de

radiação que origina a absorção de 100 erg de energia por grama de matéria, ou seja, 0,01 Joules por quilograma, Souza (1990). Um gray constitui a dose de radiação ionizante absorvida uniformemente à razão de um joule por quilograma de massa, sendo igual a 100 rad, Souza (1990).

Uma mesma dose absorvida, de duas radiações diferentes, ou ainda, uma mesma dose absorvida de um determinado tipo de radiação só que com conteúdos energéticos diferentes, pode produzir efeitos biológicos significativamente distintos. Por isso no estudo dos efeitos biológicos das radiações, as unidades de dose absorvida não são suficientes, sendo necessário introduzir cálculos de dose equivalente, que levam em consideração coeficientes de correção, os quais levam em conta o tipo de radiação ionizante, a energia recebida e a distribuição da radiação no tecido, Souza (1990), Braga (2002). O cálculo da dose equivalente conforme a equação (4.1) se dá pelo produto da dose absorvida (D_{ab}), fator de qualidade (F_q), fator de distribuição (F_d) e outros fatores modificadores necessários para denotar modificações de efetividade na produção de efeitos biológicos de uma dada dose absorvida de radiação, Souza (1990).

$$- D_{eq} = D_{ab} \cdot F_q \cdot F_d \cdot (...) \quad \text{eq.(4.1)}$$

O fator de qualidade leva em consideração o modo como a energia é dissipada durante uma ionização, sendo determinável "a priori", expressando o efeito dos diferentes tipos de radiação em termos de dano. O fator de distribuição expressa as modificações nos efeitos biológicos provocadas pela distribuição não uniforme dos radionuclídeos incorporados em tecidos biológicos. A tabela (8) apresenta os valores dos fatores de qualidade para diferentes tipos de radiações ionizantes, Braga (2002):

Tabela 8: Valores do fator de qualidade para radiações ionizantes.

<i>Tipos de Radiação Ionizante</i>	<i>Valor do Fator de Qualidade</i>
Raios X, elétrons, radiações β e γ	1
Nêutrons rápidos e prótons	10
Partículas e íons pesados	20

As unidades de dose equivalente antiga e nova são respectivamente o Roentgen Equivalente Man (REM) e o Sievert (Sv). Um (REM) é igual ao produto de um rad pelo fator de qualidade da radiação ionizante, Okuno (1988). Um Sievert é igual ao produto de um gray pelo fator de qualidade, correspondendo a um joule por quilograma ou 100 (REM), Okuno (1988).

São admitidos atualmente como padrão de radiação, doses de 100 mREM/ano acima da radiação de fundo existente. A radiação de fundo é produzida por fontes naturais que incluem os raios cósmicos (em média 30 mREM/ano), a Terra (30 mREM/ano), o gás radônio (200 mREM/ano) e a ingestão de radionuclídeos (40 mREM/ano). A redução das doses de radiação absorvida pode se dar pelo aumento da distância da pessoa em relação à fonte emissora, com a diminuição do tempo de exposição à fonte radioativa, bem como pelo uso de barreiras de proteção apropriadas que se interponham entre a pessoa e a fonte radioativa, Hinrichs (2003).

3.4.2.10. EFEITOS BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES

A compreensão dos efeitos biológicos das radiações em seus aspectos somáticos e genéticos é fundamental para o entendimento das conseqüências da poluição nuclear sobre organismos biológicos. Num primeiro momento devemos entender a estrutura biológica básica de organismos unicelulares como bactérias e protozoários e pluricelulares como os seres humanos, pois, os efeitos das radiações se dão sobre átomos e moléculas que formam as células de tais organismos.

Com exceção dos vírus, todas formas de vida dos reinos metazoa, metáfita, protista, monera e fungi apresentam organização celular. A célula constitui a unidade morfológica e fisiológica da matéria viva, ou seja, é a menor estrutura capaz de existir de maneira independente e desempenhar funções vitais como locomoção, nutrição e reprodução. A estrutura básica de uma célula contém três componentes: a membrana plasmática, o citoplasma e o núcleo celular, conforme representação esquemática na figura (27), típica de uma célula eucariótica, isto é, dotada de membrana nuclear ou carioteca, Berkaloff (1975), Alberts (1999), Rumjanek (2001):

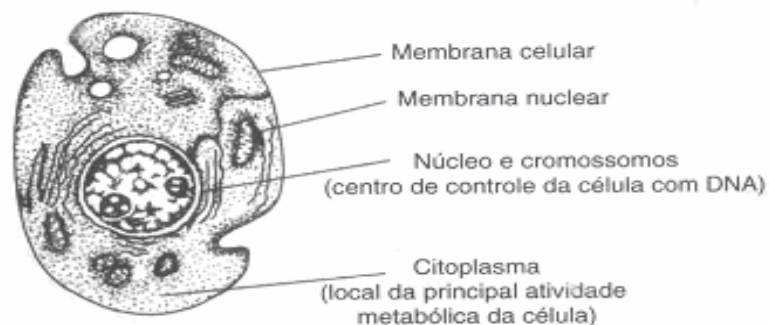


Figura 27: Representação esquemática de uma célula eucariótica, Hinrichs (2003).

A membrana plasmática ou plasmalema delimita a célula, sendo flexível e através da permeabilidade seletiva permite o câmbio de substâncias entre os meios intra e extracelular, tais substâncias são importantes para o metabolismo celular,

notadamente para as atividades de nutrição e excreção, Berkaloff (1975), Alberts (1999), Rumjanek (2001).

O citoplasma constitui-se do hialoplasma e de organelas citoplasmáticas, o hialoplasma constitui um meio homogêneo e transparente, que preenche o citoplasma, sendo formado por uma solução aquosa com sais minerais e pequenas moléculas orgânicas e também por um colóide formado por água e macromoléculas orgânicas. As organelas citoplasmáticas são pequenas estruturas intracelulares responsáveis por funções específicas do metabolismo celular, tais como as mitocôndrias, lisossomo, e ribossomos, responsáveis respectivamente pela respiração celular, digestão intracelular e síntese de proteínas e enzimas, Berkaloff (1975), Alberts (1999), Rumjanek (2001).

O núcleo celular constitui o componente que contém o material genético, ou seja, as substâncias que possuem as informações hereditárias. Em organismos eucariontes, tal componente celular apresenta uma membrana nuclear denominada carioteca que delimita o núcleo e protege o material genético. Os eucariontes podem ser unicelulares como os protozoários e pluricelulares como as plantas e animais. Quando uma célula não apresenta a carioteca, o organismo é denominado procarionte e seu material genético está disperso no citoplasma, os procariontes são as bactérias, algas cianofíceas, riquétsias e o micoplasma, Berkaloff (1975), Alberts (1999), Rumjanek (2001).

A estrutura de uma célula eucariótica revela além da carioteca, os componentes denominados: cromatina, cariolinfa e nucléolo. A cariolinfa ou carioplasma ou suco nuclear constitui um meio similar ao hialoplasma, porém com maior concentração de proteínas, de ácido ribonucléico (RNA) e de nucleotídeos livres, que são substâncias do meio intranuclear. Os nucléolos são corpúsculos esféricos, densos, ricos em proteínas e RNA ribossômico, matéria prima para a síntese de ribossomos. A cromatina são filamentos finíssimos constituídos por ácido desoxirribonucléico (ADN ou DNA) e proteínas, sua espiralação (condensação) no

processo de divisão celular forma filamentos mais curtos e mais espessos, denominados cromossomos, Berkaloff (1975), Alberts (1999), Rumjanek (2001).

As células eucarióticas dos seres humanos contém em seus núcleos 46 cromossomos, agrupados em 23 pares, os cromossomos são estruturas nucleares filamentosas, constituídas pela substância denominada ácido desoxirribonucléico (ADN ou DNA). O (DNA) como o (RNA) são ácidos nucléicos que exercem importante papel nos seres vivos, relacionado ao controle celular e à hereditariedade, Berkaloff (1975), Alberts (1999), Rumjanek (2001).

O termo nucléico se deve ao fato, desses ácidos terem sido encontrados originalmente no núcleo, e só posteriormente constatou-se suas presenças no citoplasma. Tais ácidos são macromoléculas formadas pela união de milhares ou até de milhões de moléculas menores, denominadas nucleotídeos, e por isso, são denominados polinucleotídeos, Berkaloff (1975), Alberts (1999), Rumjanek (2001).

Cada molécula de nucleotídeo é formada por uma base nitrogenada, um açúcar com cinco carbonos (pentoses: desoxirribose ($C_5H_{10}O_4$) no DNA e ribose ($C_5H_{10}O_5$) no RNA) e um radical do ácido fosfórico. As bases nitrogenadas possuem estrutura química em cadeia carbônica cíclica (anel) que contém nitrogênio, sendo classificadas em púricas (adenina e guanina) e pirimídicas (citosina, timina e uracila), Conn (1980), Ottaway (1986), figura (28):

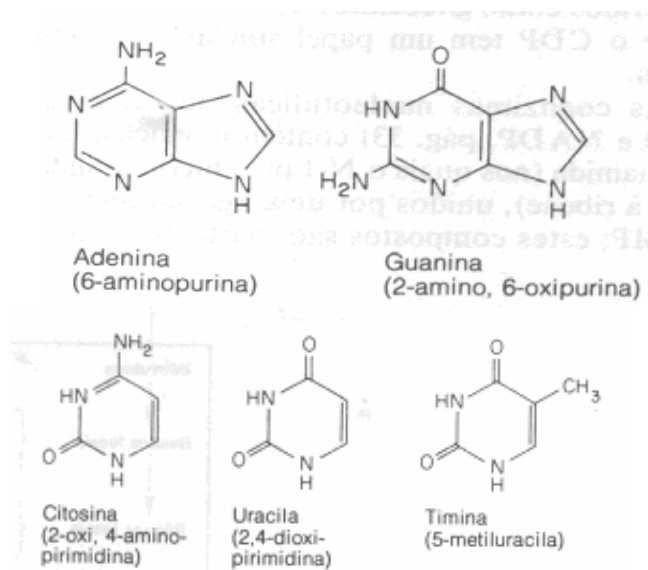


Figura 28: Bases púricas e pirimídicas, Ottaway (1986).

Os ácidos nucléicos comandam o funcionamento das células e do organismo, por meio de seus componentes, os genes, nos quais estão codificadas instruções bioquímicas para a síntese das proteínas. O (DNA) têm genes constituídos pelas bases nitrogenadas adenina (A), citosina (C), timina (T) e Guanina (G), sendo capaz de se autoduplicar, originando cópias idênticas de si mesmo. Tal capacidade possibilita que as instruções genéticas sejam passadas de uma geração para outra, Conn (1980), Ottaway (1986).

A molécula de DNA detém dentro de sua estrutura bioquímica o código genético que orienta as células na tarefa de construir proteínas, as quais fornecem as características de todos os seres vivos. A estrutura do (DNA) contém duas fitas que se enroscam a determinados intervalos constituindo uma dupla hélice, conforme a figura (29). Esse formato singular permite que no processo de reprodução celular, quando a célula está se dividindo, a dupla hélice se separe em dois lados, de tal modo que cada lado atraia para si os componentes químicos que lhe faltam, e assim se formam duas duplas hélices de (DNA), réplicas perfeitas da primeira, Conn (1980), Ottaway (1986).

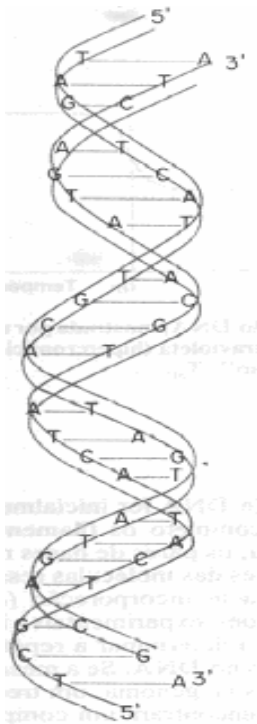


Figura 29: Estrutura em dupla hélice do DNA, Ottaway (1986).

Em algumas situações ocorre um processo de variação na estrutura dos genes ou de variação no número ou estrutura dos cromossomos, isto constitui uma mutação. As mutações podem ser espontâneas ou induzidas por um agente externo como radiação ionizante e substâncias mutagênicas, podendo ocorrer numa célula somática ou germinal, Fellenberg (1980). Quando a mutação ocorre numa célula somática, a mesma não é transmitida aos descendentes do organismo que sofreu a mutação, no entanto, quando essa ocorre numa célula germinal (gametas) essa pode ser transmitida para as futuras gerações, Okuno (1988).

A exposição de um ser vivo à radiação ionizante pode provocar alterações em seu organismo ou ainda produzir mutações em seu material genético. As mutações são geralmente produtoras de características indesejáveis no organismo, no entanto, esse possui mecanismos internos que procuram reparar a maioria dos danos nas moléculas de (DNA). A irradiação de corpo inteiro de um ser humano com uma dose de três a cinco Sv, produz centenas de quebras de ligações químicas nas moléculas de (DNA) de cada célula do corpo, refletindo-se na forma de inúmeras mutações. As

mutações induzidas por exposição à radiação ionizante caracterizam-se pelo fato de que o número de alterações cromossômicas induzidas aumenta na medida em que aumenta a taxa de dose de radiação absorvida por unidade de tempo e/ou o fator de qualidade da radiação ionizante incidente, Okuno (1987).

Os efeitos biológicos provocados pelas radiações ionizantes podem ser descritos em quatro estágios concomitantes, segundo Okuno (1988), esses são:

O primeiro estágio, que ocorre logo após a incidência da radiação têm duração de apenas um quatrilionésimo de segundo, ocorrendo o fenômeno físico da ionização e da excitação de átomos do corpo humano acompanhado da absorção da energia da radiação. No processo de ionização o elétron é ejetado da eletrosfera do átomo, no processo de excitação o elétron absorve um conteúdo discreto de energia promovendo um salto quântico para uma órbita ou nível de maior energia.

O segundo estágio tem duração curta de apenas um milionésimo de segundo, sendo denominado de estágio físico-químico, onde as ligações químicas das moléculas são rompidas com formação de radicais livres.

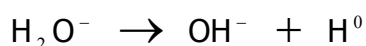
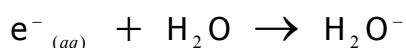
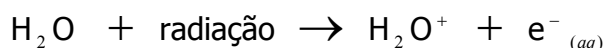
O terceiro estágio com duração de alguns segundos é denominado de estágio químico. Nesses os radicais livres de alta reatividade química que foram anteriormente produzidos, estabelecem ligações químicas com importantes moléculas da bioquímica celular, como as proteínas, as enzimas e moléculas de (DNA), o que produz danos. Normalmente substâncias como a vitamina C ou E, podem liberar elétrons que inativam os radicais livres e as células podem acionar mecanismos de correção dos danos provocados por esses, no entanto, nem todos os radicais são inativados e nem todos os danos são reparados.

O quarto estágio apresenta duração variável, podendo se estender de horas até anos, nesse ocorrem efeitos bioquímicos e fisiológicos que produzem alterações morfológicas e/ou funcionais.

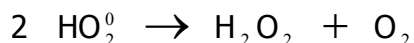
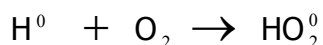
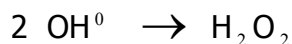
Existem dois mecanismos pelos quais a radiação ionizante pode alterar moléculas e por conseqüência lesar células, são eles, os mecanismos direto e

indireto. No mecanismo direto a radiação atua de forma direta sobre a biomolécula, como a molécula de (DNA) produzindo danos no material genético, pelo rompimento das ligações químicas estabelecidas entre os pares de bases adenina-timina e guanina-citosina. Nesse mecanismo os efeitos biológicos podem ser, por exemplo, a morte, a inativação bioquímica, o bloqueio da divisão celular, ou ainda uma mutação, Okuno (1988), Souza (1990).

No mecanismo indireto a radiação ionizante atua sobre moléculas como as moléculas de água que constituem 70% das células, produzindo radicais livres como a hidroxila (OH) e moléculas como o peróxido de hidrogênio (H₂O₂), os quais são muito reativos e podem produzir danos biológicos ao estabelecerem ligações químicas com biomoléculas importantes para o metabolismo celular, Okuno (1988). Um provável mecanismo para explicar a geração de radicais livres a partir de radiação ionizante é descrito por Souza (1990):



- Os produtos primários das reações acima (H⁰, OH⁰, e⁻_(aq)) podem conduzir as seguintes reações químicas :



- As espécies químicas formadas como a molécula de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e o radical (HO₂⁰) possuem alta reatividade química, apresentando grande probabilidade de reação química com biomoléculas, como por exemplo, as proteínas.

Tais reações provocam alterações que podem inativar enzimas responsáveis pela bioquímica celular ou pela divisão celular. Deste modo, a radiação pode indiretamente alterar as funções citológicas.

Para que os efeitos biológicos se manifestem, a dose de radiação absorvida deve ser superior a um determinado valor mínimo, denominado "dose limiar", o que não significa que doses menores não produzam contaminações, Braga (2002).

Os efeitos biológicos produzidos por radiações dependem dos seguintes fatores: tipo de radiação ionizante; profundidade de penetração, que depende da energia da radiação; meia-vida biológica, que é em média 0,223 REM/ano; área ou volume do corpo exposto à radiação; dose total recebida; tempo de exposição; quantidade de radiação por hora; e tempo de meia-vida físico do radionuclídeo, se ingerido, Braga (2002).

Os efeitos biológicos das radiações ionizantes são classificados em duas categorias: efeitos somáticos e genéticos. Os efeitos hereditários ou genéticos ocorrem somente nos descendentes do indivíduo irradiado, como produto do dano provocado por radiação em células dos órgãos reprodutores (ovário ou testículos) que produzem respectivamente os gametas, óvulos e espermatozóides, Okuno (1988), Tauhata (1982).

As mutações podem ter efeito teratogênico, ou seja, provocar deformações, ou ainda produzir deficiência mental e aumentar a suscetibilidade frente a patologias crônicas, Okuno (1988), Tauhata (1982).

Os efeitos somáticos são aqueles que se manifestam no indivíduo irradiado, tais efeitos podem ser agudos e/ou crônicos. Os efeitos agudos são observados depois de decorridas apenas algumas horas, dias ou semanas da irradiação do indivíduo com uma alta dose de radiação em um pequeno lapso de tempo, Okuno (1988), Tauhata (1982).

Os efeitos agudos são também denominados não estocásticos, onde a severidade dos danos está relacionada com a dose de radiação absorvida. Por exemplo, para uma dose de um Gy, 5% das pessoas irradiadas apresentam sintomas de vômito dentro de 3 horas, para uma dose três Gy, 100% das pessoas irradiadas apresentam sintomas de vômito num intervalo de tempo de 2 horas, Okuno (1988), Tauhata (1982).

Os efeitos somáticos crônicos surgem em indivíduos irradiados com baixas doses de radiação no decorrer de um longo lapso de tempo, ou em indivíduos que receberam altas doses de radiações e que puderam se recuperar, Souza (1990), Okuno (1987).

Os efeitos estocásticos, são efeitos somáticos de caráter probabilístico, pois aparecem apenas em alguns indivíduos, são eles: processos carcinogênicos, lesões degenerativas, efeitos no cristalino, etc, Souza (1990), Okuno (1987).

Uma melhor ilustração dos efeitos biológicos das radiações ionizantes encontra-se na tabela (9), a qual correlaciona a dose absorvida de radiação em (rad) com efeitos biológicos em seres humanos, Braga (2002).

Tabela 9: Valores de dose absorvida e efeitos biológicos.

<i>Radiação</i> <i>(rad)</i>	<i>Efeito Biológico</i>
0 a 25	Nenhum efeito direto observável.
25 a 50	Mudanças acusadas em exames de sangue.
50 a 100	Alteração temporária no hemograma com redução de leucócitos (com recuperação).
100 a 200	Aparecem sintomas típicos em 25 % dos casos, mas provavelmente o número de mortes é pequeno.
200	Sintomas típicos em 50 % dos casos e morte em 2 % provavelmente.
300	Sintomas típicos em 90 % dos casos e 25 % de mortes.
400 a 500	De mortes (dose letal- DI_{50}) normalmente em poucos dias, depois de uma redução de leucócitos, angina, hemorragia e grave septicemia.
600	Morte em menos de um mês em 100 % dos casos.
1200 a 1400	Morte em uma semana com lesões gastrintestinais.
2000 a 2500	Morte no 3º ao 5º dia com lesão no sistema nervoso central.

3.4.2.11. FONTES, ARMAZENAGEM E TRATAMENTO DE RESÍDUOS NUCLEARES E RADIOATIVOS.

Ao analisarmos as fontes de poluentes radioativos e nucleares, se faz necessário distinguir do ponto do vista conceitual as diferenças entre material irradiado e contaminado e as diferenças entre resíduo radioativo e nuclear.

Um dado material ou organismo se for submetido à exposição com radiação gama ou X terá sido irradiado, sem se tornar radioativo, os efeitos da radiação se manifestarão apenas sobre o material ou organismo ou ainda sobre os descendentes do organismo em caso de efeitos genéticos provocados pela exposição à radiação. Não obstante, se o material ou organismo entrar em contato com radionuclídeos, absorvendo-os internamente ou em sua superfície, esses se tornarão material contaminado, constituindo-se em fonte de emissão radioativa e, portanto, elemento causador da poluição radioativa ou nuclear, Okuno (1988).

Os resíduos radioativos serão distinguidos dos resíduos nucleares usando como critério diferenciador à origem dos contaminantes radioativos. Nos resíduos nucleares, os contaminantes radioativos são subprodutos das reações fissão e fusão nuclear que respectivamente ocorrem em explosões de bombas atômicas e na operação de usinas de fissão e na explosão de bombas de hidrogênio. Nos resíduos radioativos, os contaminantes são materiais radioativos próprios dos radioisótopos empregados em medicina nuclear, em artefatos tecnológicos usados em pesquisa acadêmica e na produção industrial de radiofármacos, em peças de maquinário de uso industrial, em equipamentos de segurança como filtros e roupas e em rejeitos da mineração e beneficiamento de combustível nuclear, dentre outros.

Um segundo modo de classificar os resíduos associados à poluição nuclear está em denominá-los de resíduos de baixo e alto teor. Os resíduos de baixo teor são gerados em instituições educacionais, hospitais, indústrias, bem como nas usinas nucleoeletricas, desses temos como exemplo: luvas, papéis, roupas,

mascáras, peças de maquinários contaminados e reagentes químicos radioativos, Hinrichs (2003).

Os resíduos de alto teor são classificados em duas categorias, na primeira categoria encontram-se radionuclídeos de massa atômica intermediária produzidos em processos de fissão nuclear, tais como o estrôncio 90 ($^{90}_{38}\text{Sr}$) e o céσιο 137 ($^{137}_{55}\text{Cs}$), os quais emitem radiações gama e/ou beta e apresentam tempo de meia-vida em torno de 30 anos. Na segunda categoria encontram-se os resíduos radioativos formados pela absorção de nêutrons no urânio combustível, são os actínídeos, quimicamente muito tóxicos, como o plutônio 239 com tempo de meia-vida de 24.000 anos, Hinrichs (2003).

Um terceiro modo de classificar os contaminantes radioativos, está centrado na origem natural ou artificial desses contaminantes. Os contaminantes naturais ou telúricos são aqueles que se encontram presentes na composição geoquímica natural da litosfera, tais como o rubídio 87 ($^{87}_{37}\text{Rb}$) e o potássio 40 ($^{40}_{19}\text{K}$) presente nas rochas, nos vegetais, nos animais e nos homens. Nesses o nuclídeo potássio 40 apresenta-se numa concentração de 0,12 por cento do potássio total contido no organismo humano.

A intensidade da radioatividade natural é baixa e depende da natureza geológica, por exemplo, a radiação telúrica emitida por solos calcáreos é baixa, sendo mais intensa em solos graníticos, chegando a atingir valores de 1 gray por ano em regiões da França como Limousin e Lauragais, Déoux (1992).

Muitas vezes ações humanas, como a operação de fábricas de fosfato e centrais termoelétricas a carvão reintroduzem em diversos ambientes radionuclídeos naturais presentes no subsolo. Por exemplo, no estado da Flórida nos Estados Unidos da América, verificou-se que prédios construídos em terrenos onde tinham sido feitas prospecções minerais de extração de fosfatos revelavam elevadas concentrações de radônio. O radônio é um dos radionuclídeos naturais mais controversos apresentando-se na forma dos isótopos ($^{220}_{86}\text{Rn}$) e ($^{222}_{86}\text{Rn}$), o mesmo é

um gás nobre natural que emite radiações alfa. No entanto, a maior porção das doses de radiação recebidas pelo ser humano não se deve ao gás, mas aos seus derivados radioativos, como o polônio 218 ($^{218}_{84}\text{Po}$), o qual sofre decaimento radioativo produzindo chumbo radioativo, um emissor de radiação beta e bismuto um emissor de radiação alfa, Déoux (1992).

Em ambientes externos, as concentrações de radônio são reduzidas devido à diluição, no entanto, em ambientes fechados notadamente em climas temperados, a concentração de radônio pode ser oito vezes mais elevada do que no meio externo. A penetração do radônio no interior de casas e edifícios se dá através das fissuras mínimas nos alicerces das construções, pelas canalizações de distribuição de água, e pelos materiais empregados na construção, Déoux (1992).

O radônio tem um tempo de meia-vida de 3,8 dias, decaindo para os radionuclídeos chumbo 210 e polônio 210, tais partículas de polônio são inaladas pelas vias respiratórias podendo elevar o risco de carcinoma pulmonar. O tecido adiposo também recebe doses levadas de contaminantes, sendo que as células adiposas da medula óssea poderiam liberar parte da energia recebida para células hematopoiéticas, responsáveis pela biosíntese de glóbulos sanguíneos. Estudos acadêmicos cogitam a possibilidade de que a inalação de radônio eleve a probabilidade de desenvolvimento de melanoma (tipo de câncer dermatológico), carcinoma nefrológico (câncer de rim), câncer prostático e aberrações cromossômicas, contudo, tais estudos não são conclusivos, Déoux (1992).

Os contaminantes radioativos artificiais são aqueles derivados das ações antrópicas associadas ao emprego da energia nuclear e dos radioisótopos em diversas aplicações, tais como as aplicações médicas, tecnológicas e de pesquisa acadêmica, bélicas, e de geração de energia em centrais nucleoeletricas.

A produção de contaminantes radioativos na geração de energia não se restringe apenas na operação de usinas nucleares, pois normalmente os protocolos

de segurança para operação de tais usinas reduzem acentuadamente a possibilidade de contaminação ambiental.

Tal produção se estende ao ciclo completo do combustível nuclear, o qual envolve as etapas de: mineração, tratamento e concentração do minério de urânio, refinação e conservação em hexafluoreto de urânio (UF_6), enriquecimento, fabricação dos elementos de combustível, operação dos reatores à fissão nuclear, armazenamento e transporte do combustível irradiado, reprocessamento dos resíduos nucleares, descarte do lixo radioativo, Goldemberg (1981).

Como exemplo vamos considerar um ciclo adaptado para quantidades anuais em toneladas de combustível nuclear necessária para operar um reator de fissão de 1000 megawatts de potência com urânio enriquecido, Goldemberg (1981).

A primeira etapa do ciclo do combustível nuclear consiste na retirada do minério da rocha, com a moagem da mesma, transformando o minério num material particulado de baixa granulometria, o qual estará apropriado para participar de reações químicas. Os minerais empregados para extração do urânio contêm apenas de 0,1 a 0,2% desse elemento, sendo que o isótopo de urânio 235 constitui apenas 0,7% da porcentagem de urânio contido no mineral, isto implica que para alimentar um reator de 1000 MW de potência torna-se necessário minerar 85000 toneladas de minério de urânio por ano, Goldemberg (1981).

A segunda etapa trata-se do tratamento e concentração do minério, onde o urânio é concentrado num pó amarelo (yellow cake), o qual contém de 70 a 90% do óxido de urânio (U_3O_8). São então removidas impurezas, purificando o óxido de urânio agora na forma de (UO_3), constituindo quando puro, um óxido laranja. Nessa etapa os resíduos são armazenados em grandes montes, de onde escapa o gás radônio 222, cujos produtos de decaimento são o polônio 218 e polônio 214. Tais resíduos podem produzir câncer como anteriormente observado. Os resíduos da extração do urânio são volumosos, e demandam esforços para sua devida deposição, geralmente são enterrados sob uma camada de terra de três metros de

espessura, o que reduz a emissão de radônio em 95% da emissão original verificada nos montes de resíduos de mineração de urânio, Goldemberg (1981).

A terceira etapa consiste na refinação do óxido laranja e conversão para o composto hexafluoreto de urânio. A quarta etapa consiste no enriquecimento que objetiva elevar a concentração do isótopo do urânio 235 no composto hexafluoreto de urânio. A quinta etapa trata da fabricação dos elementos de combustível, transformando o hexafluoreto de urânio em urânio metálico, na forma de pastilhas ou "pellets", Goldemberg (1981), Murray (1980).

Na sexta etapa ocorre a operação dos reatores nucleares, ou seja, o uso do combustível nuclear, onde o mesmo é usado no reator por um período de dois anos, após o qual o urânio 235 atinge 25% de sua concentração inicial. As sétima e oitava etapas tratam respectivamente da armazenagem e transporte do combustível irradiado e do reprocessamento do combustível. O combustível irradiado é extremamente radioativo, sendo necessário guardá-lo em piscinas de refrigeração por um período de alguns meses. Depois de decorrido tal período o material pode ser manipulado e reprocessado, embora ainda com elevadas taxas de emissão radioativa. Sendo possível por meio de técnicas de extração com solvente separar os átomos de urânio 235 dos átomos de plutônio 239 obtido através do bombardeamento do urânio 238 com nêutrons. Os rejeitos oriundos do reator nuclear incluem o material irradiado no reator e são produzidos numa escala de aproximadamente sete toneladas de contaminantes de alto teor radioativo e cinquenta toneladas de rejeitos de baixo teor radioativo, Goldemberg (1981), Murray (1980).

A nona etapa trata da disposição final dos resíduos radioativos, ou seja, do descarte do lixo nuclear, a qual suscita acaloradas discussões nos meios acadêmicos e governamentais, dado a periculosidade dos resíduos nucleares e dos longos tempos de permanência contaminante. Embora muitas sugestões com viabilidade técnica tenham sido elaboradas para acondicionar os resíduos nucleares, nenhuma

se mostrou plenamente satisfatória do ponto de vista econômico e de plena segurança contra vazamentos ou escapes de material contaminante.

A sugestão mais enfatizada para tratar o problema dos resíduos nucleares tem sido a do aterro geológico, o qual consiste basicamente em encerrar os resíduos em invólucros hermeticamente fechados, onde tais resíduos serão vitrificados em contêineres cerâmicos ou de vidro, capazes de suporte a dissipação térmica dos decaimentos radioativos, sendo então envolvidos em tonéis de aço inoxidável para serem armazenados no subsolo ou em grandes cavernas, estruturalmente reforçadas com revestimento de concreto e aço, em ambientes geologicamente estáveis, como minas de sal-gema abandonadas, conforme ilustrado nas figuras (30) e (31), Hinrichs (2003), Fellenberg (1980), Murray (1980).

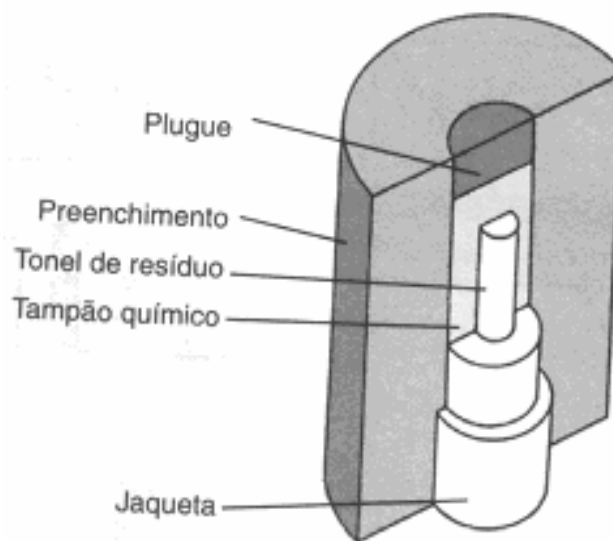


Figura 30: Contêiner para armazenagem de lixo nuclear, Hinrichs (2003).

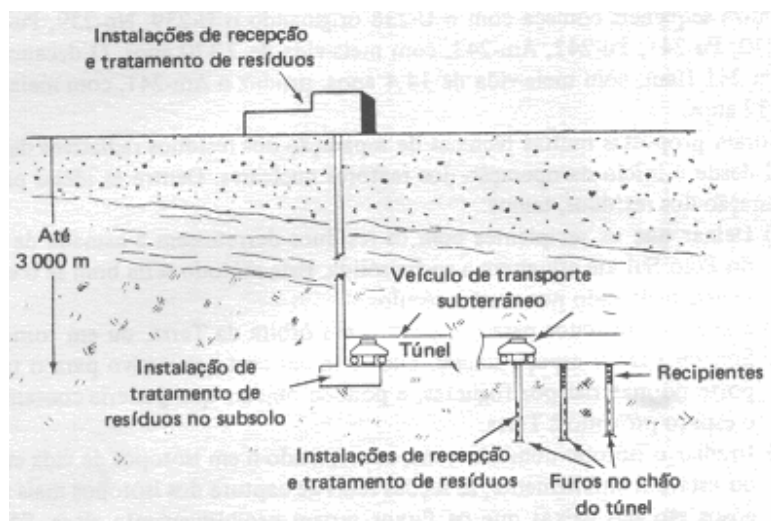


Figura 31: Esquema de aterro geológico, Murray (1980).

Deve-se salientar que o aterro geológico não é totalmente seguro, pois podem ocorrer em longo prazo mudanças na estabilidade geológica da região, o que poderia acarretar abalos sísmicos que colocariam em perigo a estabilidade mecânica dos depósitos subterrâneos. Um segundo aspecto a ser considerado seria o movimento da água contida em lençóis freáticos e rios subterrâneos, que também poderia colocar em risco a estabilidade mecânica dos depósitos; o contato da água com o revestimento de aço provocaria a corrosão do mesmo, colocando a água em contato com o material radioativo, decorrendo sérios problemas de contaminação ambiental. Um terceiro aspecto diz respeito a um possível contato de pessoas com tais depósitos num futuro longínquo, como, por exemplo, mineradores que poderiam interferir em tais depósitos ao procurar água ou minérios, Hinrichs (2003).

Uma outra abordagem para os resíduos nucleares seria o reaproveitamento do urânio e do plutônio, pois é possível em escala de laboratório extrair tais radionuclídeos das barras de combustível com o emprego do ácido nítrico (HNO_3) e posterior separação dos mesmos em solução. No entanto ainda não foi desenvolvida tal tecnologia para grandes escalas que lidem com toneladas de resíduos nucleares, Fellenberg (1980).

O resíduo radioativo líquido dos reatores nucleares é a água do circuito primário de refrigeração do reator, a qual é rica em hidrogênio trítio (^3_1H), cujo tempo de meia-vida é de aproximadamente 12,3 anos. Após a paralisação dos reatores, esta água acumula-se em grandes volumes, uma das sugestões para tal resíduo, seria descartá-lo em poços de petróleo já exauridos. No entanto existe a possibilidade de que o hidrogênio trítio entre em contato com o ambiente externo, contaminando organismos através dos alimentos, o que constituiria um grave problema de contaminação ambiental, Fellenberg (1980).

Outra fonte de resíduos radioativos são aqueles oriundos de práticas de radioterapia empregadas no campo da medicina nuclear, os quais exigem a devida atenção, para que não ocorram acidentes radioativos como o de Goiânia em 1987. Na radioterapia além de tubos de raios X convencionais são usados radionuclídeos como fontes de radiações para destruição de tumores através da absorção da energia da radiação. O cobalto 60 ($^{60}_{27}\text{Co}$) emissor de radiação beta e gama com tempo de meia-vida de 5,26 anos e o cézio 137 ($^{137}_{55}\text{Cs}$) emissor de radiação beta e gama com tempo de meia-vida de 30 anos são dois exemplos típicos de radionuclídeos empregados em radioterapia, Martins (2001).

Os radionuclídeos empregados na radioterapia são usados como fontes seladas no qual o material radioativo não entra em contato direto com o paciente ou com os técnicos que os manuseiam, no entanto descasos como os de Goiânia podem acarretar acidentes com contaminação radioativa. As técnicas que empregam radionuclídeos que são ingeridos ou injetados no paciente utilizam radiofármacos para diagnose e terapia de patologias. Um desses radionuclídeos é o iodo 131 ($^{131}_{53}\text{I}$), com tempo de meia-vida de 8,06 dias empregado na forma de iodeto de sódio (NaI) para promover o mapeamento da tireóide, no intuito de diagnosticar hipertireoidismo, hipotireoidismo, ou funcionamento normal da glândula. Tais radionuclídeos possuem baixo tempo de meia-vida não representando problemas de contaminação radioativa, Okuno (1988), Martins (2001).

As atividades militares são outra fonte considerável de geração de contaminantes radioativos, tanto na fabricação, quanto na estocagem e explosão de artefatos nucleares à fissão e fusão nuclear. Nos Estados Unidos da América, a maior parte dos resíduos radioativos deriva atualmente dos programas militares de defesa. Aproximadamente 80 milhões de galões com material radioativo são armazenados em grandes tanques subterrâneos, tendo ocorrido vazamento de aproximadamente 500.000 galões nos anos iniciais, onde esses foram despejados no solo durante muitos anos, sem que se conheçam vítimas fatais. Métodos para concentrar os resíduos radioativos líquidos de procedência militar estão sendo desenvolvidos, no intuito de reprocessá-los na forma sólida, o que irá reduzir o volume por um fator de dez, permitindo um armazenamento mais eficiente e seguro, Hinrichs (2003).

As explosões atômicas que se seguiram a explosão do primeiro artefato nuclear no teste de Alamogordo em 16 de julho de 1945, lançaram na atmosfera grandes quantidades de radionuclídeos, dos quais quatro podem contribuir para a irradiação do ser humano: zircônio 95 ($^{95}_{40}\text{Zr}$), estrôncio 90 ($^{90}_{38}\text{Sr}$), cézio 137 ($^{137}_{55}\text{Cs}$), e o carbono 14 ($^{14}_6\text{C}$). A atividade radioativa do zircônio está esgotada, pois seu tempo de meia-vida é de 64 dias, Os radionuclídeos cézio 137 e estrôncio 90, com tempos de meia-vida de aproximadamente 30 anos, forneceram até o final do século XX a maior parte de sua dose de radiação. No entanto o carbono 14, com tempo de meia-vida de 5760 anos permanecerá ativo por longo tempo. Os riscos para a saúde humana foram avaliados como sérios, pois o cézio 137 quimicamente próximo do potássio e o estrôncio 90 próximo do cálcio competem para serem absorvidos pelo organismo humano, Déoux (1992).

Em linhas gerais os tratamentos dispensados aos resíduos radioativos podem ser resumidos para três classes de resíduos. Os resíduos radioativos de baixo nível de radiação são aqueles que apresentam valores menores que 0,3 microcurie por litro, quando são provenientes de instalações industriais, podem ser filtrados, diluídos e lançados em esgotos normais. Quando oriundos da mineração e

beneficiamento do combustível nuclear, podem sofrer sedimentação em lagoas de decantação, sendo o líquido excedente eliminado para rios ou áreas vizinhas. Os resíduos radioativos de nível intermediário de radiação são aqueles com valores de 0,3 a 30 microcurie por litro, para seu tratamento exige-se filtração, precipitação química, troca iônica, evaporação, absorção por material poroso e disposição em bloco de concreto, antes de serem enterrados. Os resíduos radioativos de alto nível de radiação são rejeitos de usinas nucleares, os quais exigem inúmeros procedimentos trabalhosos e custosos para seu acondicionamento. Após estocagem em piscinas, esses são solidificados em cilindros de vidro ou cerâmica cristalina, dispostos em invólucro cilíndrico de aço inoxidável, chumbo e titânio. Posteriormente são guardados em blocos de concreto, a serem encerrados em cavernas escavadas em rocha sólida, revestidas com concreto a grande profundidade, Braga (2002).

3.4.2.12. EFEITOS AMBIENTAIS DA POLUIÇÃO NUCLEAR

Os efeitos ambientais decorrentes da poluição com contaminantes radioativos são os efeitos biológicos anteriormente tratados, os quais não se estendem apenas aos seres humanos, mas também em diferentes graus a todas as formas de vidas.

A penetração de contaminantes radioativos nas cadeias alimentares constitui um dois efeitos ambientais mais marcantes da poluição nuclear. As substâncias radioativas que são introduzidas no meio ambiente, como qualquer outro poluente, podem atingir as cadeias alimentares, apresentando um efeito cumulativo. Como exemplos, temos, as algas, que alimentam peixes e armazenam iodo; as plantas do epinociclo acumulam estrôncio e os animais podem acumular diversos contaminantes radioativos em determinados órgãos, Fellenberg (1980).

Na alimentação dos seres humanos, contaminantes radioativos são introduzidos no cardápio diário, como o cézio 137, o qual não existia originalmente na natureza, tendo sido encontrado em quantidades anormais no alho e na pimenta

preta, com atividades superiores a 2,5 Bq/Kg. Deve-se observar que geralmente no Brasil os vegetais consumidos apresentam atividades devidas ao césio 137 inferiores a 0,01 Bq/Kg. A elevação dessas concentrações se deve ao fato desses alimentos serem oriundos da porção mais setentrional do Brasil, a qual está mais exposta a poeira radioativa gerada no decorrer de várias décadas de testes nucleares atmosféricos no hemisfério norte, Biral (2002).

Os radionuclídeos artificiais gerados nas explosões nucleares são encontrados em toda a superfície terrestre devido ao "fallout", ou seja, a precipitação dos radionuclídeos na superfície do planeta. As nuvens de gás e vapor geradas em explosões nucleares têm altura e diâmetro que dependem da potência do artefato nuclear, podendo atingir a troposfera e produzir uma precipitação local, ou ainda atingir a estratosfera ocorrendo precipitação em todo o planeta Terra. A poeira radioativa artificial, a qual a humanidade atualmente está exposta se deve aos testes nucleares atmosféricos que ocorreram em profusão entre 1952 e 1963, Melquiades (2004).

Outro fator que contribui para a contaminação radioativa está assentado na ocorrência de acidentes nucleares, como o da usina de Chernobyl, os quais tem impacto significativo na região onde ocorrem, produzindo um "fallout" local. No entanto a importação de alimentos contaminados com radionuclídeos pode comprometer a saúde de populações distantes do local do acidente. Em 1986 foram retiradas do mercado algumas marcas de leite em pó importadas da Europa Oriental, depois de se constatar elevadas taxas de radioatividade, Melquiades (2004).

Os radionuclídeos que se encontram na atmosfera incorporam-se na biosfera, por meio das plantas, do solo e da água, e por diferentes rotas contaminam o ambiente e os alimentos. A incorporação de radionuclídeos na dieta nutricional humana se dá principalmente pelo leite e pela carne, Melquiades (2004).

A absorção pelas raízes de vegetais de radionuclídeos depositados no substrato edáfico, depende do tipo de radionuclídeo, sendo um processo lento. Por exemplo, o radioisótopo iodo 131 depositado no solo sofre um decaimento

significativo antes de ser incorporado ao organismo humano, via rota contaminante: solo-raiz-planta-animal. No entanto, o céσιο 137 com tempo de meia-vida mais longo tem uma rota contaminante mais eficaz, pois se dá através da ingestão de leite e seus derivados, bem como por carnes de animais que se alimentaram de pasto contaminado com o radionuclídeo, Okuno (1988).

Como podemos concluir os efeitos da poluição nuclear nas cadeias alimentares são sentidos em escala global, demonstrando que como todo tipo de poluição, a poluição nuclear desconhece fronteiras políticas, econômicas e até geográficas.

Por fim, embora não seja uma contaminação com substâncias radioativas, a poluição térmica decorrente da operação de centrais nucleoeleétricas, constitui-se num dos efeitos ambientais locais produzidos por essas usinas.

Para usinas nucleares típicas são empregados setecentos milhões de litros de água por dia para operação do condensador de vapor no intuito de garantir que a elevação da temperatura no ambiente seja pequena. Tal volume é captado de rios ou lagos artificiais, mesmo empregando torres de refrigeração como a ilustrada na figura (32), a água aquecida que retorna ao ambiente aquático pode provocar efeitos negativos na fauna e flora local do limnóciclo, Murray (1980).

Um dos efeitos poderia ser uma diminuição na concentração de oxigênio dissolvido, o qual depende da temperatura da água. Por exemplo, na temperatura de zero °C a solubilidade do oxigênio na água é de 14,63 mg/litro na elevação da temperatura para 20 °C a solubilidade decresce para 9,08 mg/litro. Isso acarretaria, redução na capacidade de depuração do ambiente aquático por decomposição microbiana dos detritos, e também prejudicaria a população de espécies ictiológicas, como as trutas que necessitam no mínimo de 10 a 11 mg/litro de oxigênio dissolvido, Fellenberg (1980).

Os efeitos térmicos decorrentes da operação de reatores nucleares podem ser minimizados com o reaproveitamento de parte do calor dissipado na água do circuito

de refrigeração secundário. Tal reaproveitamento pode redirecionar o calor para aquecimento de ambientes, intensificação da produção agrícola em estufas e em usinas de dessalinização da água do mar, Murray (1980).

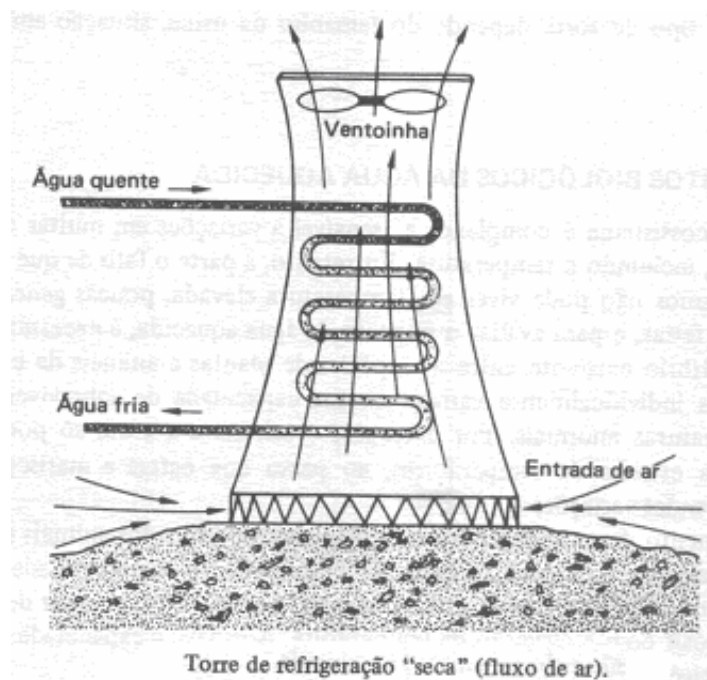
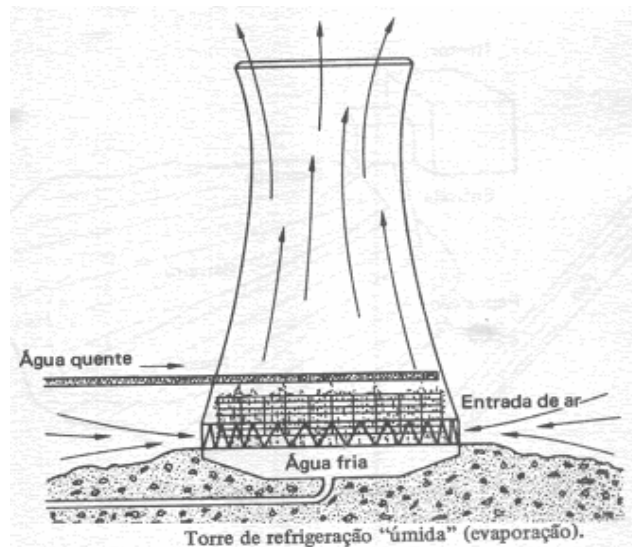


Figura 32: Esquema de torres de refrigeração "úmida" e "seca", Murray (1980).

CAPÍTULO 4 - ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS

4.1. APRESENTAÇÃO

No presente capítulo, são realizadas análises, numa amostra composta de três livros didáticos das disciplinas escolares de Química, Física, Biologia e Geografia, adotados em escolas de ensino médio público e privado da região metropolitana de Florianópolis, especificamente nos municípios de São José, Florianópolis, e Palhoça. O levantamento dos livros didáticos selecionados para análise se fez através de consulta aos professores das referidas escolas.

No desenvolvimento desse capítulo, busca-se num primeiro plano realçar a influência do livro didático na formatação da abordagem didático-pedagógica do professor, na organização dos conteúdos programáticos das disciplinas de ciências, notadamente Física e Química, e na visão social de ciência perpassada por tais manuais didáticos.

Num segundo plano busca-se descrever as características metodológicas da pesquisa empreendida, demarcando os critérios de avaliação dos livros analisados.

Num terceiro plano procede-se à análise dos livros, buscando-se caracterizar a adequação com que são tratados os conceitos científicos em termos de correção conceitual, profundidade e contextualização, bem como, levantar qual concepção de meio ambiente está sendo perpassada pelos mesmos ao abordarem a poluição nuclear.

4.2. LIVROS DIDÁTICOS E A VISÃO SOCIAL DA CIÊNCIA

Os materiais didáticos utilizados nas instituições de ensino médio desempenharam um importante papel no ensino de ciências, desde que se instituiu o ensino público secundário no Brasil, em 1838. Os referidos materiais, apostilas, compêndios, manuais de laboratório e livros didáticos, estabeleciam os conteúdos programáticos a serem ensinados e influíam na metodologia de ensino empregada nos colégios.

Os materiais didáticos também estabeleceram a “filosofia do ensino de ciências” em diferentes períodos cronológicos, ao selecionar e organizar conteúdos programáticos e ao estipular a forma de ensinar tais conteúdos. Segundo Lorenz (1986), no período cronológico compreendido entre 1836-1950, os livros didáticos mais utilizados refletiam o que havia de melhor no pensamento europeu sobre o ensino de ciências. De tal modo que até meados do século XX, a maioria dos livros didáticos adotados nada mais era do que traduções ou adaptações dos mais populares manuais europeus de ciências naturais (Física, Química e Biologia) A característica marcante desses livros apresentava-se através do seu caráter ilustrativo, tamanho a quantidade de informações apresentadas e pela pobreza de atividades e problemas sugeridos aos alunos para execução e resolução. Tais livros enfatizavam a transmissão e aquisição de conteúdos e não o desenvolvimento de habilidades científicas, Lorenz & Barra, (1986).

Nas primeiras quatro décadas do século XX, assim como no século XIX, os livros didáticos de ciências utilizados nas escolas secundárias brasileiras eram predominantemente de origem européia, notadamente francesa. Tal dependência de livros elaborados no exterior continuou até 1946, quando então surgem as primeiras instituições nacionais que passaram a predominar no desenvolvimento de materiais didáticos destinados ao ensino de ciências. Tal mudança é bem descrita por Lorenz & Barra (1986):

"A partir da metade do século XX evidencia-se uma mudança. Inicialmente impulsionado por subvenções estrangeiras e, mais tarde, patrocinado pelo Ministério da Educação, surgiu um movimento cujo objetivo era a elaboração de materiais didáticos que incorporassem não só os mais modernos conceitos sobre ciências e seu ensino, mas que incluíssem conteúdos selecionados e organizados de modo a se tornarem relevantes para a maioria das escolas brasileiras". (Lorenz & Barra, 1986, p. 1971)

Os livros didáticos de Química e Física adotados nas escolas secundárias brasileiras até o final da década de cinquenta enquadravam-se num ensino de ciências caracterizado pela: "verbalização, aulas teóricas em que o professor explana o conteúdo, reforça as características positivas da ciência e da tecnologia, ignorando as negativas; conteúdo baseado na ciência clássica e estável do século XIX...", (Delizoicov & Angotti, 1990, p. 25).

Em 1946 é criado o IBCEC, Instituto Brasileiro de Educação, Ciência e Cultura, cuja finalidade era a de promover a melhoria da formação científica dos alunos que ingressariam nas instituições de ensino superior e, desta forma, contribuir para o desenvolvimento nacional. O IBCEC caracterizou-se pela produção de "kits" de iniciação científica que visavam melhorar o ensino experimental das disciplinas de Física, Química, Biologia e geociências, recebendo subvenções de entidades nacionais e internacionais, tais como as Fundações Rockefeller e Ford. A partir dos anos cinquenta, a referência externa passa a ser definida pelos Estados Unidos, colocando em segundo plano a influência européia, pois surgem nesse país várias iniciativas para reformular o ensino de ciências, que são estendidas aos países da América Latina. Delizoicov & Angotti (1990).

O lançamento do Sputnik soviético, em 1957, associado a outros fatores produziu uma verdadeira ebulição nos meios acadêmicos e governamentais que tratavam do ensino de ciências nos Estados Unidos e Inglaterra, seguindo-se uma produção gigantesca de material didático científico, cuja finalidade era vencer a suposta superioridade do ensino de ciências nas escolas secundárias soviéticas. Os projetos educativos dessa época tinham como característica comum a ênfase na participação do aluno no processo investigativo, mediante o emprego do "método

científico”, Lorenz e Barra (1986), p. 1974. Tais projetos por intermédio de programas de fomento educacionais agenciados por fundações como a Fundação Ford, chegam ao Brasil a partir do início da década de sessenta, e são encampados por ações governamentais, principalmente a partir de 1964. Nesse período a abordagem metodológica do ensino de ciências (Química, Física e Biologia) caracterizava-se, num primeiro instante, pelo treinamento de professores visando adotar os programas americanos de ensino, tais como o Chemical Education Material Study, Chemical Bond Approach, Introductory Physical Science, Physical Science Study, que buscavam o desenvolvimento das habilidades científicas. Em virtude da difícil adequação desses projetos à realidade do país, a partir do final da década de sessenta e através da década de setenta são desenvolvidos projetos nacionais. Os projetos brasileiros podem ser enquadrados dentro de três tendências.

A tendência Tecnista, caracterizada pelo uso da instrução programada, preocupada com a avaliação capaz de indicar mudanças de comportamento ao longo dos estudos.

A tendência Escola - Novista, caracterizada pelo ensino do método científico e que levava ao esvaziamento do conteúdo, pois considerava o processo mais importante que os conteúdos programáticos das disciplinas de ciências.

A tendência da Ciência Integrada, onde o professor deveria ser capaz quase exclusivamente de usar os materiais instrucionais, quase chegando ao esvaziamento completo dos conteúdos.

Segundo Delizoicov & Angotti (1990) essas tendências, embora não tenham penetrado de modo contundente e em grande escala nas salas de aula, foram significativas na qualificação e treinamento de professores, bem como na produção de livros textos comerciais. Isso contribuiu para um esvaziamento dos conteúdos e para uma abordagem metodológica segmentada e acrítica do ensino de ciências, geralmente fornecendo uma visão acabada do conhecimento científico e do trabalho dos cientistas.

Uma acurada análise dos livros didáticos aponta na direção que evidencia uma visão social positivista da ciência, impregnada nos livros didáticos de ciências

produzidos no país ao longo de considerável parte do século XX. Isto pode ser caracterizado quando se realiza uma análise de alguns livros que foram adotados no ensino médio nas últimas três décadas do século XX, onde através de alguns recortes, pode-se aferir a consistência dessa afirmação.

Alguns exemplos nítidos do extremado otimismo em relação à ciência e suas conquistas tecnológicas, desprezando-se uma análise dos aspectos negativos gerados pelo uso do conhecimento científico, são utilizados como elementos de motivação e ilustração no ensino de Química e Física, sendo reportados a seguir, a partir de alguns recortes realizados em manuais didáticos de química e física amplamente adotados nas escolas secundárias nos últimos trinta anos.

No livro Química 1ª Série (Bonato, 1971, p. 190), o autor, ao abordar os usos do cloro, relaciona uma impressionante lista de aplicações em processos industriais, de desinfecção hospitalar, em laboratórios e em propósitos econômicos. O autor não faz menção de que o gás cloro, devido a sua alta toxicidade, foi largamente empregado como arma química na Primeira Guerra Mundial, provocando milhares de mortes e mutilações. Perde, assim, a oportunidade de questionar a colaboração de cientistas em projetos bélicos, já que a sugestão para que o cloro fosse empregado como arma química partiu do químico alemão Fritz Haber. O mesmo cientista foi laureado com o Prêmio Nobel de Química em 1918, devido à síntese de amônia, que gerou os fertilizantes químicos. Na ocasião muitos cientistas protestaram quando da concessão do Prêmio Nobel a Haber.

No livro de Química (Lembo, 1987, p. 138), os autores, ao abordarem o estudo da radioatividade, discorrem sobre a fissão nuclear, levantando seu uso em reatores nucleares e, superficialmente, na fabricação das bombas atômicas lançadas contra as cidades de Hiroshima e Nagasaki. Em nenhum trecho os autores abordam as conseqüências danosas para o meio ambiente, decorrentes dos processos de prospecção e produção mineral de urânio, de fabricação e operação das centrais nucleares e do depósito de lixo nuclear. Também omitiram os acidentes nucleares ocorridos até a data da publicação do livro (1987). Procedendo desse modo os autores passam uma visão positivista em relação ao uso da energia nuclear,

ignorando seus riscos potenciais e desprezando os danos ambientais decorrentes do uso da tecnologia nuclear. Ao citarem superficialmente as explosões atômicas sobre as cidades japonesas, não fornecem elementos adequados para promover uma discussão sobre o papel dos cientistas e da ciência comprometidos com o complexo industrial-militar, tão presente no cenário internacional a partir do século XX, Sampson (1982).

No livro de Química Orgânica (Yoshinaga, 1985, p. 200) os autores abordam um aspecto da química aplicada, ao promover uma exposição sobre a indústria petroquímica, resumindo uma lista de produtos obtidos através de processos físico-químicos industriais, revelando, segundo os autores, a importância da indústria petroquímica. Ao finalizar tal exposição colocam: "Enfim, os químicos conseguem, hoje em dia, 'montar' e 'desmontar' moléculas 'a seu gosto', de modo a fabricar um número enorme de substâncias de grande importância industrial" (p. 201).

Os autores, ao promoverem tal abordagem, omitem os efeitos danosos para o meio ambiente, decorrentes da prospecção e transporte de petróleo, da operação de refinarias de petróleo e de indústrias petroquímicas. Deste modo, esquecem de apresentar o outro lado do progresso "científico-tecnológico", ignorando que o atual modelo energético mundial está assentado sobre o uso de uma tecnologia poluente que leva à exaustão das fontes de recursos naturais.

Ao promoverem uma avaliação positiva do trabalho dos químicos na produção de substâncias de grande importância industrial, impedem uma discussão sobre a ética da ciência e dos cientistas, comprometidos com os propósitos econômicos de grandes grupos industriais e da sociedade de consumo, pois, na lista dessas substâncias de grande importância industrial, encontra-se os cloro-fluorcarbonos, os pesticidas organoclorados, a talidomida e outros compostos químicos, cujos efeitos mostraram-se profundamente negativos para o homem e para a natureza.

No livro Conceitos de Física (Santos, 1990, p.203), os autores ao ilustrarem o estudo da energia, recorrem a fotografias e a um texto onde discorrem sobre a

produção de energia elétrica a partir de hidrelétricas, ressaltando a importância da geração de energia e descrevendo aspectos da construção de barragens e represamento do curso de rios, fixando-se no exemplo de ITAIPU, segundo os mesmos “a maior hidrelétrica do mundo”. Em nenhum momento os referidos autores preocupam-se em abordar mesmo que sumariamente outros aspectos da construção de hidrelétricas, tais como: o impacto ambiental sobre a fauna e flora, as possíveis alterações sobre monumentos geológicos, a influência do lago de contenção da barragem sobre o micro-clima e os reflexos sócio-econômicos decorrentes do alagamento de cidades e plantações.

No livro, Os Fundamentos da Física (Ramalho, 1992, p.92), os autores ao abordarem o estudo da propagação do calor, para ilustrar aspectos da irradiação térmica, recorrem à larga aplicação dos raios infravermelhos, citando seu uso em satélites, mísseis termoguiados e em lunetas especiais empregadas para visão noturna.

Suscitando uma visão apologética desses artefatos tecnológicos desenvolvidos a partir dos estudos da irradiação térmica, em nenhum momento, os autores abordam os outros lados da questão desses artefatos; onde poderiam questionar o uso dessa tecnologia para fins bélicos, em satélites de espionagem militar, em dispositivos de visão noturna acoplados a armas, e em tecnologia de guiagem de mísseis empregados para fins destrutivos. Deixando passar ao largo uma oportunidade para questionar o papel de cientistas vinculados ao Complexo Industrial Militar, como enfatizado anteriormente muito presente no cenário internacional a partir da segunda metade do século XX.

No livro de Física (Chiqueto, 1991), os autores iniciam a abordagem do estudo da Física, produzindo um breve relato histórico da ciência física, caracterizando de modo sinóptico a evolução da ciência através do mundo antigo, idade média, renascimento, iluminismo, até desembocar na ciência da era moderna. Nesse ponto os autores colocam: “... com a revolução industrial, a ciência entrou em um estágio de rápida evolução, devido a necessidade de desenvolver novas tecnologias.” p.10. Em seguida se faz a distinção entre física clássica e física

moderna, a última relacionada com a descoberta da radiatividade, a invariância da velocidade da luz e a radiação dos corpos de alta temperatura.

Os autores em nenhum ponto de sua narrativa abrem espaço para discutir os aspectos nefastos da primeira fase da revolução industrial, onde a exploração do proletariado pela ganância capitalista dos novos industriais, levava velhos, crianças e mulheres a trabalharem em condições insalubres por dezesseis horas diárias, sete dias por semana, nas tão decantadas fábricas, frutos das “novas tecnologias”.

Ao abordarem a Física moderna os autores negligenciam fornecer elementos para uma avaliação histórica das conseqüências do uso do conhecimento da Física das radiações, no que concerne à produção de artefatos nucleares e a conseqüente corrida armamentista que subsegue-se as explosões atômicas de Hiroxima e Nagasaki. Perdendo desse modo a oportunidade de contextualizar a ciência e os cientistas dentro de suas respectivas épocas, e de mostrar que o conhecimento científico não é algo neutro, intangível aos devaneios de dominação e poder humano.

Muitos outros recortes podem revelar a influência positivista sobre a visão social da ciência conferida pelos livros didáticos de Física e Química. Tal visão caracteriza-se por mostrar uma ciência repleta de aspectos positivos sobre as possibilidades de aplicação dos conhecimentos científicos, pouco considerando ou simplesmente ignorando as conseqüências sociais, econômicas, políticas e ambientais decorrentes do uso da tecnologia.

Ignora-se também o papel desempenhado pelos cientistas diante da corrida armamentista, das tecnologias agressoras do meio ambiente e dos reflexos sócio-econômicos do emprego de certas tecnologias. Perpassando, assim, uma visão asséptica da ciência e acrítica em relação ao trabalho dos cientistas e do uso das tecnologias produzidas a partir do conhecimento científico.

Tal visão da ciência sugere implicitamente uma certa resignação diante das contradições inerentes ao uso do conhecimento científico, e ao papel da ciência no contexto da sociedade capitalista industrial. Resignação bem caracterizada por Michael Lowy (1974):

"O positivismo tende poderosamente, pela sua natureza, a consolidar a ordem pública, pelo desenvolvimento de uma sábia resignação. Porque não pode existir uma verdadeira resignação, isto é, uma disposição permanente a suportar com constância e sem nenhuma esperança de mudança os males inevitáveis que regem todos os fenômenos naturais que, senão, através do profundo sentimento dessas leis invariáveis. A filosofia positiva que cria essa disposição se aplica a todos os campos inclusive no campo dos males políticos. Isto significa que os males que resultam dos fenômenos naturais são inevitáveis e, face à eles a atitude científica deve ser de sábia resignação, procurando apenas analisá-los e identificá-los", (Lowy, 1974, p. 40).

O enfoque positivista sobre a visão social da ciência, evidenciado e caracterizado através dos recortes realizados, propicia uma visão acrítica e descontextualizada da ciência e do trabalho dos cientistas. Implicitamente transmite uma "mensagem ideológica" que poderia ter levado muitos estudantes que utilizaram ou ainda utilizam tais livros didáticos a assumir concepções onde estariam a:

- A apresentar um otimismo extremado nas possibilidades da ciência em resolver toda a problemática humana;
- Desconsiderar que o uso tecnológico do conhecimento científico pode trazer conseqüências danosas para o meio ambiente;
- Ignorar que a ciência e a tecnologia podem estar a serviço da exploração e dominação de parcelas significativas da população, resultando daí, uma estratificação sócio-econômica injusta supostamente respaldada por "leis naturais".
- Não avaliar o papel desempenhado pelos cientistas diante das questões sociais, políticas, econômicas e ambientais suscitadas a partir do uso do conhecimento gerado por eles;
- Não avaliar de modo crítico a relação existente entre a ciência e o complexo industrial-militar, que produz conseqüências nefastas ao instigar a corrida armamentista e os conflitos bélicos em escala regional e global.

Tais concepções distorcem o papel da ciência e dos cientistas em relação a inúmeros aspectos da história humana. A suposta neutralidade da C & T, apregoada

pela tecnocracia e assumida como pedra angular dos procedimentos técnico-científicos por considerável parcela da comunidade científica e de tecnólogos, leva a uma *perspectiva popularmente aceita que:*

"... contribui para a disseminação da convicção de que tudo o que é produzido pela tecnologia é resultado de processos objetivos, amorais e desvinculados de qualquer contexto em que ela se insere. A acriticidade leva a absolutizações equivocadas e perigosas. (...) Isto quer dizer que a ciência é profundamente condicionada pelas circunstâncias econômicas, políticas, sociais e culturais em que é produzida. Assim, não pode existir de forma completamente pura e neutra. Ela é sempre realizada dentro de um contexto que a condiciona poderosamente, ditando seus direcionamentos e objetivos e, portanto, colocando-se a serviço de quem a financia e manda executar", (Johan, 1997, p. 73).

Nos últimos anos, alguns autores de livros didáticos, sintonizados com uma visão social da ciência crítica e contextualizada, vêm inserindo textos nos referidos livros que permitem um ensino científico, onde haja:

"... a preocupação com o desenvolvimento histórico do conhecimento científico e suas implicações no ensino, bem como os impactos sociais provocados por aquele conhecimento e sobretudo por suas aplicações tecnológicas, quer benéficas, quer nefastas com relação ao meio ambiente e ao homem", (Delizoicov, 1990, p. 27).

Alguns exemplos dessa "nova visão social" da ciência são encontrados quando se procedem alguns recortes em manuais de Química e Física produzidos nos últimos quinze anos.

No livro Química, Físico-Química (Feltre, 1992, p. 462), o autor, ao abordar o estudo da radioatividade, promove uma interessante abordagem onde coloca a importância da energia nuclear, sem, no entanto, deixar de descrever de modo pormenorizado os perigos das radiações e dos acidentes nucleares abordando também a questão do lixo nuclear. Deste modo o autor fornece preciosos elementos que permitem colocar no contexto da sala de aula, uma discussão sobre os aspectos positivos e negativos relativos ao uso dessa tecnologia.

No livro Química Moderna 1 (Carvalho, 1994, p. 246), o autor aborda inúmeros aspectos da química descritiva dos óxidos citando aplicações tecnológicas,

bem como os efeitos ambientais provocados por óxidos como o dióxido de carbono, o monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio e enxofre, tais como o efeito estufa, a chuva ácida e a poluição atmosférica. Procedendo deste modo, o autor propicia uma visão multilateral das conseqüências do uso do conhecimento científico, colocando no espaço da sala de aula discussões que levem à formação de uma visão crítica e contextualizada da ciência, suas conquistas tecnológicas e seus desdobramentos ambientais. Não induzindo o educando a uma postura de resignação frente aos males inevitáveis do progresso científico / tecnológico.

No livro *Química, Transformações e Energia*, (Silva et.al., 2001, p. 65), ao abordar o estudo das unidades para cálculo de concentração das soluções, bem como os processos para alteração de tais concentrações, encontra-se inserido um texto do jornal Folha de São Paulo, onde aponta-se a salinização dos açudes no Nordeste. No espaço desse texto se faz uma discussão sobre a adoção de tecnologias de irrigação sem que os agricultores estejam preparados para a utilização racional das mesmas. Deste modo pode-se discutir em sala de aula que não é a simples adoção de tecnologias que resolverá os problemas da humanidade; tal adoção deve vir acompanhada de uma educação científico-tecnológica dos usuários de tais tecnologias, que objetive sua mais eficiente utilização e, sobretudo, um questionamento democrático na implementação de políticas públicas que tratem de tais tecnologias.

No livro *Física–Mecânica*, (Paraná, 1993), o autor ao abordar o estudo do trabalho e da energia na página 28, faz uma introdução onde promove uma sinopse da revolução industrial do século XVIII, avaliando suas conseqüências sobre a difusão da industrialização e sobre o trabalho dos físicos para a melhor utilização da ciência, relacionando-a ao aperfeiçoamento dos meios de produção.

Simultaneamente, o autor insere um texto onde se relata detalhes sobre o emprego de crianças órfãos no parque fabril inglês, realçando as condições de trabalho desumanas e cruéis que imperavam no seio da pátria mãe da revolução industrial. O levantamento do aspecto social da revolução industrial permite abrir reflexão construtiva sobre os reflexos sociais de um modelo de industrialização

predatório e explorador; o que constitui ótima condição para discutir o papel da ciência e dos cientistas na estrutura político-econômica do mundo em diferentes épocas.

Com o advento da Nova LDB e a criação dos Parâmetros Curriculares Nacionais, indica-se que o ensino médio deve dar continuidade à perspectiva educacional do ensino fundamental que busca a prática da cidadania e a visão interdisciplinar através do ensino de ciências. Também se enfatiza que o aluno deve estabelecer relações entre necessidades sociais, evolução de tecnologias e degradação ambiental.

Tais orientações estimulam o surgimento de publicações que buscam fornecer elementos que permitam ao educando compreender os avanços promissores do progresso científico, bem como os efeitos nem sempre colaterais desse progresso. Tal visão revela-se mais adequada aos novos paradigmas que surgem no limiar do terceiro milênio, onde a humanidade, de modo holístico, procura entender a real significação social do trabalho dos cientistas e de seu posicionamento político.

4.3. METODOLOGIA DE PESQUISA

A modalidade de pesquisa documental será adotada como o procedimento metodológico do trabalho de dissertação, tendo por finalidade em primeiro plano analisar uma amostra de três livros didáticos das disciplinas de Química, Física, Biologia e Geografia adotados em algumas escolas de Florianópolis e região metropolitana (São José e Palhoça). Em tal análise buscar-se-á caracterizar a concepção de meio ambiente perpassada por tais livros ao abordarem o tema da poluição nuclear. Num segundo plano, fornecer indicativos para uma abordagem de Educação Ambiental focada no tema poluição nuclear dentro de uma concepção de meio ambiente Globalizante, utilizando-se dos fundamentos dos Estudos CTS.

Tal pesquisa será feita sobre materiais que se encontram elaborados, porém que não receberam um tratamento analítico que permita, selecioná-los, fundamentá-los, formatá-los e seqüenciá-los, de tal forma que constituam uma proposta de ensino que permita atingir os objetivos almejados na questão de pesquisa.

Todo tipo de atividade de pesquisa apresenta um desenho metodológico, que nada mais é que o modelo conceitual e operacional que organiza o *modus operandi* de uma atividade investigativa. Existem inúmeros desenhos de pesquisa, o que implica inúmeros tipos de classificação das metodologias de pesquisa (Rauen, 2002).

Das muitas classificações existentes, destaca-se aquela que concebe a distinção entre metodologias de pesquisa quantitativa e qualitativa. No primeiro grupo, encontram-se as pesquisas que centram seu desenho metodológico no uso de métodos estatísticos de coleta e tratamento de dados, no intuito de usar tal ferramental para a obtenção das condições adequadas à análise do objeto de pesquisa.

No segundo grupo, estão as pesquisas que centram seu desenho metodológico no uso de instrumentos de coleta e análise de dados que não se fundamentam apenas em métodos estatísticos. Convém observar que: "*A análise qualitativa pode ter apoio quantitativo, mas geralmente se omite a análise estatística ou o seu emprego não é sofisticado.*" (Triviños, 1990, p.111).

Dentro do escopo das metodologias de pesquisa qualitativa, encontra-se a pesquisa documental, a qual pode ser definida como a modalidade de pesquisa no qual se: "... lidam com registros que já existem e tais análises têm sido, freqüentemente, referidas como um método de pesquisa bibliográfica, pesquisa histórica ou análise de conteúdo." (Rummel, 1972, p.152).

A importância principal da pesquisa documental encontra-se no campo da educação, especialmente no desenvolvimento do currículo, "... no qual um pesquisador pode fazer um levantamento do que está acontecendo ou do que aconteceu, pelo que foi registrado em materiais escritos ou impressos." (Rummel, 1972, p.152) .

Segundo Triviños (1990) a pesquisa documental pode ser considerado um estudo descritivo que concede ao pesquisador a possibilidade de compilar um acervo considerável de informações, que versem sobre livros-texto, planos de estudo, processos e condições escolares, leis federais, estaduais e municipais de educação.

A pesquisa documental está fundamentada no uso de documentos, que constituem todo o veículo de comunicação escrito, visual, ou físico. Segundo Rauen (2002), os tipos de documentos são:

a) Registros públicos - registros contínuos de uma sociedade, tais como os de nascimento, casamento, óbito, tribunais, governo, etc;

b) Documentos pessoais - narrativas em primeira pessoa que descrevem as ações, experiências e convicções, tais como, diários, cenas, vídeos caseiros, sermões, registros, etc.

c) Material físico - artefatos físicos dentro da situação em estudo, incluindo ferramentas, utensílios, e instrumentos do cotidiano, além de vestígios físicos;

d) Documentos gerados pelo investigador – documentos preparados pelo investigador ou para o investigador pelos participantes.

Na pesquisa documental em educação, os documentos segundo Rummel (1972, p.152), podem ser classificados nas seguintes categorias:

1. Fontes concretas, incluindo catálogos de instituições, registros de contas, reuniões e acontecimentos; leis e documentos oficiais; e novos artigos.

2. Instrumentos educacionais, incluindo cursos de estudo e relações de leitura, sumários, manuais de professores e livros de texto e de exercício dos alunos.

3. Fontes que tratam da interpretação e estudo da educação, incluindo relatórios de pesquisas, registro do ponto de vista de indivíduos ou de comissões e livros de texto e outros tratados sobre o assunto da educação.

A utilização dos documentos deve se dar, quando segundo Rauen (2002, p.196) :

a) Renderem melhores dados que outras técnicas;

b) Estiverem acessíveis e contiverem informações que demandariam tempo elevado para reunir de outra forma;

c) Forem os únicos meios para estudar certos problemas (estudos históricos, por exemplo).

Todavia, eles podem traduzir limitações, tais como:

a) Serem incompletos para os propósitos da pesquisa;

b) Não disporem dados no nível de detalhamento requerido;

c) Não permitirem continuidade de dados;

d) Serem escassos;

e) As informações não estarem numa forma útil ou compreensível para o investigador;

f) Não corresponderem ao modelo conceitual adotado;

g) Conterem preconceitos que podem não ser percebidos.

Os documentos nem sempre são fontes precisas de dados, em virtude de dúvidas quanto a sua origem e conteúdo, portanto torna-se imperativo que o pesquisador realize uma avaliação crítica dos documentos a nível externo e interno.

Na análise crítica externa, procura-se averiguar a autenticidade ou o caráter de genuinidade do documento, no intuito de admiti-lo como evidência. Em tal análise procura-se analisar mais a forma e a aparência do documento do que o significado de seus conteúdos.

Na análise crítica interna, procura-se avaliar a credibilidade e a fidedignidade dos dados presentes no documento. Em tal análise são observadas as peculiaridades da época, lugar e linguagem original empregada pelo autor. Pois muitos vocábulos presentes em documentos antigos possuem uma conotação semântica diferente da referida conotação em tempo presente.

Segundo Rummel (1972) ao analisar criticamente um documento devem ser respondidas as seguintes indagações:

1) Onde foi feito?

2) Quando foi escrito?

3) É um documento válido?

4) Quem foi o autor?

5) O documento pode ser aceito como verdadeiro?

A pesquisa documental esquematicamente pode ser descrita em quatro fases subseqüentes ou em alguns casos simultâneas:

1)- Obtenção dos materiais, procedimento sistemático, que evolui ao longo da investigação.

2)- Avaliação da autenticidade e da precisão dos documentos.

3)- Adoção de um sistema para codificar e catalogar os documentos, visando tornar fácil o acesso a informação na fase de análise e interpretação.

4)- Análise e interpretação dos documentos, procurando fatos e concepções que são pertinentes aos temas da pesquisa. Procurando estabelecer que relações existem entre os vários fatos; fazendo comparações com fatos ou referenciais teóricos apresentados por outros autores, tentando estabelecer uma descrição analítica mais próxima da verdade.

A análise documental segundo Rummel é o principal método utilizado em "pesquisa histórica", pois constitui um modo de descobrir os acontecimentos de um certo lapso cronológico, correlacionando os mesmos, numa seqüência significativa, dentro dos limites materiais disponíveis e da capacidade intelectual de percepção e análise do pesquisador.

Na pesquisa educacional existe uma grande variedade de tipos de análise documental, tais como: análises de livro-texto, análises de conteúdo de histórias, análise de periódicos e jornais. A análise de livro-texto (livro didático), procura observar a freqüência de conceitos, os tipos de conceitos, a classificação de técnicas, a investigação de tendências históricas, estudos de erros, deturpações e parcialidades em materiais impressos. Os estudos de conteúdos de histórias envolvem a identificação de antecedentes étnicos, e os papéis que os personagens desempenham na literatura, no intuito de demonstrar, por exemplo, se existe discriminação contra certos tipos de etnias, culturas e similares. A análise de conteúdos de jornais e outros tipos de periódicos, serve de fundamento pra investigações de natureza sociológica, histórica e ideológica, Rummel (1972).

4.3.1. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os livros didáticos de Química, Física e Biologia terão uma análise pautada em dois critérios gerais, denominados: conteúdo programático e abrangência contextualizadora, os livros didáticos de Geografia serão avaliados apenas sob o critério da abrangência contextualizadora. Tais critérios, tanto em sua denominação quanto em sua formulação, são de nossa autoria.

No critério do conteúdo programático serão avaliados quais são as informações científicas e tecnológicas pertinentes à poluição nuclear e como tais informações são abordadas nos manuais didáticos analisados. No critério da abrangência contextualizadora serão avaliados aspectos pertinentes às relações entre ciência, tecnologia e sociedade e as questões ambientais alinhavadas pelos citados manuais, buscando-se caracterizar a concepção de meio ambiente perpassada quando da abordagem da poluição nuclear.

Dentro do critério de análise denominado conteúdo programático, buscar-se-á responder as seguintes questões:

a) Quando da abordagem da cinética radioativa no que concerne ao tempo de meia vida de radionuclídeos, é observado que muitos continuarão a emitir radiação por longos períodos cronológicos, o que torna ainda mais preocupante a questão dos lixos radioativo e nuclear e dos acidentes nucleares?

b) Como se dá à abordagem conceitual e matemática da interação das radiações com a matéria?

c) Como são abordados os efeitos somáticos e genéticos provocados pelas radiações?

d) Quais e como são abordadas as aplicações da energia nuclear e das radiações no que concerne à tecnologia, medicina, agricultura, arqueologia e outras áreas?

Dentro do critério de análise denominado abrangência contextualizadora, buscar-se-á responder as seguintes questões:

- No tocante aos aspectos ambientais dos artefatos bélicos nucleares:

a) Como são abordados os efeitos ambientais dos testes com explosões nucleares?

b) Como são abordados os aspectos ambientais de uma possível guerra nuclear?

c) Como são abordados os possíveis efeitos ambientais do terrorismo com o emprego de armas nucleares ou de bombas sujas (artefatos com explosivos químicos impregnados com material radioativo)?

d) Como são abordados os aspectos da ética em relação a cientistas que atrelaram suas pesquisas ao desenvolvimento de armas nucleares e ao complexo industrial militar, causador de inúmeros danos ambientais?

- No tocante aos acidentes radioativos e nucleares:

a) Como se dá a abordagem dos acidentes de Windscale (Inglaterra, 1957), Three Mile Island (EUA, 1978), Juarez (México, 1983)?

b) Como se dá a abordagem do acidente nuclear de Chernobyl (URSS, 1986)?

c) Como se dá a abordagem do acidente radioativo de Goiânia (Brasil, 1987)?

d) Como são abordadas as questões ambientais relacionadas com os rejeitos radioativos provenientes da operação de centrais nucleares, de equipamentos de medicina nuclear, e de outras fontes?

e) Como são abordadas as relações entre as motivações políticas e econômicas envolvidas na operação com materiais radioativos e nucleares e os aspectos ambientais pertinentes aos mesmos?

f) Quando da abordagem dos acidentes radioativos e nucleares, explicita-se de forma contundente a necessidade de uma educação técnico-científica do cidadão, para sua completa inserção política, quando da análise para adoção e controle de tecnologias potencialmente perigosas?

No tocante ao programa nuclear brasileiro:

a) Como se dá a abordagem da participação da sociedade nas discussões para a implementação do programa nuclear brasileiro?

b) Como são abordados os riscos ambientais decorrentes da operação das usinas nucleares brasileiras?

c) Frente aos riscos ambientais inerentes a energia nuclear, como justifica-se o uso de tal energia no Brasil, já que o mesmo é detentor de uma matriz energética favorecida por consideráveis recursos hidrelétricos e com grandes possibilidades energéticas por geração eólica, solar, oceânica e de biomassa?

Diante das questões levantadas nos critérios do conteúdo programático e da abrangência contextualizadora, buscar-se-á levantar subsídios que permitam responder:

- Os livros didáticos analisados abordam satisfatoriamente os conceitos científicos dos fenômenos nucleares essenciais à compreensão da poluição nuclear?

- Qual concepção de meio ambiente é perpassada pelos manuais didáticos analisados?

- Como e com qual profundidade podem ser abordadas as relações entre ciência, tecnologia e sociedade, no estudo da poluição nuclear, para a apreensão da questão ambiental numa perspectiva globalizante?

4.3.2. ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS DE GEOGRAFIA

LIVRO DIDÁTICO (1): MARINA, Lúcia & Rigolin Tércio. Geografia: série novo ensino médio. 1. ed., volume único, São Paulo:Ática, 2003.

Esse livro didático encontra-se em sua sexta reimpressão, apresentando em sua folha de rosto observações que asseveram que o livro apresenta inter-relacionamento de conteúdos geográficos, temas atuais para reflexão e debate, atividades interdisciplinares, questões do Enem (Exame Nacional do Ensino Médio) e dos últimos vestibulares de todo o Brasil, estando de acordo com as diretrizes curriculares nacionais para o ensino médio. Sua estrutura organizacional encontra-se dividida em três partes, a primeira parte é denominada: A Questão Ambiental: natureza, sociedade e tecnologia. A segunda parte recebe a denominação de: O Mundo em Transformação: Economia e geopolítica. A terceira parte é intitulada: O Espaço Brasileiro.

Na primeira parte, o capítulo 22 intitulado: Energia: motor da vida, aborda as diferentes fontes de energia, como o carvão mineral, petróleo, gás natural, hidroeletricidade, termoeletricidade, e a energia nuclear, além de fontes de energia reconhecidas como fontes de energia do futuro, como a biomassa, energia eólica e solar. No tópico denominado energia nuclear, o livro observa que embora as usinas nucleares estejam próximas dos centros consumidores, representam um perigo para a população devido ao risco de "vazamento nuclear", citando como acidentes mais sérios os de Three Miles Island (EUA-1979) e Chernobyl (Ucrânia-1986). Enfatiza que outro problema grave é o destino do lixo atômico, o qual é uma séria ameaça ao meio ambiente. Por fim aponta que a forte pressão mundial de grupos de ecologistas produziu resultados, como o fechamento de todas as usinas nucleares alemãs até 2021.

São apresentados também gráficos sobre a produção mundial de urânio e a participação da energia nuclear na produção de energia elétrica, bem como um anexo em forma de infográfico extraído da revista *Época*, denominado Geografia e Física, que pretende explicar como a massa vira energia através do texto: "*A explosão da bomba de urânio libera calor e raios gama, a forma mais letal de radioatividade.*" p.148, assim como, a recomendação: "Peça a ajuda de seu professor de física e faça uma pesquisa sobre a história da energia nuclear." , p.148.

Na primeira parte, o capítulo 27 denominado: O Lixo Urbano e os Impactos Ambientais Causados pela Poluição, no tópico intitulado, lixos que merecem atenção especial, é citado o lixo atômico formado por resíduos de usinas nucleares. No tópico denominado soluções para o problema, é observado que o material radioativo usado em hospitais para tratamento de câncer deve ser lacrado em recipientes de chumbo e enterrado longe de lugares muito habitados. Descreve-se rapidamente o acidente com o césio-137 em Goiânia em 1987, enfatizando que a causa de tal acidente se deve a negligência no trato com esse tipo de material e o desconhecimento da população. O livro também observa que outro perigo para todas as formas de vida do planeta é o lixo atômico, produzido por usinas nucleares, os quais são colocados em caixas de concreto e enterrados ou jogados no mar, o

que constitui perigo, devido a corrosão marinha de tais caixas ou um contato acidental com o lixo enterrado. Por fim assevera: "O destino incerto do lixo nuclear no mundo é uma das questões a serem resolvidas no século XXI.", p.171.

Na terceira parte o capítulo 73 intitulado, Recursos Energéticos do Brasil, no tópico, usinas atômicas ou nucleares, dispõe-se que foi descoberto no Pará a maior reserva de urânio do mundo, sendo esse a principal fonte de energia das "termonucleares". O programa nuclear brasileiro é citado em quatorze linhas em página dividida em duas colunas, ocupando apenas uma dessas colunas, é descrito como polêmico, pois a usina de Angra I custou dois bilhões de dólares e por razões técnicas foi desligada várias vezes, sendo denominada usina vaga-lume.

LIVRO DIDÁTICO (2): LUCCI, Elian Alabi, et al. Geografia Geral e do Brasil - ensino médio. 1. ed. São Paulo:Saraiva, 2003.

Esse livro didático encontra-se em sua primeira tiragem. Sua estrutura organizacional encontra-se dividida em sete unidades temáticas, das quais a unidade 3 denominada, Energia – Geopolítica e Economia apresenta no capítulo 11 –A infra-estrutura energética do mundo, a abordagem da energia nuclear se dá na página 153, e no capítulo12- As fontes alternativas e a energias no Brasil, a abordagem da energia nuclear se dá na página 167.

No capítulo onze é apresentado uma sumária retrospectiva histórica da evolução da energia nuclear, enfatizando que no princípio seu emprego foi para fins militares, evoluindo posteriormente para fins pacíficos, notadamente na geração de energia elétrica. Acrescenta que o choque do petróleo de 1973 reforçou a opção pela energia nuclear, no entanto acidentes como o de Three Miles Island (EUA – 1979) e Chernobyl (URSS -1986) colocaram em cheque tal opção energética, observando que embora países como a Alemanha pretendam abolir o uso de energia nuclear, países como a Índia, Taiwan e China investem pesadamente no desenvolvimento da tecnologia nuclear.

O livro aborda a questão da energia nuclear num tripé que levanta problemas de ordem econômica, política e ambiental. Os problemas econômicos dizem respeito

aos elevados custos para a construção de centrais nucleares e desenvolvimento de tecnologia. Os problemas políticos dizem respeito à construção de armas nucleares e suas conseqüências para a segurança mundial, afirmando que boa parte dos investimentos em pesquisa nuclear tem origem em interesses militares. Os problemas ambientais dizem respeito aos possíveis acidentes com usinas nucleares e com o destino dos resíduos radioativos oriundos dessas centrais energéticas.

No capítulo doze aborda-se de modo sinóptico o programa nuclear brasileiro (PNB), apontando sua origem em projetos dos governos militares dos anos sessenta e setenta, com o propósito de desenvolver armamentos nucleares. Cita o elevado custo do mesmo e os problemas técnicos com a operação da usina Angra I, denominada "vaga-lume", devido seus constantes desligamentos. Enfatiza que as usinas de Angra I e II, respondem por apenas 2,5% da geração elétrica do Brasil, estando construídas numa região, que por aspectos geográficos, em caso de acidente dificultaria a remoção da população vizinha às usinas. Por fim, conclui, afirmando que o Brasil possui inúmeras alternativas energéticas mais baratas e de menor risco ambiental do que a energia nuclear, tais como: a hidroeletricidade, as energias eólica, solar, de biomassa, dentre outras, asseverando que: "No Brasil, a energia nuclear nunca foi uma alternativa viável". p. 168.

No capítulo 20 – Questão Ambiental e Desenvolvimento Sustentável, são abordados inúmeros aspectos da sociedade de consumo, do desenvolvimento sustentável e dos grandes problemas ambientais de ação global. Embora não sejam citados explicitamente os problemas decorrentes da poluição nuclear, a abordagem do desenvolvimento sustentável se dá de tal forma que são contemplados os aspectos sociais, econômicos, políticos e culturais associados às questões ambientais, deixando entrever uma percepção de meio ambiente globalizante.

LIVRO DIDÁTICO (3): SENE, Eustáquio & MOREIRA, João Carlos. Geografia Geral e do Brasil: espaço geográfico e globalização. Volume Único. 2. ed. São Paulo: Scipione. 2004.

Esse livro didático apresenta uma estrutura organizacional dividida em oito unidades temáticas, abordando a temática nuclear na unidade quatro, denominada: Industrialização e Geopolítica, especificamente no capítulo dois, intitulado: A produção mundial de energia, e na unidade cinco, denominada: Brasil: industrialização e política econômica, especificamente no capítulo três, intitulado: A produção de energia no Brasil.

No capítulo dois da unidade quatro, encontra-se na página 268 o tópico: Energia Atômica, no qual cita-se que em 2003, dezessete por cento de toda a energia elétrica mundial tinha origem nuclear. E que a despeito dessa elevada participação na geração energética, a energia nuclear apresenta problemas, gerando controvérsias devido aos altos custos da instalação das usinas, problemas de segurança e do destino do lixo atômico. Para maiores informações sobre o lixo atômico, sugere uma consulta ao site [www. scipione.com.](http://www.scipione.com.), enfatizando que os resíduos radioativos emitem radiações por séculos, sumariamente cita os acidentes de Chernobyl (1986) e Three Miles Island (1979).

No capítulo três da unidade cinco, na página 411 encontra-se o quadro intitulado: O programa nuclear brasileiro, no mesmo é observado que o PNB teve início em 1969, citando o acordo realizado com a empresa americana W. Westinghouse para a construção da usina de Angra I, o qual não permitiu transferência de tecnologia. Enfatiza que a citada usina foi construída sobre uma falha geológica e caracterizou-se por sucessivos problemas técnicos, recebendo por isso a alcunha de usina vaga-lume.

O acordo nuclear com a Alemanha iniciado em 1975 é citado como tendo uma previsão inicial de construção de oito usinas nucleares, e que, no entanto, após bilhões de dólares gastos, apenas a usina de Angra II que deveria funcionar em 1983, só começou a funcionar em 2001, sendo que atualmente a energia nuclear responde por apenas dois por cento da matriz energética brasileira.

CONSIDERAÇÕES:

Os livros didáticos analisados pecam por algumas omissões, como por exemplo, ao não abordarem os efeitos ambientais dos testes nucleares próprios do período histórico da guerra fria tão importante na definição geopolítica da segunda metade do século XX, por não abordarem os aspectos ambientais de uma possível guerra nuclear que tanto atormentou o mundo durante os anos da citada guerra fria e sequer mencionarem as possibilidades de ações terroristas com o emprego de armas de destruição em massa, como bombas nucleares ou bombas sujas. Não são abordados aspectos da ética de cientistas, notadamente das ex - repúblicas soviéticas cooptados por governos belicosos como da Coreia do Norte e Paquistão ou por grupos terroristas.

No tocante aos acidentes nucleares e radioativos não são fornecidos elementos suficientes para a compreensão de suas causas e conseqüências ambientais, sendo os mesmos tratados de forma sumária, em caráter meramente informativo. Na abordagem do acidente de Goiânia não são discutidos aspectos associados à irresponsabilidade e negligência das autoridades governamentais em termos de fiscalização, prevenção e enfrentamento de acidentes com material radioativo.

Não são discutidas as motivações econômicas e políticas envolvidas na operação de centrais nucleares, mineração de urânio e descarte de lixo radioativo. Não se explicita a importância de uma educação técnico-científica da população para o exercício democrático de participação na definição de políticas públicas que envolvam tecnologia nuclear.

No tocante ao programa nuclear brasileiro (PNB) a despeito de ressaltar que o mesmo é polêmico, os livros não trazem elementos suficientes que permitam reflexões que tratem da implantação do PNB, onde a sociedade foi mantida à margem das decisões, ou que ainda não foram devidamente encaminhadas às soluções técnicas definitivas para o acondicionamento do lixo radioativo proveniente das usinas de Angra I e II. Nem tampouco, os livros fornecem subsídios para

discutir o programa nuclear paralelo que objetivava dotar o Brasil de artefatos nucleares explosivos.

Com exceção do livro didático dois, na abordagem dos problemas ambientais associados ao lixo, especialmente ao lixo nuclear, a concepção de meio ambiente perpassada separa o homem e as ações antrópicas, consideradas agressoras, do meio ambiente, o que, portanto, não permite uma visão globalizante do meio ambiente.

O livro didático dois peca pela natureza dogmática de sua afirmação de que a energia nuclear no Brasil nunca foi viável, pois ignora que o Brasil detém grandes reservas naturais de urânio, bem como se o PNB fosse democraticamente conduzido poderia alavancar uma independência tecnológica em relação aos países centrais e constituir uma alternativa economicamente viável e ecologicamente segura para a complementação da matriz energética brasileira.

4.3.3. ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS DE BIOLOGIA

LIVRO DIDÁTICO (1): PALINO, Wilson Roberto. *Biologia Atual*. 19. ed. Volumes 1,2, 3. São Paulo: Ed. Ática, 2002.

Essa coleção de livros didáticos apresenta três volumes, sendo os volumes um, dois e três respectivamente intitulados: citologia e histologia; seres vivos e fisiologia ; genética, evolução e ecologia. No livro três, unidade IV denominada: Ecologia, no capítulo vinte intitulado: Desequilíbrios ambientais abordam-se os principais tipos de poluição, tratando na página 324 do tema radiatividade.

Segundo o livro a poluição radiativa se tornou preocupante após a Segunda Guerra Mundial, devido seus efeitos produzirem sérios danos aos seres vivos. Os produtos radiativos, conforme o livro são provenientes de explosões atômicas, água utilizada para resfriamento dos reatores de usinas nucleares ou de resíduos atômicos gerados por tais usinas. São citados alguns radioisótopos, como o estrôncio 90, o iodo 129 e 131 e o césio 137, procurando-se esclarecer o conceito

de meia-vida e enfatizando-se o efeito do estrôncio 90 sobre a medula óssea e do iodo 129 e 131 sobre a glândula tireóide.

Cita-se sumariamente o acidente com o céσιο 137 em Goiânia em 1987 e acidente de Chernobyl em 1986, concluindo que os elementos radiativos se forem bem manipulados, podem ser muito úteis, como no caso da medicina nuclear e na esterilização de insetos nocivos à agricultura.

LIVRO DIDÁTICO (2): LINHARES, Sérgio & GEWANDSZNAJDER, Fernando. Biologia Hoje. 11. ed. Volumes 1,2, 3. São Paulo: Ed. Ática, 2003.

Essa coleção de livros didáticos apresenta três volumes, sendo os volumes um, dois e três respectivamente intitulados: citologia , histologia e origem da vida; os seres vivos; genética, evolução e ecologia. No livro três, unidade III denominada: Ecologia, no capítulo vinte e dois intitulado: Poluição são abordados os principais tipos de poluição, sendo a poluição radioativa tratada na página 402.

Numa abordagem inicial é citada a radioatividade natural, exemplificando-a com a emissão de radiação pelo elemento químico radônio, observando-se que com o advento da descoberta da energia nuclear, uma fonte extra de radiação foi lançada no ambiente, devido aos testes nucleares e acidentes nas usinas. Enfatiza-se que o lixo atômico proveniente de usinas nucleares constitui um grave problema ambiental.

Sobre os acidentes nucleares são abordados em poucas linhas os de Three Miles Island e de Chernobyl, e abordado o acidente de Goiânia com o céσιο 137, ressaltando-se que os proprietários da clínica foram considerados culpados pelo acidente.

No que concerne ao perigo da radioatividade, o livro dispõe que a radiação provoca no organismo a formação de grande quantidade de radicais livres, espécies químicas instáveis que podem interagir quimicamente com várias moléculas orgânicas das células, prejudicando sua fisiologia, rompendo a célula, e alterando o material genético, produzindo mutações, fonte de casos de câncer e mudanças genéticas transmitidas as gerações futuras. Alerta-se que a taxa de mutação é

diretamente proporcional à dose de radiação recebida, e que os problemas citados dependem do tipo e da quantidade de radiação recebida, enfatizando-se que doses acima de 1000 rads provocam a morte em poucos dias, doses entre 100 rads e 1000 rads causam alopecia, hemorragias, diarreias, e infecções. No entanto não é explicado o significado físico de rad, limitando-se a esclarecer que se trata de uma unidade de medida da quantidade de radiação recebida.

São citados alguns elementos radioativos que tem uma vida muito longa, e por isso, seus efeitos prolongam-se por muito tempo, como o caso do estrôncio 90 liberado em testes nucleares e vazamentos radioativos em usinas, o qual possui um tempo de meia-vida de 29 anos. Como solução para a poluição radioativa, cita-se o acondicionamento dos rejeitos radioativos em recipientes especiais.

O livro coloca que os defensores da energia nuclear acreditam que vale a pena correr os riscos inerentes a tal tecnologia, dadas as necessidades energéticas de alguns países e pelo fato das usinas nucleares não poluírem o meio ambiente como as termoelétricas que queimam petróleo. Em contraponto, observa que muitos preferem não correr os riscos da energia nuclear, optando por fontes alternativas de fomento energético.

Por fim, enfatiza o livro que qualquer que seja o ponto de vista, é essencial que a sociedade através de organizações ambientais, da comunidade científica e do congresso controle a instalação de usinas nucleares.

LIVRO DIDÁTICO (3): MACHADO, SÍDIO. Biologia: de olho no mundo do trabalho. 1. ed. Volume Único. São Paulo: Scipione, 2003.

Esse livro didático apresenta-se não como uma coleção de três volumes, mas sim no formato de volume único, o que parece ser o formato preferencial adotado nas escolas públicas consultadas. No capítulo 38 intitulado: Desequilíbrio Ecológico, a poluição radioativa é abordada no tópico seis.

Inicia-se a abordagem, dispondo-se que as usinas nucleares geram energia elétrica e também rejeitos radioativos que podem contaminar a biosfera por milhares de anos. Cita-se o acidente de Chernobyl em 1986, o qual liberou dentre

vários poluentes radioativos, o cézio 137, o estrôncio 90 e o iodo 131 e 129 os quais provocaram a contaminação do solo e das águas em vastas regiões da Europa. Enfatiza-se que o estrôncio 90 adentra as cadeias alimentares, por substituir o cálcio e quando transferido aos humanos provoca câncer ósseo. Cita-se de modo resumido o acidente com o cézio 137 em Goiânia em 1987.

Por fim no quadro intitulado: Interdisciplinaridade! Associando conhecimentos, é apresentado um esquema simplificado de geração de energia elétrica por usinas nucleares.

CONSIDERAÇÕES:

Embora o livro (2), aborde de modo resumido como a radiação afeta os seres vivos, os livros analisados pecam por não fornecerem informações mais detalhadas sobre os efeitos somáticos e genéticos das radiações sobre estruturas citológicas e histológicas, perdendo oportunidade ímpar de contextualizar elementos curriculares de biologia molecular, como os ácidos nucléicos, elementos curriculares de genética, como mutações e patologias oncogênicas do tipo carcinoma e outras modalidades de câncer. Outra falha por omissão está no não detalhamento das unidades de exposição e dose de radiação, tão importantes para aferição dos efeitos biológicos provocados pelas radiações.

O tratamento dado às conseqüências ecológicas dos acidentes com usinas nucleares e submarinos nucleares, testes nucleares, e deposição de lixo nuclear nos mares ou em abrigos subterrâneos, é incipiente, não permitindo a elaboração de tramas conceituais integradoras que correlacionem o tempo de meia-vida dos radioisótopos, as cadeias alimentares, e os fatores abióticos como lençóis freáticos e a dispersão eólica dos resíduos radioativos. Tais tramas são fundamentais para a apreensão da poluição nuclear numa perspectiva holística.

A despeito do livro (2) enfatizar a importância da participação da sociedade no controle para instalação de usinas nucleares, os livros analisados não citam explicitamente as causas políticas e econômicas associadas à negligência governamental que produziram acidentes como os de Chernobyl e Goiânia.

Por fim, a abordagem da poluição radioativa ou nuclear levada a cabo nos três livros não permite entrever uma perspectiva globalizante de meio ambiente. Pois a questão ambiental não é tratada de modo que permita relacionar intrinsecamente as motivações econômicas e políticas, os custos sociais e os aspectos ambientais associados à tecnologia nuclear, quer no aspecto pacífico ou bélico.

4.3.4. ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA

LIVRO DIDÁTICO (1): ALVARENGA, Beatriz & MÁXIMO, Antônio. Física: de olho no mundo do trabalho. Volume Único. São Paulo: Scipione, 2003.

Esse livro didático apresenta-se no formato de volume único. Na página 312 faz uma rápida alusão aos raios X e aos raios gama, citando aspectos históricos de suas descobertas. Na página 313 aborda a radioatividade, tecendo considerações sobre as radiações alfa, beta e gama em termos de emissão e poder de penetração, exemplifica a emissão de radiação gama na detonação da bomba atômica e no acidente com a usina nuclear de Chernobyl, não fazendo referências sobre as datas históricas e as conseqüências ambientais desses eventos.

Cita o símbolo internacional sobre a presença de material radioativo e o uso de radiação gama em medicina no tratamento do câncer, não fazendo nenhuma alusão ao acidente de Goiânia com a cápsula do radioisótopo césio 137, empregado em medicina nuclear.

LIVRO DIDÁTICO (2): PARANÁ. Física. 6. ed. Volume Único. São Paulo: Ed. Ática, 2003.

Esse livro didático apresenta-se no formato de volume único. Na parte III denominada: Eletricidade - Física Moderna, aborda a temática nuclear no módulo 74, intitulado radioatividade, e no módulo 75, denominado fontes de energia.

O módulo radioatividade, inicia um breve histórico da energia nuclear, abordando as radiações alfa, beta e gama, os fenômenos da fissão e fusão nuclear,

ilustrando-os com duas fotos. A primeira retratando um cogumelo nuclear sobre Nagasaki datada de agosto de 1945, enfatizando: "A bomba atômica tornou o ser humano consciente da possibilidade de sua extinção sobre o planeta." p.335. A segunda mostra uma vista da usina nuclear de Angra dos Reis, caracterizada como geradora de energia e uma alternativa à crise nas reservas de combustíveis fósseis, como carvão e petróleo.

Nas páginas 336 e 337 apresenta-se uma sugestão de atividade sobre dois textos que abordam a peça Copenhague, sugerindo a elaboração de textos por parte dos alunos para apresentação na escola que abordem: as relações entre ciência e poder, ciência e ética, ciência e sociedade, ciência e cultura, bem como o ensino de Física na escola e sua visão de mundo.

O texto (1) intitulado reflexões sobre Copenhague escrito por Ildeu de Castro, trata da neutralidade da ciência, retratando que hoje inúmeros cientistas que prestam serviços para empresas multinacionais ou governos, em setores de intenso impacto social, se refugiam em uma suposta neutralidade da ciência, para justificar interesses particulares ou omissões. Não obstante, atualmente não há mais espaço para conceber uma imagem mítica de uma ciência neutra e apolítica.

O texto (2) denominado física também é cultura, escrito por João Zanetic, destaca que no ensino de física a formulação matemática e a experimentação deve ser acompanhado do contexto histórico e cultural, no qual o conhecimento foi produzido, procurando refletir o impacto social decorrente desse saber científico.

O módulo: Fontes de Energia descreve sumariamente o funcionamento de um reator nuclear, citando os acidentes de Chernobyl e Three Mile Island.

LIVRO DIDÁTICO (3): GASPAR, Alberto. Física. 1. ed. Volume Único. São Paulo: Ed. Ática, 2001.

Esse livro didático apresenta-se no formato de volume único. No capítulo 36, intitulado: A física Moderna, abordando a temática nuclear no tópico 14, sob o título de: A física de partículas.

No referido tópico é feita uma abordagem histórica da descoberta das partículas elementares, citando-se o trabalho dos físicos Gell-Man e Zweig, que permitiu uma primeira grande classificação ou divisão das partículas elementares. Onde as partículas denominadas bárions e mésons, como exemplo dessas temos os prótons e nêutrons, foram classificadas como hádrons, sendo constituídas por outras partículas elementares, denominadas quarks. Além dos hádrons, aos quais pertencem os bárions e mésons, existem os léptons, tendo como exemplo dessas, os elétrons, sendo partículas elementares que não têm estrutura, assim como os quarks.

Outra classificação citada no livro separa os férmions (quarks e léptons) que constituem a matéria e a antimatéria, dos bósons considerados partículas mediadoras. São citadas sumariamente as forças de interação fundamentais, nuclear forte e fraca, eletromagnética e gravitacional.

CONSIDERAÇÕES:

Os livros um e dois pecam por não fornecerem informações consistentes sobre física nuclear que permitam um melhor entendimento da estrutura da matéria, da estabilidade dos núcleos atômicos e por consequência das causas das desintegrações radioativas por emissão alfa, beta, gama, pósitron e captura eletrônica K. O livro três embora aborde a física de partículas não estabelece correlações explícitas entre o tema abordado e a estabilidade nuclear e os fenômenos radioativos.

As abordagens sobre acidentes nucleares realizadas nos livros um e dois são incipientes e não reúnem elementos adequados a uma real compreensão do entorno econômico, social, político e ambiental associados à tecnologia nuclear. Embora a sugestão de atividade proposta no livro dois, constitua uma estratégia de ensino que levada a cabo, pode conduzir à reflexão e a compreensão anteriormente aludida.

4.3.5. ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA

LIVRO DIDÁTICO (1): CARVALHO, Geraldo Camargo & SOUZA, Celso Lopes de. Química: de olho no mundo do trabalho. 1. ed. Volume único. São Paulo: Scipione. 2003.

Esse livro didático apresenta-se no formato de volume único, possuindo uma estrutura organizacional pautada em três partes, denominadas: química geral, físico-química e química orgânica, as quais de modo geral são respectivamente abordadas na primeira, segunda e terceira séries do ensino médio. Na segunda parte no capítulo 23, intitulado: radioatividade são abordados os fenômenos nucleares, na seguinte sucessão de tópicos programáticos: 1. introdução, 2. radioatividade, 3. principais características das emissões radioativas naturais, 4. cinética das emissões radioativas, 5. datação pelo carbono 14, 6. radioatividade artificial, 7. fissão nuclear e 8. fusão nuclear.

Na introdução o livro coloca que nos lembramos geralmente dos aspectos negativos da tecnologia nuclear, como a bomba atômica, acidentes nucleares e câncer, contudo é necessário lembrar dos aspectos positivos, dos quais menciona o radiodiagnóstico e a radioterapia empregada no tratamento de diversas patologias.

O tópico radioatividade aborda o conceito desse fenômeno, as emissões radioativas alfa e beta, as leis da radioatividade, os elementos radioativos naturais, as séries radioativas do urânio, tório e actínio, apresentando um quadro denominado de olho no contexto, onde são apresentados aspectos biográficos meramente descritivos da família Curie. Não são contemplados os decaimentos radioativos por emissão de pósitron e captura eletrônica K.

No tópico sobre as principais características das emissões radioativas naturais, são abordados aspectos pertinentes ao poder de penetração, a velocidade e o poder de ionização de gases relativos às emissões alfa, beta e gama. Citam-se as aplicações da radioterapia por emissão gama no tratamento do câncer, enfatizando que a radiação gama é o principal responsável pelos efeitos biológicos, como mutações e leucemia. Também é citado o significado do símbolo de

radioatividade, explicando-se sucintamente o mecanismo de funcionamento de um contador Geiger-Muller. Não são contemplados os diferentes modos de interação da radiação com a matéria como o efeito fotoelétrico, efeito Compton, formação de pares, conversão interna, radiação de frenagem dentre outros, os quais são importantes para a discussão de tópicos de física moderna. Não são abordados os aspectos quantitativos da interação da radiação com a matéria, tais como a equação integrada : $\ln I_0/I = \mu x$, o conceito de meia espessura, as unidades de exposição e dose como o roentgen, Coulomb/Kg, rad e gray, tão importantes para a compreensão dos aspectos concernentes a dosimetria e radioproteção. Também não sofrem melhor explanação os efeitos somáticos e genéticos provocados por radiações.

O tópico sobre cinética das emissões radioativas aborda apenas o conceito de meia-vida, apresentado uma curva de decaimento radioativo, não aproveitando o ensejo para uma abordagem matemática mais elaborada que serviria para contextualizar alguns conteúdos da disciplina de matemática, tais como: logaritmos, equação da reta, e forma exponencial de uma equação, respectivamente através da dedução e / ou emprego das seguintes equações: equação integrada $\ln N/ N_0 = -\lambda t$; equação linearizada $\ln N = -\lambda t + \ln N_0$; equação exponencial $N = N_0 e^{-\lambda t}$. Não são abordados os conceitos alusivos a constante de desintegração radioativa (λ) e a vida média, tampouco são citadas as unidade de radioatividade, Bequerel, Curie e Rutherford. Tais omissões contribuem para uma abordagem quantitativa da cinética das emissões radioativas muito pobre, pois não fornece elementos de conteúdo adequados a uma melhor compreensão dos fatores de velocidade e tempo associados ao decaimento de radionuclídeos, como aqueles encontrados em resíduos radioativos oriundos de usinas nucleoeletricas.

O tópico sobre datação pelo carbono 14, é apresentado dando-se ênfase a sua aplicação em pesquisas arqueológicas. A radioatividade artificial é abordada de modo sucinto, seguindo-se o tópico sobre fissão nuclear, explanando sua origem histórica e aplicações pacífica e bélica. No tocante aos aspectos bélicos, é

reproduzida em um quadro a tradução da carta que Albert Einstein enviou ao presidente Roosevelt em 1939, alertando sobre a potencialidade de bombas empregando o princípio da fissão nuclear; e em outro quadro é reproduzido uma tradução de um livro de 1988 que aborda a evolução do projeto Manhattan e o lançamento das bombas sobre Hiroxima e Nagasaki. Neste quadro observa-se que a decisão de jogar as bombas contra um Japão já derrotado continua gerando controvérsias, enfatiza o texto, que a tarefa de julgar tal decisão deve ficar a cargo dos historiadores do futuro, cabendo-nos apenas assinalar que agosto de 1945 marcou um ponto de inflexão na história da humanidade.

No que concerne a este último quadro a simples tradução sem nenhum comentário adicional, reforça uma visão de análise histórica que pretende delegar apenas a especialistas a tarefa de julgar o lançamento das bombas atômicas sobre o Japão, tal postura em nada contribui para o desenvolvimento de uma postura crítica dos educandos em relação aos efeitos do conhecimento científico e tecnológico. Em nenhum momento o livro traz elementos que permitam discutir a ética dos cientistas atrelados a pesquisas de cunho bélico, especialmente no tocante a oposição de vários cientistas em relação ao lançamento das bombas atômicas e a corrida armamentista que se seguiu.

Num quadro denominado responsabilidade nuclear, cita-se que atualmente existem mais de 400 usinas nucleares em operação no mundo, tendo ocorrido vários vazamentos e explosões na operação dos reatores nucleares. Citam-se de modo sumário os acidentes com as usinas soviéticas de Tcheljabínski em 1957 e Chernobyl em 1986, também são citados os submarinos nucleares afundados durante a segunda guerra, enfatizando-se que o mar báltico concentra grande parte desse tipo de sucata. Ocorre um erro histórico, uma vez que o primeiro submarino nuclear o USS Nautilus só começou a operar em 1954, ou seja, nove anos depois de encerrada a segunda guerra. Também deixa-se passar ao largo, a oportunidade de contextualização histórica da corrida armamentista, notadamente nuclear, ao longo dos anos da guerra fria.

O tratamento das questões ambientais em relação aos rejeitos radioativos oriundos de artefatos bélicos, mineração e enriquecimento industrial de urânio, operação e desmonte de usinas nucleoeletricas e armas nucleares é incipiente, pois se resume a afirmação no quadro usinas nucleares de que o rejeito nuclear das usinas deve ser descartado em recipientes de chumbo e concreto em locais seguros por um período de tempo adequado. Perde-se a oportunidade de trazer informações e suscitar discussões sobre as responsabilidades para com as gerações futuras, sobre a viabilidade ambiental da tecnologia nuclear, e as motivações econômicas e políticas para o emprego dessa tecnologia.

A fusão nuclear é tratada apenas em seu conceito e aplicação na bomba de hidrogênio, não havendo menção sobre sua possível utilização na geração de energia em médio prazo, e aos aspectos ambientais positivos de reatores de fusão nuclear.

O acidente com o césio 137 é citado apenas em oito linhas, não permitindo entrever material suficiente para questionar a irresponsabilidade e negligência das autoridades governamentais no que concerne à fiscalização e tratamento das questões envolvendo material radioativo no Brasil. Sobre o PNB, é apresentada apenas uma foto, com a legenda "Usina de Angra 1 e 2 no Rio de Janeiro, em Janeiro de 2000." P.315. Portanto o PNB não é tratado nos aspectos de suas motivações, origem e desenvolvimento histórico, perdendo-se oportunidade ímpar, para discutir a importância da participação da sociedade na definição de políticas públicas envolvendo ciência e tecnologia, especialmente aquelas de grande impacto social e ambiental; bem como a importância de uma educação técnico - científica que qualifique o cidadão a participar de tais discussões.

O livro analisado não apresentou elementos suficientes em sua abordagem da questão ambiental associada a tecnologia nuclear, que permiti-se uma apreensão da questão ambiental numa perspectiva globalizante de meio ambiente, pois não abordou as imbricações econômicas, políticas, sociais e ambientais intrínsecas a temática nuclear.

LIVRO DIDÁTICO (2): BENABOU, Joseph Elias & RAMANOSKI, Marcelo. Química, Volume único. 1. ed. São Paulo: Atual. 2003.

Esse livro didático apresenta-se no formato de volume único, possuindo uma estrutura organizacional pautada em quatorze capítulos. No capítulo 13, intitulado: os fenômenos radioativos são tratados os fenômenos nucleares, distribuindo-se os conteúdos pertinentes em três módulos, que são os módulos 64, 65 e 66, respectivamente intitulados, as emissões radioativas, a meia-vida dos radioisótopos e fissão e fusão nucleares.

O módulo 64 aborda de modo sucinto a natureza das emissões radioativas alfa, beta e gama em termos de representação, carga e massa relativa, e poder de penetração, sendo acompanhado de um pequeno quadro denominado história onde é apresentada uma relação cronológica de datas e nomes de cientistas relacionados ao desenvolvimento do conhecimento sobre radioatividade.

O módulo 65 aborda aspectos do conceito de meia-vida dos radioisótopos, citando suas aplicações na medicina, indústrias de alimentos e datação radioativa com o carbono 14. Nesse módulo, chama-se atenção para os efeitos biológicos das radiações, os quais segundo o livro dependem do tempo de exposição, do tipo de radiação e da quantidade de material radioativo, enfatizando que a radiação gama é a mais perigosa. Também explica a unidade de medida sievert (Sv) como unidade de dose efetiva de radiação, definida em joule por quilograma, acrescentando uma tabela que relaciona a dose efetiva de radiação em (Sv) com os efeitos biológicos em mamíferos. Citam-se sucintamente o mecanismo de funcionamento de um contador Geiger e o acidente de Goiânia, descrito em três linhas no quadro cotidiano.

O módulo 66 aborda o conceito de fissão nuclear, sua aplicação em usinas e armas nucleares. No quadro história, é descrito o lançamento das bombas atômicas sobre o Japão em seis linhas. O PNB é citado através de uma fotografia da usina de Angra I. No tópico denominado, reatores nucleares: riscos x benefícios descreve-se o acidente nuclear de Chernobyl em 1986, observando que a utilização de reatores nucleares envolve não só a poluição com resíduos radioativos mas também a

poluição térmica, produzida pelo despejo de água aquecida usada no sistema de refrigeração, em rios, o que provoca danos a vida aquática. O livro coloca, que por tais motivos a energia nuclear gera controvérsias, sendo que na opinião de muitos estudiosos deveríamos investir em outras fontes de energia, como a solar e eólica. No tópico lixo atômico trata-se do destino dos rejeitos radioativos, enfatizando-se que ainda não foi encontrado um destino seguro para tais rejeitos. A fusão nuclear é abordada em seu conceito e aplicação na bomba de hidrogênio, citando-se em seis linhas as pesquisas com reatores de fusão nuclear, enfocando a maior produção de energia e a menor geração de lixo atômico que esses poderão oferecer, quando comparados com os atuais reatores à fissão nuclear.

O que foi constatado na análise do livro (1), aplica-se na avaliação do livro (2), com pequenas variações, tais como: uma melhor abordagem no livro (2) do acidente nuclear de Chernobyl, dos efeitos biológicos das radiações e das perspectivas para o emprego futuro da fusão nuclear na geração de eletricidade.

LIVRO DIDÁTICO (3): SARDELLA. Química série novo ensino médio, edição compacta. 1. ed. São Paulo: ed. Ática. 2003.

Esse livro didático apresenta-se no formato de volume único, possuindo uma estrutura organizacional pautada em quatorze capítulos, divididos em três partes, denominadas respectivamente de química geral, físico-química, radioatividade e química orgânica. Pode-se depreender de tal estrutura, que cada parte é destinada a uma série específica do ensino médio. No capítulo 13, intitulado: os fenômenos radioativos são tratados os fenômenos nucleares, distribuindo-se os conteúdos pertinentes em três módulos, que são os módulos 64, 65 e 66, respectivamente intitulados, as emissões radioativas, a meia-vida dos radioisótopos e fissão e fusão nucleares. A folha de rosto do livro assevera que o mesmo está de acordo com as diretrizes curriculares nacionais para o ensino médio com a inclusão da prova do ENEM 2002.

O módulo 54 aborda os tipos de radiações alfa, beta e gama em termos de velocidade, poder de penetração, representação gráfica e leis de decaimento

radioativo. Sendo observado o perigo das radiações nucleares, em função de sua capacidade para destruir células, provocar queimaduras e efeitos genéticos, com a ressalva de que os radioisótopos podem sofrer emprego no tratamento do câncer.

No módulo 55 são tratados os efeitos fisiológicos das radiações, a definição da unidade de intensidade de radiação denominada roentgen, o símbolo de radioatividade e uma sumária descrição dos acidentes de Chernobyl e Goiânia, no entanto, não são apresentados elementos para maiores reflexões. A cinética da desintegração radioativa é abordada explicando-se os conceitos de velocidade de desintegração radioativa ou atividade radioativa, constante radioativa, intensidade radioativa, vida-média, meia-vida e curva de decaimento radioativo. A abordagem da cinética de decaimento radioativo mostra-se mais completa do que a apresentada nos dois livros anteriormente analisados, embora não sejam abordadas as séries de decaimento radioativo, nem tampouco o tratamento matemático citado quando da análise do livro (1).

No módulo 56 aborda-se a fissão nuclear em termos históricos, conceituais e de aplicação em bombas e reatores nucleares, não ocorrendo menção aos efeitos ambientais e as conseqüências geopolíticas e históricas associadas aos testes e a proliferação dos arsenais nucleares. A fusão nuclear é abordada em termos conceituais e de aplicação nas bombas de hidrogênio, sendo citadas pesquisas para geração de energia elétrica a partir de reatores à fusão nuclear. Por fim são apresentados dois quadros, o primeiro trata de descrever aspectos tecnológicos de armazenamento de rejeitos radioativos sem, contudo, discutir os custos econômicos da desativação de usinas, submarinos e ogivas nucleares, e os problemas ambientais futuros decorrentes desses rejeitos. No segundo quadro é apresentada em caráter meramente ilustrativo a descoberta da partícula fundamental quark, batizada top.

O que foi constatado na análise dos livros (1) e (2), aplica-se na avaliação do livro (3), com pequenas variações, tais como: uma melhor abordagem no livro (3) da cinética da desintegração radioativa.

4.3.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Outros aspectos são revelados quando da análise dos livros didáticos das disciplinas de geografia, biologia, física e química, além daqueles que já foram levantados. Um dos primeiros aspectos diz respeito à preferência pela adoção de livros didáticos em formato de volume único nas escolas públicas consultadas. Talvez essa opção esteja pautada no menor custo para aquisição desses livros quando confrontados com os custos de coleções didáticas compostas de três volumes. Embora tais coleções tragam mais informações, textos complementares, sugestão de atividades e ilustrações, essas em geral não se revelam muito mais abrangentes e profundas no tratamento da temática nuclear do que os livros em volume único.

Um segundo aspecto que se depreende dessa análise está na falta de sincronismo programático quando da abordagem da temática nuclear, pois os livros de biologia abordam a poluição radioativa quando do estudo da ecologia normalmente no segundo semestre letivo da terceira série; os livros de física quando abordam os fenômenos nucleares, o fazem nos tópicos de física moderna tratados habitualmente no quarto bimestre letivo da terceira série; enquanto os livros de química tratam a radioatividade num enfoque mais abrangente do que as outras disciplinas, porém, geralmente no segundo semestre letivo da segunda série.

Talvez possa se argumentar que os docentes do ensino médio não precisem seguir a risca o encadeamento programático sugerido nos livros didáticos, no entanto, as consultas realizadas junto aos professores, confirmaram que os mesmos habitualmente seguem o seqüenciamento sugerido nos livros adotados.

Numa abordagem interdisciplinar da temática nuclear, é de fundamental importância que a mesma ocorra de modo simultâneo nas citadas disciplinas, buscando-se levantar os aspectos múltiplos que cercam tal eixo temático, de tal modo que as nuances econômicas, políticas, históricas, ambientais e científicas sejam levantadas e trabalhadas numa diretriz integradora. E assim, através da adoção de estratégias de ensino-aprendizagem participativas, seja possível abordar

a poluição nuclear numa perspectiva globalizante de meio ambiente. Deste modo a poluição nuclear poderia sofrer uma abordagem interdisciplinar no decurso do segundo semestre letivo da terceira série, pois assim sendo, haveria uma complementaridade de conteúdos.

A abordagem na disciplina de biologia poderia focar com maior profundidade e abrangência os efeitos biológicos somáticos e genéticos das radiações, as conseqüências ambientais da poluição nuclear notadamente sobre as cadeias alimentares, estabelecendo pontes com os conteúdos de genética e ecologia.

A abordagem na disciplina de física poderia focar com maior profundidade e abrangência a estrutura e os modelos nucleares, as forças de interação, as partículas elementares, e suas relações com a estabilidade nuclear e os possíveis decaimentos radioativos, relacionando tais conteúdos com a física moderna.

A abordagem na disciplina de química poderia focar com razoável profundidade e abrangência as emissões radioativas naturais e artificiais; a cinética da desintegração radioativa; os modos de interação da radiação com a matéria; os métodos de dosimetria e as principais unidades de exposição e dose; os efeitos térmicos, elétricos, luminosos, químicos e biológicos das radiações; as aplicações da energia nuclear e dos radioisótopos; os aspectos científicos, tecnológicos e ambientais associados à fissão e fusão nuclear.

A disciplina de geografia poderia abordar com especial interesse os aspectos geopolíticos e geoeconômicos associados à tecnologia nuclear quer no viés pacífico ou bélico. Procurando tratar as motivações econômicas, políticas e militares, bem como, as conseqüências ambientais e sociais pertinentes à exploração e beneficiamento mineral do urânio; a construção, operação e desmonte de usinas nucleoeletricas; o destino dos rejeitos radioativos; a proliferação dos arsenais nucleares, e a distribuição do poder nuclear no cenário geopolítico global. Também poderia ser foco de sua abordagem, a história, as motivações e as perspectivas do programa nuclear brasileiro, bem como os acidentes com materiais radioativos ou com usinas nucleoeletricas, buscando-se uma discussão abrangente das causas, responsabilidades e conseqüências de tais acidentes.

A discussão da ética na ciência ou dos cientistas atrelados a projetos militares ou de interesse restrito poderia permear a abordagem em todas disciplinas, abrindo discussões sobre as conseqüências sociais, econômicas, políticas e ambientais do conhecimento científico-tecnológico e sobre a laureada neutralidade da ciência e da tecnologia.

Convém enfatizar que tais abordagens não devem se dar de modo estanque devendo ocorrer intensa complementação e entrelaçamento disciplinar, sempre no propósito de apreensão da poluição nuclear, numa perspectiva de meio ambiente globalizante.

Por fim é importante salientar que a abordagem nas disciplinas não necessita ter uma base bibliográfica atrelada apenas ao uso de livros didáticos similares aos analisados, podendo lastrear-se num universo de informação mais amplo. O qual contemple sites de instituições governamentais como o CENEN; livros paradidáticos, como Helene (1996); artigos de revistas renomadas de divulgação científica, como *Ciência Hoje* e *Scientific American Brasil*; e também livros didáticos com maior abrangência e profundidade como Feltre (2003).

CAPÍTULO 5 - ELEMENTOS PARA UMA PROPOSTA DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL NUM ENFOQUE CTS

5.1. APRESENTAÇÃO

No presente capítulo, são apresentados elementos para inserção da Educação Ambiental no ensino médio que possibilite contemplar uma concepção de meio ambiente Globalizante, usando uma abordagem CTS.

Para destacar esses elementos, basta retomarmos o caminho trilhado no desenvolvimento do nosso trabalho. Sendo assim, os elementos fundamentais para a inserção da Educação Ambiental dentro de uma concepção de meio ambiente Globalizante, tendo como base a temática da poluição nuclear são:

- 1) Conceituação ampla da Educação Ambiental.
- 2) Levantamento dos objetivos da Educação Ambiental.
- 3) Escolha de referenciais teóricos que atendam aos objetivos da Educação Ambiental.
- 4) Escolha de um tema que possibilite trabalhar de forma relacional os contextos ambientais, científico, social e tecnológico.
- 5) Levantamento da base conceitual exigida pelo tema.

Tendo como base o referencial empregado no desenvolvimento da pesquisa, pontuaremos de forma breve, os elementos destacados acima. Para tanto no desenvolvimento desse capítulo, busca-se num primeiro plano levantar os critérios de avaliação e os objetivos da Educação Ambiental.

Num segundo plano busca-se levantar os tópicos programáticos relevantes pertinentes às áreas de domínio das disciplinas escolares de Física, Química, Biologia, História e Geografia, essenciais ao amplo entendimento da poluição nuclear no que concerne a sua origem, efeitos ambientais e conseqüências econômicas e geopolíticas.

Num terceiro plano busca-se descrever de modo sumário algumas abordagens metodológicas empregadas no contexto das práticas educativas CTS, que possibilitem abordar no ensino médio, o tema poluição nuclear, dentro de uma perspectiva de meio ambiente globalizante.

Num quarto plano discute-se a viabilidade do enfoque metodológico CTS em práticas de educação ambiental numa perspectiva de meio ambiente globalizante, sobre outros tipos de poluição, como as poluições, atmosférica, hídrica, edáfica, acústica, térmica e eletromagnética.

5.2. AVALIAÇÃO E OBJETIVOS DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL

As atividades em educação ambiental de acordo com Diaz (1995) devem ser avaliadas em três níveis: discente, docente e do projeto educativo. No nível discente, a avaliação deve ser direcionada no sentido de aferir quais mudanças de atitude, de capacidade de análise e de tomada de decisões e também de intervenção nas questões ambientais são desejadas e efetivamente obtidas.

No nível docente, a avaliação deve estar centrada na averiguação da capacidade do professor em elaborar, participar e concluir um projeto interdisciplinar e/ou transdisciplinar; em integrar os objetivos da educação ambiental nas diferentes disciplinas e determinar um marco conceitual comum; em pesquisar e relacionar as necessidades da comunidade local no contexto do desenvolvimento sustentável; em definir uma dimensão mais global da educação ambiental; e em estabelecer uma relação aluno - professor mais interativa.

No nível do projeto educativo a avaliação deve se pautar na análise acurada dos objetivos, recursos necessários, metodologia de pesquisa e avaliação do estudo ambiental, bem como os modos de relacionamento intradiscente e discente-docente.

Os objetivos da educação ambiental segundo Sato (2003) devem almejar a sensibilização, compreensão, responsabilidade, competência e cidadania frente às questões ambientais. A sensibilização ambiental diz respeito a um despertar para a urgência das questões ambientais. A compreensão ambiental está relacionada com a aquisição do conhecimento científico das questões ambientais. A responsabilidade ambiental é pertinente ao reconhecimento do papel antrópico como protagonista na preservação da qualidade de vida no planeta. A competência ambiental concerne com o desenvolvimento da capacidade de avaliação e ação no tocante as questões ambientais. A cidadania ambiental constitui o desenvolvimento da capacidade de participação nas esferas sócio-política, econômica e cultural, sob princípios éticos que conciliem sociedade e natureza.

Como objetivo central da educação ambiental, Pereira (1993), destaca que a mesma deve propiciar momentos de aprendizagem que viabilizem: a discussão da importância do ambiente para o bem estar e saúde do indivíduo, o desenvolvimento do sentido ético-social diante dos problemas ambientais, a discussão das relações entre ambiente e exercício da cidadania, e a avaliação do desenvolvimento econômico frente à degradação ambiental e a qualidade de vida.

A educação ambiental deve permear toda a grade curricular, não se atendo somente as disciplinas de física, química, biologia e geografia, devendo estender-se a prática didático-pedagógica de disciplinas como história, artes, línguas e outras. No entanto a abordagem educativa dos problemas ambientais deve ser concebida e efetivada numa perspectiva interdisciplinar e participativa, a fim de evitar uma compreensão fragmentada das questões ambientais e uma simples reprodução do conhecimento posto. Deste modo é de capital importância que no planejamento de uma proposta de educação ambiental, além da seleção de disciplinas e conteúdos a serem trabalhados, seja dado a devida ênfase na escolha e elaboração da metodologia de ensino aplicada. Em concordância com tais considerações Oaigen, coloca:

“Outra das nossas constatações é que embora seja essencial determinar as disciplinas que darão as ferramentas teórico-práticas para aprender a compreender e transformar, essas disciplinas devem ser desenvolvidas com uma metodologia criadora e participativa. Acentuar o conteúdo do currículo esquecendo e menosprezando o método a utilizar-se, apropriar de um saber teórico-prático não faz senão reproduzir um saber reprodutor já estabelecido, preocupado mais em se conservar do que em se transformar.” (Oaigen, 2001, p. 91).

A metodologia que permite a apropriação de um saber transformador está ligada diretamente à investigação realizada por professores e alunos, para que os mesmos possam redescobrir e recriar um conhecimento suscetível de mudar e melhorar a realidade social e natural, Oaigen (2001).

5.3. TÓPICOS PROGRAMÁTICOS RELEVANTES

O entendimento da poluição nuclear no que concerne a sua origem, efeitos ambientais e conseqüências econômicas e geopolíticas, passa necessariamente pelo estudo prévio de tópicos programáticos intrinsecamente relacionados entre si. Tais tópicos dizem respeito às áreas de domínio programático das disciplinas de física, química, biologia, história e geografia.

Nos parâmetros curriculares nacionais do ensino médio PCNEM (2000), observa-se que a atualização curricular não compreende unicamente a complementação de ementas disciplinares com a adição e supressão de tópicos programáticos. Tal atualização deve superar a visão enciclopédica dos currículos, pois a referida visão, implica que o aprendizado dos aspectos aplicados ou tecnológicos somente poderia ocorrer em seqüência ao aprendizado dos conteúdos específicos da ciência pura. Tal concepção cria dificuldades na organização dos conteúdos escolares e na formação de professores, portanto, sugere o PCNEM (2000) que o incremento de tópicos programáticos não seja aleatório, com o intuito de apenas suprir lacunas curriculares, mas que tal inclusão ocorra de tal modo que

tais tópicos estejam ligados entre si, viabilizando além da formação científica e cultural, uma visão de mundo.

O documento oficial PCN+ ressalta nas páginas 78 e 106, que as disciplinas de química e física no ensino médio, devem apresentar respectivamente dentro de suas unidades temáticas, uma que trate da energia nuclear e radioatividade, e outra que trate da constituição nuclear e propriedades físico-químicas. Em tais unidades temáticas, o desenvolvimento dos conceitos científicos deve se dar no sentido de capacitar o educando, para a compreensão dos riscos e benefícios do uso da tecnologia nuclear bem como a avaliação dos efeitos biológicos e ambientais da radioatividade e das radiações ionizantes.

De acordo com Rezende Jr. (2001), a radioatividade abordada freqüentemente a partir da descrição das partículas alfa, beta e gama e dos efeitos dessas radiações, constitui um tema relevante de física moderna em termos de ensino médio, pois apresenta inúmeras aplicações tecnológicas e grandes impactos sociais. A mesma pode se ligar aos tópicos de física moderna da fissão e fusão nuclear, onde tais temas podem ser aprofundados permitindo uma discussão sobre a estrutura nuclear, as interações fundamentais e das partículas elementares. Ressalta Rezende Jr. que a radioatividade constitui o marco inicial da concepção da estrutura da matéria atualmente aceita, sendo a base fenomenológica dos modelos atômicos.

Portanto, a seleção dos tópicos programáticos fundamentais a compreensão dos fenômenos nucleares e suas implicações científico-tecnológicas e conseqüências geopolíticas, econômicas e ambientais, passa pela abordagem da radioatividade, assim sendo, deve-se buscar: num primeiro plano a compreensão da estrutura da matéria, da estabilidade nuclear, dos decaimentos radioativos nos aspectos fenomenológico e cinético. Num segundo plano o entendimento da interação da radiação com a matéria e os efeitos das radiações. Num terceiro plano a compreensão das aplicações das reações nucleares e modos de geração de resíduos radioativos. Num quarto plano o entendimento das questões históricas e geográficas inerentes ao desenvolvimento da tecnologia nuclear.

Convém ressaltar que a ordem dos citados planos não implica na obrigatoriedade de um seqüenciamento linear de tais tópicos, as disciplinas escolares devem, se possível, fazer uma abordagem simultânea ou concomitante, com o propósito de uma apreensão da questão nuclear numa perspectiva globalizante de meio ambiente. Para dar sólido alicerce as atividades didático-pedagógicas empregadas no tratamento do referido tema, tanto por docentes na fase de planejamento quanto por discentes na fase de execução, são indicadas algumas fontes de pesquisa relevantes.

Para o primeiro plano, indicam-se como fontes de pesquisa: Castellan (1973), Crockford (1977), Pessoa (1978), Bueno (1978), Slabaugh (1982), Trindade (1983), Hein (1983), Born (1986), Segré (1987), Ferrari (1988), Lopes (1992), Russel (1994), Mahan (1995), Ostermann (1999), Atkins (2001), Tipler (2001), Martins (2001), Menezes (2002), Rozenberg (2002), Kotz (2002), Kane (2003), Rosenberg (2003). Os tópicos sugeridos para compor a estrutura programática desse plano são:

1. ESTRUTURA DA MATÉRIA E ESTABILIDADE NUCLEAR:

Abordando aspectos conceituais sobre as partículas atômicas, partículas subatômicas, forças nucleares, modelos nucleares, relação nêutrons/prótons e da medida da estabilidade nuclear.

2. DECAIMENTOS RADIOATIVOS E CINÉTICA DO DECAIMENTO RADIOATIVO:

Abordando aspectos conceituais qualitativos e quantitativos sobre os decaimentos radioativos naturais e artificiais, fissão e fusão nuclear, equações integrada e exponencial da lei cinética do decaimento radioativo, constante radioativa, tempo de meia-vida, vida média e unidades de radioatividade.

Para o segundo e terceiro plano, indicam-se como fontes de pesquisa: Rocha (1979), Murray (1980), Fellenberg (1980), Goldemberg (1981), Leão (1982), Okuno(1982), Okuno (1988), Tabak (1988), Faria (1989), Déoux (1992), Souza (1990), Heneine (1993), Cavedon (1996), Scaff (1997), Porto (2001), Biral (2002),

Braga (2002), Soares (2003), Hinrichs (2003), Melquiades (2004). Os tópicos sugeridos para compor a estrutura programática desse plano são:

3. INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A MATÉRIA E EFEITOS DA RADIAÇÃO:

Abordando aspectos conceituais qualitativos e quantitativos sobre as interações alfa, beta, pósitron e gama, equações integrada e exponencial sobre a interação da radiação com a matéria, meia espessura e unidades de exposição e dose absorvida. Também abordando aspectos qualitativos sobre os efeitos térmicos, luminosos, elétricos, químicos e biológicos nos aspectos somáticos e genéticos provocados por radiações.

4. APLICAÇÕES DAS REAÇÕES NUCLEARES:

Abordando aspectos conceituais sobre as aplicações das reações nucleares na arqueologia, geologia, medicina, química, agricultura, indústria, geração de energia por fissão nuclear, e armas nucleares.

5. POLUIÇÃO NUCLEAR:

Abordando aspectos conceituais sobre as fontes de poluentes radioativos, os tipos de rejeitos radioativos, os efeitos ambientais associados a tais rejeitos, os procedimentos para descarte dos rejeitos radioativos em termos de tratamento e armazenagem.

Para o quarto plano, indicam-se como fontes de pesquisa: Osada (1972), Thomas (1977), Goldemberg (1978), Godemberg (1979), Biasi (1979), Arnt (1985), Goldemberg (1985), Herrera (1985), Sagan (1985), Rosmorduc (1988), Andrade (1986), Hawkes (1986), Goldemberg (1987), Gross (1987), Silva (1987), Oliveira (1989), Rosa (1989), Marques (1992), Kuramoto (2002), Wald (2004), Merçon (2004), Estado Maior da Armada (2004). Os tópicos sugeridos para compor a estrutura programática desse plano são:

6. ASPECTOS HISTÓRICOS, GEOPOLÍTICOS e AMBIENTAIS DAS ARMAS NUCLEARES:

Abordando aspectos históricos e geopolíticos sobre a evolução histórica desde das primeiras descobertas sobre radioatividade até a realização da primeira reação em cadeia; da criação e evolução do projeto Manhattan; dos eventos de Hiroxima e Nagasaki; da corrida armamentista e a guerra fria; dos testes nucleares e a proliferação dos arsenais nucleares; da possibilidade da terceira guerra mundial e do inverno nuclear; dos tratado de redução e não proliferação de armas nucleares; dos riscos do terrorismo com armas de destruição em massa de natureza radioativa e nuclear; dos custos econômicos e conseqüências ambientais na desativação de armas nucleares; bem como das posturas da comunidade científica frente às armas nucleares.

7. ASPECTOS HISTÓRICOS, GEOPOLÍTICOS E AMBIENTAIS DO USO PACÍFICO DA ENERGIA NUCLEAR:

Abordando aspectos históricos, geopolíticos e ambientais sobre a evolução do uso da energia nuclear; dos principais acidentes radioativos e nucleares; dos marcos históricos de Three Mile Island, Chernobyl e Goiânia; do atual panorama econômico e político para o uso da energia nuclear; dos custos econômicos e das conseqüências ambientais do tratamento e armazenamento de resíduos radioativos e na desativação de usinas nucleares.

8. ASPECTOS HISTÓRICOS, GEOPOLÍTICOS E AMBIENTAIS DO PROGRAMA NUCLEAR BRASILEIRO (PNB):

Abordando aspectos históricos, geopolíticos e ambientais sobre os primórdios do PNB (décadas de cinqüenta e sessenta); do acordo de Angra I; do acordo Brasil-Alemanha; do programa nuclear na década de noventa; do programa nuclear paralelo; da postura da comunidade científica nacional frente ao PNB; do atual panorama do PNB; dos custos econômicos e possíveis conseqüências ambientais da continuidade e expansão do PNB.

5.4. ABORDAGEM CTS SOBRE A POLUIÇÃO NUCLEAR

O enfrentamento da crise socioambiental como discutido no primeiro capítulo, passa por um repensar do *modus vivendi* do ser humano contemporâneo e do *modus operandi* da estrutura de produção, consumo e distribuição de riquezas. Essa reflexão leva inexoravelmente a constatação de que as questões ambientais encontram-se inseridas numa problemática maior, a qual contempla as grandes questões culturais, sociais, econômicas e políticas, e que, portanto, o enfrentamento da referida crise passa pela percepção coletiva de uma concepção de meio ambiente, observada numa perspectiva global, Angotti & Auth (2001).

A percepção coletiva dessa concepção de meio ambiente globalizante, para produzir mudanças de atitudes, hábitos culturais e rotinas laborais, que levem a perspectivas positivas para o enfrentamento da crise socioambiental, passa necessariamente pela educação. A educação aventada no primeiro capítulo busca o desenvolvimento de cidadãos críticos e participativos, instrumentalizados com conhecimentos de ciência e tecnologia, história e geografia, e com habilidades de pesquisa e participação em instâncias democráticas para tomada de decisões de interesse coletivo. As características dessa educação não alienante e reprodutivista são encontradas quando analisamos a natureza educativa do enfoque CTS.

Os cursos pautados no enfoque CTS são organizados no escopo de uma abordagem interdisciplinar de ensino de ciências, diferente dos cursos tradicionais de ensino de ciências, onde a transmissão e reprodução dos conhecimentos científicos constituem a tônica metodológica dos mesmos, Santos & Schenutzer (2000).

O estudo da natureza, da ciência, da tecnologia, da sociedade e de suas inter-relações, é desenvolvido num enfoque CTS, com o propósito de que os educandos compreendam a interdependência desses elementos, sob uma perspectiva social. As implicações sociais do conhecimento científico-tecnológico passam num enfoque CTS, por uma organização conceitual centrada em temas sociais, pelo

desenvolvimento de atitudes de julgamento e por uma concepção de ciência e tecnologia voltada para o interesse social, Santos & Schenetzler (2000).

A integração entre educação científica, tecnológica e social, em que os conteúdos de ciência e tecnologia são estudados no contexto de seus aspectos históricos, éticos, políticos, ambientais e sócio-econômicos constituem uma proposta educacional no viés CTS. Nessa proposta podemos divisar dois objetivos estratégicos que dizem respeito à aquisição e desenvolvimento da capacidade do cidadão em tomar decisões, notadamente no tocante a sua participação democrática na definição de políticas públicas que envolvam ciência e tecnologia, bem como, promover o desenvolvimento da compreensão do educando em filosofia e história da ciência, para que o mesmo compreenda a natureza e o papel da ciência e tecnologia, sendo capaz de reconhecer as potencialidades e limitações do conhecimento técnico-científico, Santos & Mortimer (2000).

Dentro do leque de procedimentos metodológicos CTS, divisamos estratégias didático-pedagógicas centradas em: palestras, demonstrações, sessões de discussões, solução de problemas, jogos de simulação e desempenho de papéis, fóruns e debates, projetos individuais e de grupo, redação de cartas destinadas a autoridades, pesquisa de campo e ação comunitária. Também são sugeridas atividades que envolvam a construção de modelos de artefatos tecnológicos, uso de fatos da história da ciência e discussões em grupo sobre vídeos envolvendo questões científicas e tecnológicas. Tais atividades devem sofrer um desenvolvimento através de trabalhos cooperativos entre o corpo discente e docente, sendo seguidas de apresentações orais e /ou de relatórios escritos. Enfatizamos que tais procedimentos metodológicos objetivam desenvolver nos educandos habilidades e atitudes necessárias à tomada de decisões, notadamente, nas questões que envolvam ciência e tecnologia, com seus desdobramentos ambientais, sócio-econômicos e políticos, Santos & Mortimer (2000).

A abordagem da poluição nuclear no ensino médio, num contexto de educação ambiental que viabilize a apreensão da concepção de meio ambiente

globalizante, pode se dar pelo emprego de todas as estratégias metodológicas anteriormente citadas. No entanto, dado a natureza desse trabalho acadêmico, o qual constitui-se numa dissertação de mestrado, nos ateremos a demonstrar o emprego de uma dessas estratégias metodológicas.

A LDB/96 dispõe que, além da base nacional comum, os currículos das escolas terão uma parte diversificada, que poderá preencher até 25% da carga horária total do curso. O desenvolvimento do currículo diversificado poderá ser feito por meio de projetos e estudos focalizados em problemas selecionados pela equipe escolar. Em material mimeografado, elaborado pela Secretaria de Estado da Educação e do Desporto do estado de Santa Catarina, como forma de subsidiar as escolas na elaboração de seu currículo escolar, são apresentados um elenco de 18 áreas que podem ser trabalhadas na parte diversificada, em forma de projetos. As áreas sugeridas são: Agropecuária, Artes, Comércio, Comunicação, Design, Gestão, Imagem Pessoal, Indústria, Informática, Lazer e Desenvolvimento Social, Meio Ambiente, Mineração, Química, Recursos Pesqueiros, Saúde, Telecomunicações, Transportes, Turismo e Hospitalidade.

A inserção da poluição nuclear no currículo diversificado dentro de uma abordagem interdisciplinar e contextualizada pode ser realizada por meio de projetos que contemplem as áreas de indústria, meio ambiente, mineração, química e saúde e, para o qual concorram as ações educativas dos professores das disciplinas de geografia, história, biologia, física e química.

Partiremos da premissa de que à parte diversificada do currículo, preconizada pela LDB/96, será ocupado por um componente curricular denominado espaço para projetos interdisciplinares, dotado de uma carga horária semanal de duas horas aula. Tal espaço curricular poderá ser ocupado por projetos interdisciplinares que abordem diferentes temáticas, tais como: poluição edáfica, hídrica e atmosférica; redução da biodiversidade; aspectos aplicados de biologia molecular e genética, como alimentos transgênicos, projeto genoma e terapia genética; nanotecnologia;

novas tecnologias e seus impactos sociais, políticos e ambientais; assim como o tema poluição nuclear.

O tema poluição nuclear poderá ser escolhido como eixo temático do projeto interdisciplinar para alunos da terceira série do ensino médio, no terceiro ou quarto bimestre letivo, pois, em tal etapa da vida escolar do aluno, será mais fácil conciliar os conteúdos convergentes sobre a temática nuclear próprios das disciplinas de física, biologia, química e geografia. É relevante selecionar o elenco de disciplinas que com seus enfoques particulares e conteúdos específicos darão o devido suporte para o desenvolvimento do projeto interdisciplinar. A priori nenhuma disciplina da grade curricular deveria ser excluída da participação no projeto, no entanto, algumas disciplinas, devido suas especificidades de conteúdo, participariam de modo mais intenso. Dessas enfatizamos, as disciplinas de química, física, biologia e geografia.

A disciplina de biologia, com o suporte programático dos conteúdos de genética e ecologia tradicionalmente inseridos na estrutura dos livros didáticos e nos planejamentos escolares da terceira série; poderia focar com maior profundidade e abrangência os efeitos biológicos somáticos e genéticos das radiações, as conseqüências ambientais da poluição nuclear notadamente sobre as cadeias alimentares.

A disciplina de física, com o suporte programático dos tópicos de física moderna tradicionalmente inseridos na estrutura dos livros didáticos e nos planejamentos escolares da terceira série; poderia focar com maior profundidade e abrangência a estrutura e os modelos nucleares, as forças de interação, as partículas elementares, e suas relações com a estabilidade nuclear e os possíveis decaimentos radioativos.

A disciplina de química embora com o suporte programático dos tópicos de radioatividade tradicionalmente inseridos na estrutura dos livros didáticos e nos planejamentos escolares da segunda série, poderia abordar tal conteúdo na terceira série, em simultaneidade com as demais disciplinas. Focando com razoável profundidade e abrangência as emissões radioativas naturais e artificiais; a cinética

da desintegração radioativa; os modos de interação da radiação com a matéria; os métodos de dosimetria e as principais unidades de exposição e dose; os efeitos térmicos, elétricos, luminosos, químicos e biológicos das radiações; as aplicações da energia nuclear e dos radioisótopos; os aspectos científicos, tecnológicos e ambientais associados à fissão e fusão nuclear; e a armazenagem e descarte dos resíduos radioativos.

A disciplina de geografia com o suporte programático dos tópicos que abordam as fontes de energia poderia abordar com especial interesse os aspectos geopolíticos e geoeconômicos associados à tecnologia nuclear quer no viés pacífico ou bélico. Conjuntamente com a disciplina de história poderia enfatizar com especial interesse os efeitos ambientais dos testes nucleares próprios do período histórico da guerra fria, tão importante na definição geopolítica da segunda metade do século XX, os aspectos ambientais de uma possível guerra nuclear que tanto atormentou o mundo durante os anos da citada guerra fria, e as possibilidades de ações terroristas com o emprego de armas de destruição em massa, como bombas nucleares ou bombas sujas. Também poderiam ser abordados aspectos da ética de cientistas, notadamente das ex-repúblicas soviéticas cooptados por governos como da Coreia do Norte e Paquistão ou por grupos terroristas.

No tocante aos acidentes nucleares e radioativos poderiam ser fornecidos elementos suficientes para uma análise e compreensão das causas e conseqüências ambientais. Notadamente na abordagem do acidente de Goiânia poderiam ser discutidos aspectos associados à irresponsabilidade e negligência das autoridades governamentais em termos de fiscalização, prevenção e enfrentamento de acidentes com material radioativo.

No que concerne às motivações econômicas e políticas envolvidas na operação de centrais nucleares, mineração de urânio e descarte de lixo radioativo, poderia ser explicitada a importância de uma educação técnico-científica da população para o exercício democrático de participação na definição de políticas públicas que envolvam tecnologia nuclear.

No que é pertinente ao programa nuclear brasileiro (PNB) poderia ser ressaltada a natureza polêmica do mesmo, levantando elementos suficientes que viabilizassem reflexões sobre a implantação do PNB, onde a sociedade foi mantida a margem das decisões. Bem como poderia ser enfatizado o fato de que ainda não foi dado o devido encaminhamento com soluções técnicas definitivas para o acondicionamento do lixo radioativo proveniente das usinas de Angra I e II. Por fim, poderia fornecer subsídios para discutir o programa nuclear paralelo que objetivava dotar o Brasil de artefatos nucleares explosivos.

Disciplinas como língua portuguesa e língua estrangeira poderiam desenvolver a análise do discurso sobre documentos e pronunciamentos específicos de determinados períodos históricos, buscando desvelar aspectos ocultos que revelem tendências ideológicas e intenções políticas dissimuladas. Como exemplos de tais documentos, citamos a carta enviada ao presidente Roosevelt pelo cientista Albert Einstein, os pronunciamentos oficiais do governo brasileiro durante a ditadura militar sobre o Programa Nuclear Brasileiro e os manifestos de cientistas pela erradicação dos testes nucleares atmosféricos na década de sessenta. Também poderia ser de responsabilidade de tais disciplinas a orientação em termos de forma e estilo das redações dos relatórios dos grupos que desenvolvessem atividades no espaço do projeto interdisciplinar.

Disciplinas como a de artes, poderiam analisar do ponto de vista estético e conceitual, as diferentes manifestações artísticas que expressaram o horror do holocausto nuclear em Hiroxima e Nagasaki, dos testes nucleares e da tensão derivada de uma possível guerra nuclear. Tais manifestações envolveram inúmeras formas de expressão artística, como, pintura, escultura, literatura, poesia e dramaturgia.

A disciplina de matemática poderia aproveitar o tópico sobre cinética das emissões radioativas para contextualizar alguns conteúdos pertinentes a sua composição programática, tais como: logaritmos, equação da reta e forma exponencial de uma equação, respectivamente através da dedução e / ou emprego

das seguintes equações: equação integrada $\ln N / N_0 = - \lambda t$; equação linearizada $\ln N = - \lambda t + \ln N_0$; equação exponencial $N = N_0 e^{-\lambda t}$. Deste modo poderia se ilustrar a importância da matemática como ferramenta de quantificação de grandezas físico-químicas implicadas na descrição e compreensão de fenômenos.

As discussões sobre as consequências sociais, econômicas, políticas e ambientais do conhecimento científico-tecnológico e sobre a laureada neutralidade da ciência e da tecnologia, deveriam permear a abordagem em todas as disciplinas. Com especial interesse na discussão da ética da ciência ou dos cientistas atrelados a projetos militares ou de interesse de grupos restritos.

A apreensão da poluição nuclear, numa perspectiva globalizante, não será obtida com abordagens estanques, mas sim, através de um intenso entrelaçamento disciplinar. O qual se produz por meio de uma abordagem da temática nuclear de modo simultâneo nas disciplinas supracitadas, buscando-se desvelar os inúmeros aspectos que estão inseridos no contexto da poluição nuclear. Os trabalhos que permitiriam integrar as diferentes nuances históricas, políticas, econômicas, ambientais e científico-tecnológicas da poluição nuclear seriam realizados no espaço curricular do projeto interdisciplinar, por meio de um enfoque CTS.

No espaço curricular do projeto interdisciplinar, os alunos poderiam a partir do procedimento metodológico denominado aprendizagem centrada em eventos (ACE), buscar no elenco de disciplinas anteriormente citadas, os subsídios conceituais necessários para integrar os conceitos científicos, com temas sociais, ambientais e tecnológicos. Tal integração se dá num formato que viabiliza no educando uma postura crítica sobre quais informações são importantes e como tais informações podem ser utilizadas para a resolução de problemas reais. Uma vantagem nítida desse procedimento metodológico está na possibilidade do emprego de situações motivadoras que capturem a atenção do aluno, servindo para promover uma abordagem integradora do quarteto Ciência-Tecnologia-Sociedade e Ambiente.

Tais eventos são polêmicos por serem evocativos e salientes, tendo em vista que se tratam de incidentes ou episódios ricos em diversos aspectos, sendo capazes

de estimular o debate e a discussão. Como exemplos desses eventos, citamos: o acidente radioativo de Goiânia, o acidente nuclear de Tchernobyl, a possibilidade de ações terroristas com bombas nucleares ou sujas, a busca de armas de destruição em massa no Iraque que maquiou os reais interesses norte-americanos para invadir esse país e o prosseguimento do programa nuclear brasileiro (PNB).

Os alunos a partir do evento escolhido buscariam os elementos necessários para consubstanciar seus trabalhos, a serem desenvolvidos através de outras estratégias metodológicas, tais como: fóruns e debates sobre a proliferação de arsenais nucleares em países potencialmente instáveis do ponto de vista político; construção de modelos de usinas nucleares e depósitos para rejeitos radioativos, discutindo-se suas viabilidades técnicas e impactos ambientais; elaboração de cartas para autoridades nacionais abordando o prosseguimento do PNB; construção de sites sobre a temática nuclear, envolvendo vários links, incluindo um espaço virtual para troca de impressões e debates; e um jogo de simulação e desempenho de papéis.

O jogo de simulação e desempenho de papéis, também conhecido como role-play constitui um formidável instrumento de abordagem CTS, nessa metodologia os alunos são levados a participar de uma dramatização, onde devem incorporar o espírito do personagem ou grupo que representam. Para tanto, os mesmos buscam cercar-se de todo um ferramental conceitual em termos de ciência, tecnologia, história e geografia, dentre outras áreas, para dar substância a sua representação dramática e para a defesa dos pontos de vista propugnados por seus personagens.

Um exemplo de aplicação da metodologia do role-play seria a simulação de uma situação fictícia que envolvesse a construção de uma usina nuclear ou de um abrigo de rejeitos radioativos em uma dada região. Os alunos seriam divididos em grupos que representariam, os interesses governamentais favoráveis à construção da usina ou abrigo, os interesses das comunidades locais e de ativistas contrários à energia nuclear, um grupo de cientistas consultores e um grupo representando uma comissão parlamentar de inquérito destinada a avaliar os prós e contras em relação

à instalação da usina ou abrigo. Os materiais informativos e a base conceitual necessária para alicerçar as colocações de cada grupo seriam obtidos a partir das disciplinas anteriormente citadas, bem como de pesquisas em fontes de dados alternativas. Convém ressaltar que o aluno assumiria responsabilidade considerável na busca e apropriação dos conhecimentos, pois essa metodologia privilegia estratégias de ensino onde o aluno assume postura ativa, podendo, de alguma forma expressar sua opinião pessoal, Santos (1998).

Ao professor cabe o papel de ser o responsável pelo projeto interdisciplinar, exercendo o papel de um administrador de classe, gerenciando o tempo, os recursos humanos e o ambiente emocional da classe, Cruz (2001).

Outras situações fictícias poderiam servir para dar o suporte temático para o emprego da metodologia do role-play, tais como: comissões diplomáticas das Nações Unidas, com posturas antagônicas sobre como tratar nações politicamente instáveis detentoras de bombas nucleares. Uma comissão estaria disposta a empreender intervenção militar e outra a buscar soluções pacíficas como sanções econômicas e negociações políticas, nesse contexto seriam trabalhados aspectos relevantes do poder geopolítico associado ao domínio de determinados conhecimentos científico - tecnológicos.

Outro exemplo do uso do role-play seria representado por grupos pacifistas que buscariam o desmantelamento completo dos arsenais nucleares, contrapostos por representantes do complexo industrial militar, que alegariam razões econômicas e de segurança de países como os Estados Unidos e China.

Seja qual for o procedimento metodológico escolhido para abordar a poluição nuclear, a apreensão da questão ambiental se dará numa concepção de meio ambiente globalizante, pois a essência da abordagem CTS está centrada na plena interação dos elementos: científicos, tecnológicos, sociais e ambientais.

Por fim, cabe ressaltar que os professores das disciplinas de física, química, biologia e geografia, dentre outras, assim como o professor responsável pelo projeto interdisciplinar, frente às exigências dos PCNs, podem sentir-se sobrecarregados ou despreparados. No entanto, esses não precisam dar conta de uma abordagem que

contemple todos os matizes do leque conceitual e metodológico pertinente à temática nuclear, ou a outra temática qualquer. Esses professores podem buscar apoio numa abordagem multidisciplinar, onde especialistas de outras áreas com seus saberes e enfoques singulares, contribuirão para uma abordagem educativa holística. Tais especialistas podem ser professores de universidades e centros de pesquisa que tragam suas contribuições através de seminários e palestras. Outra fonte de apoio poderia ser obtida em grupos de pesquisa em educação científica e tecnológica assentados em universidades, ou em órgãos públicos como secretarias de educação e o ministério da educação.

5.5. VIABILIDADE DE USO EM OUTROS CONTEXTOS PROGRAMÁTICOS

A apreensão da questão ambiental numa concepção de meio ambiente globalizante, usando o referencial metodológico CTS, pode se dar sobre diferentes temáticas, como as que abordam a poluição hídrica, edáfica, atmosférica, acústica, térmica, eletromagnética, dentre outras. Sem objetivar a apresentação de uma seqüência dogmática similar a uma "receita de bolo", propomos que sejam levantados os seguintes aspectos na fase de planejamento dos projetos de Educação Ambiental:

O primeiro aspecto para concretizar uma abordagem CTS numa perspectiva de meio ambiente globalizante, está em desvelar com clareza o que representa a concepção de meio ambiente globalizante, o que foi realizado no primeiro capítulo da presente dissertação.

O segundo aspecto consiste em levantar a natureza dos estudos CTS, notadamente em sua evolução histórica, vertentes, objetivos e aplicações educacionais, como desenvolvido no segundo capítulo dessa dissertação.

O terceiro aspecto constitui um estudo temático dos conceitos científicos, tecnológicos e das relações sócio-econômicas, políticas e culturais que são essenciais ao entendimento da temática proposta. Como realizado no capítulo três sobre o tema poluição nuclear.

O quarto aspecto está em levantar como é abordada a temática escolhida em alguns livros didáticos de certa relevância no ensino médio, no intuito de desvelar incorreções conceituais, omissões ou abordagens tendenciosas. Como o realizado no capítulo quatro sobre o tema poluição nuclear. Convém ressaltar que algumas editoras de livros didáticos incluem em seus livros temas sociais, muito mais num caráter ilustrativo, sem esboçar uma real compreensão do papel social do ensino de ciências, maquiando os livros com pitadas de aplicações das ciências à sociedade, Santos & Mortimer (2000).

O quinto aspecto se constitui no levantamento do elenco de disciplinas com seus enfoques e conteúdos específicos que podem efetivamente contribuir para uma base conceitual adequada a compreensão da temática escolhida. No entanto, convém salientar que a apreensão da questão ambiental numa perspectiva de meio ambiente globalizante poderá se dar mais facilmente com o uso de um enfoque CTS, no espaço do currículo diversificado, como o sugerido no quinto capítulo, com o título de espaço para projetos interdisciplinares.

Enfatizamos que mesmo sendo o objeto de estudo ou campo de atuação da Educação Ambiental na sua essência interdisciplinar, é possível inserir a prática da Educação Ambiental em uma disciplina específica, agregada a estrutura curricular do ensino fundamental e médio, como uma forma de aproximação interdisciplinar com o propósito de atender as exigências educativas pertinentes à crise socioambiental.

Em nosso entendimento a totalidade das disciplinas inseridas na grade curricular do ensino fundamental e médio deve dar o suporte teórico-prático para a apreensão das questões socioambientais. A abordagem metodológica das citadas questões pode seguir um eixo diretor que oriente a participação das disciplinas com suas especificidades de conteúdo programático e metodologias de pesquisa no desvelamento amplo das relações entre política, economia, cultura, ciência & tecnologia e a degradação da biosfera.

Talvez devêssemos abolir o termo "Educação Ambiental", para não recair numa visão segmentada, que vislumbra a mesma como um compartimento singular,

inserido no contexto maior da educação geral, como são habitualmente tratadas a educação física, artística e para a cidadania. No entanto não abandonaremos o termo Educação Ambiental, pois não o concebemos como um anexo ou compartimento da grade curricular ou do projeto político-pedagógico do ensino fundamental e médio.

Concebemos o termo Educação Ambiental como o eixo diretor, que deve nortear a seleção e encadeamento de conteúdos programáticos, das metodologias de ensino-aprendizagem e dos processos de avaliação, constituindo-se numa concepção de educação voltada ao ambiente em sua totalidade, ou seja, em suas diferentes facetas socioambientais.

Por fim, como professor de física e química do ensino médio, conhecedor das dificuldades e agruras da classe docente, convido os colegas de labuta, a quem dediquei os esforços despendidos na elaboração dessa modesta contribuição, para refletir sobre o que Santos (1998) coloca:

"..., é necessário que não tenhamos resistência a transformar a ciência da sala de aula em um instrumento de conscientização, com o qual trabalharemos não só os conceitos científicos fundamentais para a nossa existência, mas, também os aspectos éticos, morais, sociais, econômicos e ambientais a eles relacionados." (Santos, 1998, p.269).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERT, Bruce, et al. Fundamentos da Biologia Celular: uma introdução à biologia molecular da célula. Porto Alegre: Artmed, 1999.

ANDRADE, Roberto Pereira & **OLIVEIRA**, Pedro Ives G. Chernobyl: ameaça nuclear. São Paulo: Traço Editora, 1986.

ANGOTTI, José André Perez & **AUTH**, Nilton Antonio. Ciência e Tecnologia: implicações sociais e o papel da educação. Revista Ciência Educação. V.7, n.1,2001. p. 15-27.

ARANHA, Maria Lúcia de Arruda & **MARTINS**, Maria Helena Pires. Temas de Filosofia. São Paulo: Moderna, 1998.

ARNT, Ricardo. O Que É Política Nuclear? São Paulo: Ed. Brasiliense,1985.

ARROYO, M. G. A Função Social das Ciências. Em Aberto. Brasília, v.7, n.40, p.3-11, Out/Dez. 1988.

ARRUDA, JOSÉ Jobson de A. & **PILETTI**, Nelson. Toda a História: História Geral e História do Brasil. São Paulo, Ed. Ática.1996.

ATKINS, Peter & **JONES**, Loreta. Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Porto Alegre: Bookman, 2001.

AULER, Décio & **BAZZO**, Walter Antonio. Reflexões Para a Implementação do Movimento CTS no Contexto Educacional Brasileiro. P.1-13. Revista Ciência & Educação. Vol. 7, n.1, 2001.UNESP.

AUTOS DE GOIÂNIA. Ciência Hoje. Rio de Janeiro, v.7, n.40, Mar. 1988. suplemento.

BASTOS, C. & **KELLER**, V. Introdução à Metodologia Científica. Petrópolis: Ed. Vozes. 1996.

BAZZO, W. A. Ciência Tecnologia e Sociedade: e o contexto da educação tecnológica, Florianópolis, EDUFSC. 1998.

BECKER, Dinizar Fermiano (org.). Desenvolvimento Sustentável: necessidade e /ou possibilidade? Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2002.

BELL, David V. J. A Cultura da Sustentabilidade. in: Ecologia, Juventude e Cultura Política. Paulo J. Krischke, org. Florianópolis: Ed. Da UFSC. 2000. p. 27-58.

BENN, F. R. & **McAULIFFE**, C. A. Química e Poluição. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. São Paulo: EDUSP. 1981.

BERKALOFF, André. & **BOURGUET**, Jacques. & **FAVARD**, Pierre. & **GUINNEBAULT**, Maxime. Biologia e Fisiologia Celular. São Paulo: Edgard blücher. 1975.

BERNARDES, Julia Adão & **FERREIRA**, Francisco Pontes de Miranda. Sociedade e Natureza. in: A Questão Ambiental: diferentes abordagens.

CUNHA, Sandra Baptista & **GUERRA**, Antonio José Teixeira, (org). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p. 18-41 .

BIASI, Renato de. A Energia Nuclear No Brasil. Rio de Janeiro: Ed. Biblioteca do Exército, 1979.

BIGARELLA, João José, **LEPREVOST**, Alsedo, **BOLSANELLO**, Aurélio. Rochas do Brasil. Rio de Janeiro: LTC & ADEA, 1985.

BIRAL, Antônio Renato. Radiações Ionizantes para Médicos, Físicos e Leigos. Florianópolis: insular, 2002.

BONATO, Irmão Firmino. Química. v. 1. 11. ed. São Paulo: FTD, 1971.

BORN, Max. Física Atômica. 4. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1986.

BRAGA, Benedito et. al.. Introdução à Engenharia Ambiental. São Paulo: Prentice Hall. 2002.

BRANCO, Samuel Murgel. Água: origem uso e preservação. 2. ed. São Paulo: Moderna. 2003.

BRANCO, Samuel Murgel. Natureza e Agroquímicos. 4. ed. São Paulo: Moderna. 1990.

BRANCO, Samuel Murgel. O Meio Ambiente em Debate. 26. ed. São Paulo: Moderna. 1997.

BRÜGGER, Paula. Educação ou Adestramento Ambiental. Florianópolis: Letras Contemporâneas. 1994.

BUENO, Willie, et. al.. Química Geral. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. 1978.

CABRAL, A. A Terceira Guerra Mundial. São Paulo: Ed. Moderna. 1987.

CAMPOS, M. Abordagem das Questões Ambientais nas Séries Iniciais do Primeiro Grau na Região de Criciúma (SC) Dissertação de Mestrado, UFSC. 1997.

CARVALHO, Geraldo Camargo de. Química Moderna 1. São Paulo: Scipione, 1994.

CARVALHO, Isabel Cristina de Moura. Educação Ambiental: a formação do sujeito ecológico. São Paulo: Cortez, 2004.

CARVALHO, Isabel Cristina de Moura. Territorialidades em Luta: uma análise dos discursos ecológicos. Série registros, n.9, p.1-56, São Paulo: Instituto Florestal, Secretaria do Meio Ambiente. 1991.

CARVALHO, Vilson Sérgio de. A Educação Ambiental nos PCNs: o meio ambiente como tema transversal, p.83-101, in: **MACHADO**, Carly Barboza. Educação Ambiental Consciente. Rio de Janeiro: Wak, 2003.

CASTELLAN, G. W. Físico-Química. v. 2. Rio de Janeiro: Ed. Ao Livro Técnico, 1973.

CASTRO, Ronaldo Souza & **BAETA**, Ana Maria. Autonomia Intelectual: Condição necessária para o exercício da cidadania. in: Educação Ambiental, repensando o espaço da cidadania. Carlos F. B. Loureiro. et al. (orgs.) São Paulo: Ed. Cortez, 2002. p. 99-107.

CAVEDON, Jean-Marc. A Radioactividade. Lisboa: Instituto Piaget, 1996.

CHIQUETO, Marcos José & **PARADA**, Antonio Augusto. Física: Mecânica. São Paulo: Scipione, 1991.

COIMBRA, José de Ávila Aguiar. Considerações sobre a Interdisciplinaridade. P. 52-70. in: Interdisciplinaridade em Ciências Ambientais. Philippi Jr Arlindo. São Paulo: Signus editora 2000.

CONN, Eric Edward & **STUMPF**, P. K.. Introdução à Bioquímica. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO. Câmara de Educação Básica. Resolução n.3, de 26 de Junho de 1998. Estabelece as diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Relator Ulysses de Oliveira Panisset. Brasília. P.132-140.

CRESPO, S. (coord.). O que o brasileiro pensa sobre o meio ambiente, desenvolvimento e sustentabilidade. Rio de Janeiro: MMA/MAST/SER.1997.

CROCKFORD, H. D. & **SAMUEL**, B. K. Fundamentos de Físico-Química. Rio de Janeiro: Ed. Livros Técnicos e Científicos, 1977.

CRUZ, S. M. S. M. de S. O Uso da Abordagem Aprendizagem Centrada em Eventos: Uma Experiência com o Enfoque CTS no Ensino Fundamental. Tese de Doutorado. Florianópolis: UFSC. 2001.

CRUZ, Sônia Maria S. C. & **ZYLBERSZTAJN**, Arden. O Enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade e a Aprendizagem Centrada em Eventos. P.171-196. in: Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Maurício Pietrocola (org). Florianópolis: Ed. da UFSC, 2001.

DARLING, Frank Fraser. A Ecologia das Selvas: florestas e a sobrevivência. Rio de Janeiro: Ed. Artenova S. A.. 1973.

DASHEFSKY, H. Steven. Dicionário de Educação Ambiental. São Paulo: Ed. Gaia. 2. ed. 2001.

DELIZOICOV, Demétrio & **ANGOTTI**, José André. Metodologia do Ensino de Ciências. São Paulo: Cortez, 1990.

DÉOUX, Suzanne & **DÉOUX**, Pierre. Ecologia é a Saúde. Lisboa: Instituto Piaget, 1992.

DIAS JÚNIOR, José Augusto & **ROUBICEK**, Rafael. 1995. O Brilho de Mil Sóis: história da bomba atômica. São Paulo: Ática, 1994.

DIAS, G. F. Educação Ambiental, Princípios e Prática. São Paulo: Ed. Gaia, 1992. Apud: **OAIGEN**, Edson Roberto et al. Educação, Ambiente e Educação Ambiental: As Concepções Históricas e Epistemológicas da Sociedade Atual. In: Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências. Vol. 1,n.1, Jan/Abril. 2001. p. 87-95.

DIAS, Genebaldo Freire. Eco percepção: um resumo didático dos desafios socioambientais. São Paulo: Gaia, 2004.

DIAZ, A. P. La Educación ambiental como proycto. Cuadernos de Educación, Barcelona, I.C.E. Universitar Barcelona - Editorial Horsori, n. 18, 1995.

DICIONÁRIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS. Pedro Paulo de Lima e Silva, et. al. 2.ed. Rio de Janeiro: Thex ed. 2002.

DICIONÁRIO DE ECOLOGIA. Trad. Maria Luiza Alvarenga Correa. São Paulo: Ed. Melhoramentos. 1980.

ESTADO MAIOR DA ARMADA. Programa Nuclear: as razões. Tecnologia & Defesa. Suplemento Especial. n.10, ano 21. p:34-39.jun. 2004.

FALK, Richard A. Morte e Sobrevivência da Terra: A ecologia e as soluções para salvar o planeta. Rio de Janeiro: Ed. Artenova S. A., 1972.

FARIA, Sérgio L. O Que É Radioatividade? São Paulo: Ed. Brasiliense, 1989.

FARIAS, Robson Fernandes. Para Gostar de Ler A História da Química. Campinas: Ed. Átomo, 2003.

FELLENBERG, Günter. Introdução aos Problemas da Poluição Ambiental. São Paulo: Ed. EPU. 1980.

FELTRE, Ricardo. Química. Físico-Química. 3. ed. São Paulo: Moderna, 1992.

FELTRE, Ricardo. Química. Físico-Química. 5. ed. São Paulo: Moderna, 2003.

FERRARI, Nelson Fiedler & **NASCIMENTO**, Ivan Cunha. Fusão Termonuclear. Ciência Hoje. v. 7, n. 41, p: 44-56. abr.1988.

FERRI, Mário Guimarães. Ecologia e Poluição. São Paulo: Melhoramentos. 2. ed. 1977.

FORNARI NETO, Ernani. Dicionário Prático de Ecologia. São Paulo: Ed. Aquariana. 2001.

GARCÍA, M. I. G. et al. Ciencia, Tecnologia y Sociedad: una introducción al estudio social de la ciencia y la tecnologia. Madrid: Ed. Tecnos. 1996.

GOLDEMBERG, J. Energia no Brasil. Rio de Janeiro: Ed. Livros Técnicos e Científicos, 1979.

GOLDEMBERG, J. Energia Nuclear no Brasil: as origens das decisões São Paulo: Ed. Hucitec, 1978.

GOLDEMBERG, J. Energia Nuclear Sim ou Não? Rio de Janeiro: Ed. José Olympio, 1987.

GOLDEMBERG, J. Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento. São Paulo: Ed. da USP, 2001.

GOLDEMBERG, J. O Que É Energia Nuclear?. São Paulo: Ed. Brasiliense, 1981.

GOLDEMBERG, J. Qual É A Questão do Inverno Nuclear. São Paulo: Ed. Brasiliense, 1985.

GORDILLO, Mariano Martin et al. Ciência, Tecnologia y Sociedad. Materiales para la Educación CTS. Astúrias. Espanha: Grupo Editorial Norte, 2001.

GROSS, Bernhard. Tchernobyl 1 ano depois, o que houve afinal? Ciência Hoje, v.6, n.32,; p:28-35. jun. 1987.

HAWKES, N. et al. Chernobyl, o fim do sonho nuclear. Rio de Janeiro: Ed. João Olympio. 1986.

HEIN, Morris. Fundamentos de Química. Rio de Janeiro: Campus. 1983.

HELENE, M. Elisa Marcondes. A radioatividade e o lixo nuclear. São Paulo: Scipione. 1996.

HENEINE, Ibrahim Felipe. Biofísica Básica. São Paulo: Atheneu. 1993.

HERRERA, Amílcar O. O Armamentismo e o Brasil. São Paulo: Ed. Brasiliense, 1985.

HINRICHS, Roger A. Energia e Meio Ambiente. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

HOLTHAUSEN, Carlos. Agenda 21: o caminho da dignidade humana. Florianópolis: Papa-Livro,2000.

JAPIASSU, Hilton. Interdisciplinaridade e Patologia do Saber. Rio de Janeiro: Imago, 1976.

JOHAM, J.R.. Introdução ao Método Científico. Canoas: Ed. Ulbra. 1997.

JONAS, H. El principio de responsabilidad: ensayo de uma ética para la civilization tecnológica. Barcelona. Herder. 1995. apud: **PALACIOS**, E. M. et al. Ciência, Tecnologia Y Sociedad: Una Aproximación conceptual. Madrid. Espana. Organización de Estados Iberoamericanos, 2001.

KANE, Gordon. A Aurora da Física Além do Modelo Padrão. Revista Scientific American Brasil. Ano 2. n. 14. Jul. 2003, p 76-83.

KOTZ, John & **TREICHEL**, Paul. Química e Reações Químicas. v.2, 4.ed. Rio de Janeiro:LTC, 2002.

KRASILSHIK, M. Ensinando Ciências para Assumir Responsabilidades Sociais. Revista de Ensino de Ciências. 14. 1985, p 8-10.

KRASILSHIK, M. O Professor o Currículo das Ciências. São Paulo. EDUSP.1987. apud: **SANTOS**, W. L. P. & **MORTIMER**, E. D. Uma Análise de Pressupostos Teóricos da Abordagem CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no Contexto da Educação Brasileira. Ensaio Pesq. Educ. Ciência. 2000, vol.2, n.2, 133-162.

KRISCHKE, Paulo J. Debates: desafios da ecologia e da juventude para o novo século. in: Ecologia, Juventude e Cultura Política. Paulo J. Krischke, org. Florianópolis: Ed. Da UFSC. 2000. p. 172-189.

KURAMOTO, Renato Y. R. & **APPOLONI**, Carlos Roberto. Uma Breve História da Política Nuclear Brasileira. Cad. Bras. Ens. Fís., v.19, n.3,: p:379-392. dez.2002.

LAGO, Paulo Fernando. A Consciência Ecológica: a luta pelo futuro. 2. ed. Florianópolis:Ed. da UFSC. 1991.

LAKATOS, E. M. & **MARCONI**, M. de A. Metodologia Científica. 2 ed. São Paulo:Ed. Atlas. 1991.

LAYRARGUES, Philippe Pomier. O Cinismo da Reciclagem: o significado ideológico da reciclagem da lata de alumínio e suas implicações para a educação ambiental. in: Educação Ambiental, repensando o espaço da cidadania. Carlos F. B. Loureiro. et al. (orgs.) São Paulo: Ed. Cortez, 2002. p. 179-215.

LEAL, Maria C. & **GOUVÊA**, Guaracira. Narrativa, Mito, Ciência e Tecnologia: O Ensino de Ciências na Escola e no Museu. Ensaio. Pesquisa em Educação em Ciências, 2000. vol. 2,n.1, p.5-36.

LEÃO, Moacir de A. Carneiro. Princípios de Biofísica. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1982.

LEFF, Enrique. Complexidade, Interdisciplinaridade e Saber Ambiental. P.19-51. in: Interdisciplinaridade em Ciências Ambientais. Philippi Jr Arlindo. São Paulo: Signus editora 2000.

LEMBO, Antônio; **SARDELLA**, Antônio. Química. São Paulo: Ática, 1987.

LENOIR, Yves. Didática e Interdisciplinaridade: Uma Complementaridade Necessária e Incortonável. P. 45-76. in: Didática e Interdisciplinaridade, Ivani Fazenda (org). Campinas. SP. Ed. Papirus, 1998.

LIMA, Gustavo F. da C.. Crise Ambiental, Educação e Cidadania: os desafios da sustentabilidade emancipatória. in: Educação Ambiental, repensando o espaço

da cidadania. Carlos F. B. Loureiro. et al. (orgs.) São Paulo: Ed. Cortez, 2002. p. 109-139.

LOPES J. L. Ciência e Libertação. 2 ed. Rio de Janeiro: Ed. Paz e Terra. 1978.

LOPES, José Leite. A Estrutura Quântica da Matéria: do átomo pré-socrático às partículas elementares. Rio de Janeiro: Ed. da UFRJ, 1992.

LORA, Electo E. S. Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energéticos, Industrial e de Transporte. segunda edição. Rio de Janeiro: Interciência, 2002.

LORENZ, Karl & **BARRA**, V.M. Produção de Materiais Didáticos de Ciências no Brasil: Período: 1950 a 1980. In: Ciência e Cultura. v. 38, n. 12, p. 1971-83, 1986.

LORENZ, Karl M. Os Livros Didáticos e o Ensino de Ciências na Escola Secundária Brasileira no Século XIX. In: Ciência e Cultura. V. 38 n. 3, p. 426-35, 1986.

LOUREIRO, Carlos F. B. Educação Ambiental e Movimentos Sociais Na Construção da Cidadania Ecológica e Planetária. in: Educação Ambiental, repensando o espaço da cidadania. Carlos F. B. Loureiro. et al. (orgs.) São Paulo: Ed. Cortez, 2002. p. 69-98.

LOWY, Michael. Positivismo. In: Ideologias e Ciência Social: Elementos para uma Análise Marxista. 8.ed., São Paulo: Cortez Editora, cap. 2, p. 33-65.1974.

LUCAS, A. M. The role of science in education for the environment. Journal of Environmental Education, vol. 12, n.2 p. 32-37, 1980/81. apud. **TOMAZELLO**, Maria Guiomar Carneiro & **FERREIRA**, Tereza Raquel das Chagas. Educação Ambiental: Que critérios Adotar para Avaliar a Adequação Pedagógica de seus Projetos? In: Educação. Vol.1 Bauru: Faculdade de Ciências, UNESP. 1995. p.199-207.

LUDD, Ned (org.). Apocalipse Motorizado: A tirania do automóvel num planeta poluído. São Paulo: Conrad Editora do Brasil, 2004.

MAHAN, Bruce H.& **MYERS**, Rollie J. Química: um curso universitário. 4. ed. São Paulo. Ed. Edgard Blücher, 1995.

MARQUES, Paulo. Sofismas Nucleares: o jogo das trapaças na política nuclear do país. São Paulo: Ed. Hucitec, 1992.

MARTINS, Jader B. A História do Átomo de Demócrito aos Quarks. Rio de Janeiro. Ed. Ciência Moderna, 2001.

MAYER, M. Educación Ambiental: de lá acción a la investigación. Enseñanza e las Ciências, v. 16, n. 2, jun. 1998. apud. **TOMAZELLO**, Maria Guiomar Carneiro & **FERREIRA**, Tereza Raquel das Chagas. Educação Ambiental: Que critérios Adotar para Avaliar a Adequação Pedagógica de seus Projetos? In: Educação. Vol.1 Bauru: Faculdade de Ciências, UNESP. 1995. p. 199-207.

MELLANBY, Kenneth. Biologia da Poluição. São Paulo. EPU. 1982.

MELQUIADES, Fábio Luiz & **APPOLONI**, Carlos Roberto. Radioatividade Natural em Amostras Alimentares. Cad. Bras. Ens. Fís., v. 21, n.1: p. 120-126, abr. 2004.

MENEZES, Débora Peres. Introdução à Física Nuclear e de Partículas Elementares. Florianópolis. Ed. da UFSC. 2002.

MERÇON, Fábio & **QUADRAT**, Samantha Viz. A Radioatividade e a História do Tempo Presente. Química Nova Escola. n. 19, p:27-30. maio, 2004.

MORAES, Edmundo Carlos de . Ações Pedagógicas Relacionais: Texto para o curso “Ações Pedagógicas Relacionais”, dirigido aos professores da Escola Básica José Boiteux. Florianópolis: mimeo. UFSC. Agosto de 2001.

MORAES, José Geraldo V. Caminhos das Civilizações: da pré-história aos dias atuais. São Paulo. Ed. Atual. 1993.

MORAIS, R. de . Ciência e Tecnologia. 3 ed. São Paulo: Ed. Moraes. 1980.

MORETO, Vasco Pedro. Física Hoje: Eletricidade e Eletromagnetismo. 8. ed. São Paulo: Ática. 1990.

MURRAY, Raymond L. Energia Nuclear: uma introdução aos conceitos, sistemas e Aplicações dos processos nucleares. 2. ed. São Paulo: Ed. Hemus. 1980.

NAKATA, Hirome & **COELHO**, Marcos Amorin de. Geografia Geral. 2 ed. São Paulo: Ed. Moderna 1986.

NUNES, E. dos R. Goiânia, Chernobyl e a Tecnologia Nuclear: a informação científica entre alunos do segundo grau. Dissertação de Mestrado. Florianópolis: UFSC. 1990.

OAIGEN, Edson Roberto et al. Educação, Ambiente e Educação Ambiental: As Concepções Históricas e Epistemológicas da Sociedade Atual. In: Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências. Vol. 1,n.1, Jan/Abril. 2001. p. 87-95.

ODUM, Eugene P. Ecologia. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan. S. A. 1988.

OKUNO, Emico, et. al. Física Para Ciências Biológicas e Biomédicas. São Paulo: Ed. Harbra, 1982.

OKUNO, Emico. Radiação: efeitos, riscos e benefícios. São Paulo: Ed. Harbra, 1988.

OLIVEIRA, O. M. de A Questão Nuclear Brasileira: Um Jogo de Mandos e Desmandos. Florianópolis: Ed. UFSC. 1989.

OLIVEIRA, Odete. A Questão Nuclear: um jogo de mandos e desmandos. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1989.

ORDONEZ, Marlene & **QUEVEDO**, Júlio. História. São Paulo: IBEP. 2000.

OSADA, Jun'ichi. Evolução das Idéias da Física. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1972.

OSTERMANN, Fernanda & **CAVALCANTI**, Cláudio J. de H. Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais. Cat. Ens. Fís. V: 16. n. 3.: p. 267-286. Dez/ 1999.

OSTERMANN, Fernanda. Tópicos de Física Contemporânea em Escolas de Nível Médio e Na Formação de Professores de Física. Tese de Doutorado. Porto Alegre, 1999.

OTTAWAY, James Henry. & **APPS**, D. K. Bioquímica. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1986.

OTTAWAY, James Henry. Bioquímica da Poluição. São Paulo. EPU. 1982.

PALACIOS, E. M. et al. Ciência, Tecnologia Y Sociedad: Una Aproximación conceptual. Madrid. Espana. Organización de Estados Iberoamericanos, 2001.

PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS DO ENSINO MÉDIO, Parte III – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, MEC, 2000.

PARANÁ, Djalma Nunes. Física: Mecânica. v. 1, São Paulo: Ática. 1993.

PARANÁ, Djalma Nunes. Física: Termologia, Óptica, Ondulatória. v. 2, São Paulo: Ática. 1993.

PCN+ENSINO MÉDIO. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Secretaria de Educação Média e Tecnológica – Brasília: MEC; SEMTEC, 2002.

PEARCE, Fred . O Aquecimento Global. São Paulo. Publifolha, 2002.

PEDRO, Antonio. História Geral. São Paulo. Ed. Atual. - FTD. 1995.

PEREIRA, A. B.. Aprendendo Ecologia através da Educação Ambiental. Porto alegre. Ed. Sagra- DC Luzatto,1993.

PEREIRA, Maria Clara Infante et al. Análise da Prática Pedagógica: A interdisciplinaridade no Fazer Pedagógico. in: Educação e Sociedade, n. 39, ago.1991. p. 286-296.

PESSOA, Elizabeth Farrelly, et. al. Introdução à Física Nuclear. São Paulo: Ed. da USP, 1978.

PINHEIRO, Antonio Carlos da F. B. & **MONTEIRO**, Ana Lúcia da F. B. P. André. Ciências do Ambiente: ecologia, poluição e impacto ambiental. São Paulo. Makron Books do Brasil. Ed. Ltda. 1992.

POPP, José Henrique. Geologia Geral. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1981.

PORTO, Cleoman. . Radioatividade. Brasília: Ed. da UnB, 2001.

POSTMAN, Neil. Tecnopólio: a rendição da cultura à tecnologia. São Paulo. Ed. Nobel 1994.

RAMALHO JUNIOR, Francisco, et.al. Os Fundamentos da Física: Termologia, Óptica Geométrica e Ondas. 5. ed., São Paulo: Moderna. 1992.

RAUEN, F. J. Roteiros de Investigação Científica. Tubarão: ed. Unisul. 2002.

REIGOTA, Marcos. Meio Ambiente e Representação Social. São Paulo: Ed Cortez. 1995.

REZENDE JUNIOR, Mikael Frank. Fenômenos e a Introdução de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. Dissertação de Mestrado. Florianópolis: UFSC. 2001.

RIBEIRO, Maria Luisa Santos. História da Educação Brasileira. 2. ed. São Paulo: Cortez & Moraes, 1979, p. 63-72.

RICARDO, Elio Carlos. As Ciências no Ensino Médio e os Parâmetros Curriculares Nacionais: Da Proposta à Prática. Dissertação de Mestrado. Florianópolis: UFSC. 2001.

ROCHA, Antônio Fernando G. da & **HARBET**, John Charles. Medicina Nuclear: bases. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1979.

ROCHA, Julio César et. al.. Introdução a Química Ambiental. Porto Alegre: Bookman. 2004.

RODRIGUES, Lino. Poluição à Venda. Isto É. São Paulo, n. 1737, 15 de Jan de 2003. p. 72-73.

ROSA, Luís Pingueli. A Segurança de Angra I. Ciência Hoje. v. 9, n. 53, p: 24-32, maio, 1989.

ROSENBERG, Jerome L. & **EPSTEIN**, Lawrence M. Química Geral. Coleção Schaum. 8. ed. Porto Alegre: Bookman, 2003.

ROSMORDUC, Jean. Uma História da Física e da Química: de Tales a Einstein. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1988.

ROZENBERG, I. M. Química Geral. 1. ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 2002.

RUMJANEK, Franklin David. Introdução à Biologia Molecular. v. 1, Rio de Janeiro: Âmbito Cultural, 2001.

RUMMEL, Francis J. Introdução aos Procedimentos de Pesquisa em Educação. Porto Alegre: Ed. Globo. 1974.

RUSSEL, John B. Química Geral. v.2, 2º ed. São Paulo: Makron Books. 1994.

SAGAN, Carl et al. O Inverno Nuclear. 2 ed. Rio de Janeiro: Ed. Francisco Alves. 1985.

SALGADO, Eduardo. Um Novo Adeus às Armas Veja. p:114. 22 de maio, 2002.

SAMPSON, Anthony. Os Vendedores de Armas. Rio de Janeiro: Ed. Record. 1982.

SANTOS, José Ivan C. dos. Conceitos de Física: Mecânica São Paulo: Ática 1990.

SANTOS, W. L. P. & **MORTIMER**, Eduardo Fleury. Uma Análise de Pressupostos Teóricos da Abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia - Sociedade) no Contexto da Educação Brasileira. Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências. 2000. vol. 2, n.2, 133-162.

SANTOS, W. L. P. & SCHENETZER, R. P. Ciência e Educação para a Cidadania. In: Ciência, Ética e Cultura Na Educação. São Leopoldo: Ed. Unisinos. 1998.

SANTOS, W. L. P. & SCHENETZER, R. P. Educação em Química. Compromisso com a cidadania,. 2 ed. Ijuí: Ed. Unijuf. 2000.

SATO, Michele & PASSOS, Luiz Augusto. Biorregionalismo: Identidade Histórica e Caminho para a Cidadania. in: Educação Ambiental, repensando o espaço da cidadania. Carlos F. B. Loureiro. et al. (orgs.) São Paulo: Ed. Cortez, 2002. p. 221-251.

SATO, Michele. Educação Ambiental. São Carlos. Rima Editora. 2003.

SCAFF, Luiz A. M. Física da Radioterapia. São Paulo Ed, Sarvier, 1997.

SECRETARIA DO ESTADO DE EDUCAÇÃO E DESPORTO. Direção do Ensino Médio. “ O Novo Currículo”. 2001. mimeo.

SEGRÉ, Emilio. Dos Raios X aos Quarks. Brasília: Editora da UnB. 1987.

SEVERINO, Antônio Joaquim. O Conhecimento Pedagógico e a Interdisciplinaridade: O Saber como Intencionalização da Prática. P. 31-43. in: Didática e Interdisciplinaridade, Ivani Fazenda (org). Campinas. SP. Ed. Papyrus, 1998.

SEWELL, Granville Hardwick. Administração e Controle da Qualidade Ambiental São Paulo. Ed. EPU, 1978.

SILVA, Eduardo Roberto et al. Química, Transformações e Energia. v. 2, 1. ed. São Paulo: Ed. Ática, 2001.

SILVA, Lício da. Inverno Nuclear e o Brasil? Ciência Hoje. v. 5, n.30. p: 54-62.abr., 1987.

SLAUBAUGH, Wendell H. Química Geral. 2. ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 1982.

SOARES, Flávio Augusto P. & **LOPES**, Henrique Batista. Radiodiagnóstico: fundamentos físicos. Florianópolis: Insular, 2003.

SOFFIATI, Arthur. Fundamentos Filosóficos e Históricos para o Exercício da Ecocidadania e da Ecoeducação. in: Educação Ambiental, repensando o espaço da cidadania. Carlos F. B. Loureiro. et al. (orgs.) São Paulo: Ed. Cortez, 2002. p.23-67.

SOUZA, F. C. Escrevendo e Normalizando Trabalhos Acadêmicos, um guia metodológico. 2. ed. Florianópolis: Ed. da UFSC. 2001.

SOUZA, Mello. Biofísica Geral & Experimental. 3. ed. Curitiba: Ed. Universitária Paranaense, 1990.

SUGUIO, Kenitiro & **SUZUKI**, Uko. A Evolução Geológica da Terra e a Fragilidade da Vida. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda, 1º ed. 2003.

TABAK, Daniel Goldberg & **SOUZA**, Paulo Cesar de. Vítimas da Radiação: o leitor pergunta. Ciência Hoje. v.9, n.49. p:62-64. dez,1988.

TAUHATA, Luiz & **ALMEIDA**, Elizabeth Santos de. Radiações Nucleares: usos e cuidados. In: Energia Nuclear e suas Aplicações. v.2, Rio de Janeiro: Comissão Nacional de Energia Nuclear, 1º ed. 1982.

THOMAS, Gordon & **WITTS**, Max Morgan. A Bomba de Hiroxima. São Paulo: Círculo do Livro S.A., 1977.

TIPLER, Paul A. & **LLEWELLYN**, Ralph A. Física Moderna. 3. ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC. 2001.

TOMAZELLO, Maria Guiomar Carneiro & **FERREIRA**, Tereza Raquel das Chagas Educação Ambiental: Que critérios Adotar para Avaliar a Adequação Pedagógica de seus Projetos? In: Educação. Vol.1 Bauru: Faculdade de Ciências, UNESP. 1995. p.199-207.

TRAVASSOS, Edson Gomes. A Prática da Educação Ambiental nas Escolas. Porto Alegre: Mediação. 2004.

TRINDADE, Diamantino. F. & **PUGLIESI**, Marcio. Química Básica Teórica. São Paulo: Ed. Parma. 1983.

TRIVIÑOS, A. N. Introdução à Pesquisa em Ciências Sociais. São Paulo: Ed. Atlas. 1990.

TUCI, Carlos Eduardo M. Desafios em Recursos Hídricos. In: PHILIPPI Jr., Arlindo et. Al. Interdisciplinaridade em Ciências Ambientais. São Paulo: Signus Editora, 2000, p. 254-265.

WALD, Matthew. Desmantelando Reatores Nucleares. Scientific American Brasil, ano 2, n. 24, p:36-45. Maio, 2004.

WEIS, Luiz & **DIEGUEZ**, Flávio. Sakharov: dos átomos aos homens. Superinteressante. v.3, n. 9, p: 63-68. Set. 1990.

YAGER, Robert E. & **McCORMACK**, Alan J. Assessing teaching/learning successes in multiple domains of science and science education. Science Education. V.73, n.1, p45-58, 1989. Apud: **SANTOS**, W. L. P. & **SCHENETZER**, R. P. Educação em Química. Compromisso com a cidadania,. 2 ed. Ijuí: Ed. Unijuí. 2000.

YOSHINAGA, Setsuo & **FELTRE**, Ricardo. Química Orgânica. São Paulo: Moderna, 1985.

ZILBERMAN, Isaac. Introdução à Engenharia Ambiental. Canoas: Ed.da ULBRA.1997.