

ATENÇÃO

O ORIGINAL DESTE ÍTEM NÃO FORNECE CONDIÇÕES
PARA OBTER UMA CÓPIA DIGITALIZADA COM
MELHOR QUALIDADE

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
SECRETARIA DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**UM ESTUDO COMPARATIVO DOS RISCOS À SAÚDE PÚBLICA E DOS
IMPACTOS AMBIENTAIS NA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE PELO USO
DA ENERGIA NUCLEAR, HIDROELÉTRICA E TERMOELÉTRICA
A CARVÃO MINERAL**

Custódio Antonio Guimarães

**Dissertação apresentada ao Instituto de
Pesquisas Energéticas e Nucleares como
parte dos requisitos para obtenção do
Grau de "Mestre na Área de Concentração
em Reactores Nucleares de Potência e
Tecnologia do Combustível Nuclear".**

Orientador: Dr. Roberto Yoshiyuki Hukal

**São Paulo
1982**

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
SECRETARIA DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**UM ESTUDO COMPARATIVO DOS RISCOS A SAÚDE PÚBLICA E
DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE
PELO USO DA ENERGIA NUCLEAR, HIDROELÉTRICA E
TERMOELÉTRICA A CARVÃO MINERAL**

Custódio Antonio Guimarães

Dissertação apresentada ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares como parte dos requisitos para obtenção do Grau de "Mestre na Área de Concentração em Reatores Nucleares de Potência e Tecnologia do Combustível Nuclear".

Orientador: Dr. Roberto Yoshiyuti Hukai



SÃO PAULO
1982

*Dedico aos meus pais,
Custódio Duarte e
Dalva, e as minhas ir
mãs, Ângela e Beatriz.*

AGRADECIMENTOS

- Ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares pelo fornecimento de suas instalações.
- Ao PRONUCLEAR pelo apoio financeiro.
- Ao Professor Dr. Roberto Yosaiyuti Nakai, pela orientação, entusiasmo e amizade dispensados na execução desta pesquisa.
- Ao pessoal da biblioteca em geral, pelos valiosos serviços prestados na elaboração deste trabalho. À amiga Vanda, em particular.
- Aos colegas Alexandre Alberto dos Santos, Arthur Cornélio Otto, Carla Ester Bisson, Carlos Roberto Ferreira, Cyro Teiti Enokihara, Edson Kassar, Gutemberg de Castro Feitosa, José Luis Batista, Manuel Henrique Gabarra, Miguel Mattar, Nelson Leon Melodonian, Sérgio Salazar, Tasso Fraga, Wilson José Vieira, deste Instituto, pela amizade e solidariedade em todos os momentos.
- Aos amigos Cláudio e Fernando Helou Duca, César Augusto Campos, Hélio Kanda, Hiran Vieira Pinto, José Marcos Gonçalves, Hilton Prudente, simplesmente por eles.
- A Edgar Kawano e Elio Amoto, pela colaboração e pelas sugestões prestadas no desenvolvimento deste trabalho.
- A Albertisa, Anydê e Rita, pela arte datilográfica.
- A Mário Augusto Savino e Thomás Antonio Duarte, duas margens de rio rumo ao horizonte.
- À cidade de São Paulo.
- Enfim, a todos aqueles que real ou virtualmente colaboraram para a realização desta obra.

UM ESTUDO COMPARATIVO DOS RISCOS À SAÚDE PÚBLICA E DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE PELO USO DA ENERGIA NUCLEAR, HIDROELÉTRICA E TERMELÉTRICA A CARVÃO MINERAL

Custódio Antonio Guimarães

- Resumo -

Considerações foram feitas sobre os impactos ambientais e os riscos à saúde pública derivados na geração de eletricidade via nuclear, hidráulica e térmica a carvão mineral.

Os principais aspectos desta comparação cobriram o reator nuclear e seu ciclo de combustível nuclear; usina termelétrica a carvão mineral e indústria carbonífera correlata; construção da represa e usina hidroelétrica.

Após uma análise comparativa específica, a saber, alterações na água, no ar, no solo e na saúde pública, por MW gerado por cada alternativa, uma avaliação geral para o caso brasileiro foi feita, baseada na previsão da demanda de eletricidade até o ano 2020.

Para o caso da energia nuclear as conseqüências, tanto para a saúde pública como para o ambiente, foram calculadas em dados americanos, dada a evidente inexistência de dados brasileiros. Para o caso carbóelétrico, também, baseou-se acentuadamente em parâmetros americanos, dada a pequena produção de carvão nacional, atualmente. Quanto à hidroeletricidade, fez-se um levantamento de alterações ambientais e riscos à saúde pública no Brasil, junto à CESP, sobretudo para sua comparação com os dois outros métodos de produção de eletricidade.

Essas três modalidades energéticas são as mais relevantes para o programa nacional de geração elétrica nas próximas quatro décadas.

"A COMPARATIVE STUDY OF HEALTH HAZARDS AND ENVIRONMENTAL IMPACTS FOR ELECTRICITY GENERATION THROUGH NUCLEAR ENERGY, HIDROELECTRICITY AND COAL FIRED THERMOELECTRICAL GENERATION"

Custódio Antonio Guimarães

- Abstract -

Environmental impacts and health hazards were comparatively assessed in regard to electricity generation via nuclear energy, hydraulic dams and coal firing.

The main aspects covered the nuclear reactor and its associated nuclear fuel cycle, coal fired thermo-electrical power plant and its associated coal industry, and hydroelectrical power plant and its dam.

Besides specific comparisons of impacts in the air, water, soil and health hazards an evaluation for the Brazilian case was made based on a forecast of electricity demand up to the year 2020.

For the nuclear option the consequences were analysed based on American data since no data is yet available for Brazil. Coal firing option was also analysed based heavily on American data due to small Brazilian experience in this sector of energy generation. For hydroelectrical option Brazilian data were used mostly from CESP for comparative purposes.

These three alternatives for generation of electricity considered in this study are the most relevant for the next four decades for Brazil.

CAPÍTULO I	-	Introdução	1
1.1		Geração de eletricidade no Brasil atual (atual, futuro e projeção) da demanda	1
1.2		O papel da hidroelétrica	6
1.3		O papel da termoelétrica	8
1.4		O papel da nucleelétrica	11
1.5		Energia, Ambiente e Saúde Pública no	16
1.6		Objetivos da dissertação	25
CAPÍTULO II	-	Metodologia de Análise	27
2.1		Metodologia geral	27
2.2		Principais fatores para nuclear versus carvão	30
2.3		Principais fatores para hidroele tricidade	30
2.4		Fatores ou parâmetros comparati vos	40
2.5		Estados anteriores	45
CAPÍTULO III	-	Hidroeletricidade no Brasil	58
3.1		Descrição sucinta	58
3.2		Aspectos ambientais e sociais ..	62
3.3		Análise dos impactos ambientais.	68
3.4		Análise dos problemas de saúde..	85
CAPÍTULO IV	-	Carboeletricidade	90
4.1		Descrição da usina termoelétrica	
4.2		A indústria carbonífera	96
4.2.1		Introdução	96
4.2.2		Carvão mineral no Brasil	103

	Página
4.2.3 Usinas termoeletricas no Bra- sil	116
4.3 Aspectos ambientais e de saúde pública	114
4.4 Análise dos problemas de saúde pública	119
4.5 Análise dos problemas ambien- tais	136
CAPÍTULO V - Nucleoeletricidade	153
5.1 Descrição do PWR	153
5.2 O ciclo de combustível nuclear para o PWR	161
5.3 Os aspectos de impacto ambien- tal	163
5.4 Os aspectos de saúde pública ...	170
5.5 Análise dos problemas ambien- tais	174
5.6 Análise dos problemas de Saúde .	193
CAPÍTULO VI - Análise comparativa : Carvão versus Nuclear	211
6.1 Aspectos ambientais	211
6.2 Aspectos de saúde	219
CAPÍTULO VII - Avaliação do caso brasileiro ...	231
7.1 O caso do carvão mineral brasi- leiro	231
7.2 O caso da energia nuclear no Brasil	240
7.3 O caso das hidroelétricas	243
7.4 Principais parâmetros de compara- ção	263
CAPÍTULO VIII - Conclusões e Recomendações	281

ÍNDICE DAS FIGURAS

nº	Título	Página
2.1	Comparação de níveis de poluentes, padrões e danos à saúde	47
2.2	Relação dose-resposta (poluentes)	52
2.3	Relação dose-resposta (radionuclídeos) ...	53
3.1	Potencial hidroelétrico do Brasil	59
4.1	Corte de uma típica casa de caldeiras	92
4.2	Corte de uma usina com unidades de 200MW .	92
4.3	Diagrama de um sistema aberto de refrigeração	93
4.4	Diagrama de um sistema fechado de refrigeração	94
4.5	Diagrama de um sistema misto de refrigeração	94
4.6	Cortes típicos de duas usinas modernas ...	95
4.7	Esquema da geração termelétrica convencional	95
4.8	Localização das reservas de carvão	100
4.9	Índice de mortalidade a partir de sulfatos em suspensão	125
4.10	Tamanho relativo de partículas efluentes e a faixa efetiva dos vários métodos de controle	141
4.11	Modelo de dispersão atmosférica	147
5.1	Diagrama básico de uma central nuclear tipo PWR	154
5.2	Esquema do vaso de pressão de um PWR	156
5.3	Gerador de vapor de um PWR	157
5.4	Pressurizador de um PWR	157
5.5	Esquema do conjunto combustível do PWR ...	158
5.6	Corte do vaso de contenção de um PWR	160
5.7	Ciclo de combustível de reatores a água leve (com reciclo de urânio e plutônio)	162
5.8	Ciclo de combustível de reatores a água leve (sem reciclo de urânio ou plutônio)..	164

nº	Título	Página
5.9	Esquema das características de entrada-saída de uma usina nuclear	169
5.10	Fluxo de material e liberação ambiental para reatores LWR	181
5.11	Radioatividade do resíduo de alta atividade do combustível reprocessado	189
6.1	Modos de exposição à radiação	221
6.2	Diagrama do caminho biológico pastagem-vaca-leite	222
6.3	Risco total por unidade de energia produzida por LWR, ano	229
8.1	Danos à terra provocados pela mineração ...	275
8.2	Liberações rotineiras de usinas termoeletricas	276
8.3	Volume de resíduos da operação de usinas termoeletricas	277
8.4	Descarga térmica provocada por usinas termoeletricas	278
8.5	Acidentes em usinas termoeletricas e hidroeletricas	279
8.6	Acidentes no transporte de materiais radioativos	280

ÍNDICE DAS PÁGINAS

N.º	Título	Página
1.1	Potencial das fontes renováveis teóricas ...	16
1.2	Energia nuclear	17
1.3	Fontes de energia atualmente utilizadas pelo aceler e suas aplicações	19
2.1	Alguns aspectos comparativos das três modali- dades de geração de eletricidade	29
2.2	danos ocupacionais anuais causados por aci- dentes	48
2.3	danos ao público decorrentes do transporte de combustível	48
2.4	riscos ocupacionais de mineração por silício de Moa de eletricidade gerados	50
2.5	Volumes de ar requeridos para a diluição de poluentes de uma usina a carvão	51
2.6	Volumes de diluição de poluentes de usinas Lak	51
2.7	Comparação das curvas dose-resposta (poluen- tes e radionuclídeos) - riscos de saúde pū- blica de efluentes gasosos de usinas de 1000 MWe	54
4.1	Classificação aproximada do carvão americano e brasileiro (leão-sutiá)	97
4.2	Reservas de carvão	105
4.3	Usinas termoeletricas no Brasil	110
4.4	Estimativa anual de efeitos adversos à saúde atribuíveis a aumento de sulfato em suspen- ção na área de Nova Iorque	121
4.5	Estimativa anual de efeitos adversos a saú- de de poluentes à base de enxofre, originā- rios de uma usina de 620Mw	123
4.6	Padrões americanos de qualidade do ar	143
4.7	Padrões de efluentes para usinas termoele- tricas	143

nº	Título	Página
5.1	Características representativas de PWRs	159
5.2	Produtos de fissão de longa vida (LWL de 1.000 MWe)	176
5.3	Liberações permissíveis estimadas para radio-nuclídeos em efluentes líquidos de um rea- tor a água de 1.000 Mw	187
5.4	Estimativas de taxas anuais de dose ao orga- nismo humano nos EUA (1970)	197
6.1	Volume de ar para dispersão de radioativida- de	212
6.2	necessidades anuais de minério e transporte para usinas de 1.000MWe	216
6.3	efluentes resultantes do uso de duas usinas diferentes (1.000MWe)	217
6.4	Comparação do impacto ambiental causado por centrais nucleares e térmicas a carvão (ba- se 1.000MWe)	219
6.5	Doses de radioatividade devidas à combustão de carvão	224
6.6	Riscos a longo prazo de exposição a efluen- tes gasosos	227
6.7	Estimativa de danos anuais ligados à geração de eletricidade por usinas nucleares e a car- vão (base 1.000MWe)	229
7.1	Veículos rodoviários e vagões ferroviários ; acidentes rodoviários e ferroviários - pre- vistas para os anos 2.000, 2.010 e 2020	232
7.2	Número de acidentes rodoviários de extrema severidade nos anos 2.000, 2.010 e 2.020 ...	233
7.3	Riscos e fatalidade em acidentes de usinas termoelétricas e hidroelétricas no Brasil ..	283

1 - Introdução

1.1 Geração de eletricidade no Brasil (hoje, futuro e projeção da demanda).

As reservas energéticas do Brasil, para a produção de eletricidade, apresentam um potencial hidroelétrico firme da ordem de 196.500 MW (médios, para um fator de utilização de 50%, 22 bilhões de toneladas de carvão mineral e 213.000 toneladas de urânio).

As reservas de carvão equivalem a 50 anos do potencial hidroelétrico total e as reservas de urânio a 490 anos desse potencial, pela regeneração do combustível nuclear, ou, suficientes para alimentar 43 usinas tipo PWR de 1.000 MW durante toda sua vida útil⁽⁴⁷⁾.

Há, hoje, uma predominância de mais de 80% das fontes hidroelétricas sobre as termoelétricas. No início da década de 70, iniciou-se a construção das usinas hidroelétricas de São Simão, Ilha Solteira, Água Vermelha, Tucuruí e Itaipú, esta com capacidade prevista de 12600 MW, iniciada em 1973.

A capacidade total instalada no país no final de 1981, considerando-se todas as empresas concessionárias de energia elétrica, era de 37.282 MW, dos quais 31.132 MW hidroelétricos e 6.150 MW* termoelétricos convencionais⁽¹⁰⁾. A distribuição da capacidade instalada por região é mostrada no apêndice desta dissertação.

No momento, está em execução pelas concessionárias um programa de obras que monta a 44.744 MW** de capacidade instalada, sendo 38.098 MW hidroelétricos, dos quais 6.300 MW pertencem ao Paraguai, que é sócio do Brasil em Itaipú, 5.606 MW nucleares*** e 1.040 MW termoelétricas.

* Dados sujeitos à revisão

** Não estão incluídas as usinas de pequeno porte dos sistemas isolados, quer sejam hidroelétricas ou termoelétricas

tricos convencionais.

Os balanços energéticos dos sistemas interligados Norte/Nordeste e Sul/Centroeste/Sudeste, considerando-se as obras programadas até 1990, são apresentados em ilustrações no apêndice.

Os acréscimos necessários de 1991 a 1995, nos sistemas interligados, são relativamente modestos, quando comparados com os recursos energéticos disponíveis e poderão ser obtidos através da combinação adequada do aproveitamento dos mesmos:

- a - Potencial hidroelétrico, do qual restariam ainda 63.000 MW médios (sem contar com os aproveitamentos da margem esquerda do Amazonas);
- b - Carvão da Região Sul, cujo uso dependerá da política de sua utilização para outros fins, especialmente na substituição de derivados de petróleo;
- c - Novas Unidades do Programa Nuclear Brasileiro, que, instalando-se mais seis unidades de 1.245 MWc, correspondem a 4.500 MW médios, admitindo-se um fator de capacidade de 60%.

Em seu planejamento, o setor elétrico vem considerando, há bastante tempo, a substituição de derivados de petróleo por energia elétrica hidráulica quando utilizada sob a forma de força matriz, além de procurar minimizar a utilização daqueles derivados para a geração de energia elétrica. Essa utilização da energia elétrica é prioritária devido à eficiência relativa das transformações consideradas, que a tornam competitiva com combustíveis quando destinada à força matriz.

Para as regiões Sudeste e Centroeste as usinas de Angra II e III, previstas para 1986 e 1987, respectivamente

te, foram consideradas no balanço energético a partir de 1987 e 1989, tendo em vista as dúvidas ainda existentes quanto à sua disponibilidade efetiva, face às dificuldades que vem sendo encontradas em sua construção e na de Angra I, e ainda, por serem as primeiras unidades de 1245 MWe a serem instaladas associadas a um programa de desenvolvimento e introdução de nova tecnologia.

Quanto às considerações referentes a Angra I, II e III, admitiu-se que novas unidades nucleares somente poderiam estar concluídas após 1989, e que, para efeito de atendimento do mercado elétrico, seria recomendável uma margem de um a dois anos de maturação operativa, o que significa considerá-las, para efeito de balanço energético após 1990.

O programa de obras de geração para 1990, acompanhado da relação de usinas que compreende, está mostrado nas páginas do apêndice.

Para o período de 1991 a 1995, excluindo-se os sistemas isolados, os acréscimos necessários totalizam 3.620 MW, sendo que 1.245 MW correspondem à usina nuclear VI, 700 MW a uma usina hidroelétrica e 1.675 MW a cinco usinas termoeletricas convencionais.

Do ponto de vista técnico, a qualidade do serviço de energia elétrica independe do parque gerador, desde que providas as reservas necessárias ao sistema. O mesmo nível de garantia de atendimento pode ser proporcionado por um sistema puramente térmico, por um sistema puramente hidráulico, ou por qualquer combinação entre ambos. Em um sistema térmico, a menor confiabilidade das máquinas é compensada por um nível maior de reserva no sistema. Em um sistema hidroelétrico, a incerteza nas vazões dos rios é compensada pelo efeito regularizador

nos reservatórios, pela interligação elétrica de bacias de regimes diferentes e pela consideração, não das vazões médias, mas das condições hidrológicas mais desfavoráveis.

Assim, o que define a participação dos diversos tipos de fontes primárias de energia na composição do parque gerador de eletricidade, não é um critério puramente técnico, de qualidade de serviço ou risco de não atendimento, mas, a consideração dos benefícios (econômicos, sociais, estratégias etc) e dos respectivos custos das diversas alternativas disponíveis, tornados energeticamente equivalentes.

É possível prever, porém, que o atendimento ao mercado de energia elétrica, no período de 1991/95, far-se-á essencialmente com energia hidroelétrica, complementada com energia nuclear e termoelétrica a carvão, devido ao grande potencial hidroelétrico ainda disponível e a capacidade de pessoal na tecnologia, projeto, construção de obras civis e na fabricação e montagem de equipamentos, já existentes na área de hidroeletricidade.

No que concerne a essa fonte de energia, uma vez concretizado o programa de obras proposto até 1990, existirão ainda disponíveis 63.000 MW médios de potencial hidroelétrico brasileiro. Este total não inclui os aproveitamentos das margem esquerda do Amazonas, que deverão ser destinados ao atendimento do mercado local.

De forma idêntica as páginas no apêndice relacionam os aproveitamentos até 1990 e as disponibilidades de potencial hidroelétrico brasileiro após esse ano e, inclusive, um quadro com as principais usinas disponíveis para o período de 1991/95.

Conclue-se que, mesmo não incluindo as térmicas a carvão, os aproveitamentos hidroelétricos nacionais já estudados e com capacidade instalada superior a 100 MW (21.870 MW médios), adicionados aos aproveitamentos hidronacionais do Rio Uruguais (1.500 MW médios) e aos 4500 MW médios de seis novas unidades nucleares, perfazem um total de 27.870 MW médios de energia firme, que equivale a instalação de 84 centrais de capacidade geradora da ordem de 50.000 MW, portanto quase o dobro das necessidades no período (1991 a 1995).

Caso se considere as hidroelétricas de qualquer porte já inventariadas, mais as nucleares, esses valores sobem a 31.562 MW médios e 56.000 MW, respectivamente.

Além desse potencial já levantado adequadamente, é importante ressaltar a existência de mais de 37.500 MW médios ao Sul do Rio Amazonas em potenciais hidroelétricos que deverão ainda ser inventariados e que poderão se tornar, eventualmente, interessantes para aproveitamento antes de 1995.

Para o período entre 1996 a 2000, verifica-se a necessidade de acrescentar um total de 15.166 MW, assim distribuídos: 11.651 MW hidroelétricos, 900 MW termoelétricos convencionais, ou seja, as quatro usinas restantes do programa atual, e 2.615 MW nucleares, correspondentes às usinas VII, VIII e IX previstas no Acordo Nuclear Brasil-Alemanha.

Diante desse quadro a Eletrobrás elaborou três alternativas, procurando incorporar hipóteses para a programação das usinas, que são:

- 1 - Baseada no critério econômico, da seguinte forma : até 1992, a expansão do sistema se daria unicamente com hidroelétricas; de 1993 a 2000, a expansão

CAPACIDADE INSTALADA NO PERÍODO DE 1985-2020 (MWe)

	Nuclear	Carvão	Hidro
1985	626	1.120	59.760
1990	1.871	1.720	59.984
1995	5.576	3.465	60.684
2000	8.066	4.805	72.335
2005	13.555	6.298	101.457
2010	14.895	8.835	142.293
2015	20.765	12.389	199.575
2020	29.124	17.376	279.901

Obs: Para as usinas termoeletricas a carvão e as hidroelétricas, a partir do ano 2000, e para as nucleares, a partir de 2005, adotamos uma taxa de crescimento de energia elétrica no valor de 7% A.A.

Ref: Plano 2000 ELÉTROBRÁS

Elaboração: ELETROBRÁS

prossequiria basicamente com hidroelétricas, incluindo-se o aproveitamento do carvão da região sul para atendimento desta região;

- 2 - Leva em conta o custo de energia, a continuidade dos programas hidroelétricos e nuclear e as repercussões financeiras nas empresas;
- 3 - Incorpora o programa nuclear, referente às unidades do acordo Brasil-Alemanha Federal, ou seja, uma unidade de 1.245 MW por ano e a partir de 1987, totalizando 17 unidades nucleares no ano 2000, com 20.546 MW.

1.2 O Papel da Hidroeletricidade

A produção de energia hidroelétrica no mundo tem aumentado constantemente durante o século XX, e deverá continuar a aumentar, embora mais lentamente, até o ano 2000. A maior parte do aumento da produção deverá ocorrer nos países em desenvolvimento. Esses países são responsáveis por 44% do potencial hidroelétrico do mundo, mas apenas por 4% da produção. O desenvolvimento da indústria hidroelétrica, contudo, é limitado pela localização remota dos rios aproveitáveis, pelos longos prazos necessários para construção de usinas e por problemas ambientais. Assim, as estimativas de crescimento futuro tendem a ser conservadoras.⁽⁶¹⁾

A expansão da hidroeletricidade nos países desenvolvidos - que atualmente são responsáveis por 80% da capacidade hidroelétrica do mundo não comunista - será menor do que nos países menos desenvolvidos, porque os locais mais favoráveis à construção de represas já estão aproveitados. Problemas ambientais poderão impedir que os locais favoráveis que restam sejam utilizados.

No Brasil, a energia hidráulica é preponderantemente u-

utilizada para a geração de energia elétrica. Numa tendência inversa à observada na maioria dos países, cujos potenciais hidráulicos já estão quase todos esgotados, a participação do componente hidráulico da geração elétrica nacional vem apresentando considerável aumento no balanço energético.

No período de 1967 a 1977, a taxa média de crescimento da energia hidroelétrica no Brasil foi de 12,3% por ano, embora com crescimento médio anual menor que o verificado no passado. A energia hidráulica deverá apresentar no próximo decênio uma evolução, com uma taxa média de 9,3% por ano, taxa ainda mais elevada que a prevista para a demanda global de energia primária (6,2%/ano).

Com uma potência hidroelétrica instalada de 31.132 MW num total geral de 37.282 MW (31.12.81) e tendo em construção outros 23.541 MW, restam ainda 76% do potencial a ser instalado, que soma 213.000 MW. Para tanto, o País dispõe de infra-estrutura básica necessária própria, dando-nos uma quase completa independência, a menos da importação de limitados insumos em materiais e equipamentos. Para a viabilização e otimização produtiva deste enorme sistema dependemos do desenvolvimento paralelo dos sistemas de transmissão a longa distância e da execução de usinas reversíveis, programas que implicam no desenvolvimento e aquisição de tecnologias complementares. (6)

Nessas condições, é obvio que deve ser dada prioridade primeira e imediata ao aumento da geração hidroelétrica, superior mesmo às projeções com base no crescimento histórico, pelas seguintes razões:

- criar condições para a substituição e mesmo o excesso de oferta, para o incentivo e fixação de indústrias;

- a energia hidráulica, além do grande potencial disponível, é perenemente renovável sem necessitar insumos energéticos básicos para sua produção;
- é barata e pode ser implantada com materiais e mão de obra nacionais, além de assegurar uma produção de eletricidade estável e confiável;
- o potencial, com exceção de algumas regiões, é suficiente para atender as necessidades nacionais além do ano 2000.

1.3 O Papel da Carboeletricidade

A história do mundo industrial está baseada no carvão (os chineses já o empregavam em 1.000 AC). A extração e utilização do carvão pelo homem tem sido registradas ao longo dos últimos 3.000 anos. A sua utilização como combustível industrial começou na Inglaterra nos séculos XVII e XVIII, quando a indústria do ferro, experimentando uma escassez de carvão vegetal (obtido de lenha), experimentou o carvão (mineral) para coque, simultaneamente como combustível e agente redutor para altos-fornos. A Associação do carvão com o ferro foi um importante estímulo para a revolução industrial, e as máquinas feitas com o ferro e alimentadas por termo elétricas a carvão tornaram-se a base de um novo meio de vida. ⁽⁴²⁾

Durante o século XIX, o carvão se apresentou como a fonte básica de combustível mais importante para o progresso industrial na Inglaterra e, assim, os EUA e a Europa Ocidental também se tornaram industrializados. No século XX, o carvão passou a ter a sua privilegiada condição repartida com o petróleo nos países industriais mais avançados, particularmente nos EUA onde os re cursos naturais de petróleo eram disponíveis. Nesses países, a indústria do carvão sofreu um declínio, tan-

to em produção quanto em cotação no mercado.

O carvão tem na geração de eletricidade a sua mais relevante utilização e, embora competindo com o petróleo, a sua produção tem aumentado uniformemente. Com a "crise do petróleo" e após 50 anos de esquecimento, volta a assumir o seu importante papel como recurso energético da humanidade e, particularmente, do Brasil.⁽²²⁾

O aproveitamento do potencial do carvão dependerá, entretanto, do reconhecimento da necessidade do seu uso. Os países consumidores de energia terão que adotar medidas necessárias para tornar possíveis este uso. O aproveitamento do potencial do carvão também exige políticas favoráveis nas nações produtoras, o desenvolvimento de sistemas de transportes (inclusive instalações portuárias em águas profundas) e a solução dos problemas ambientais associados à mineração e queima do carvão⁽⁶¹⁾.

Pela necessidade de traçar um verdadeiro modelo energético a médio e longo prazos, o governo federal definiu a política do aproveitamento do carvão como alternativa energética. Nesse sentido, o Ministério das Minas e Energia adotará as providências necessárias para:

- substituir o uso do óleo combustível pela utilização direta do carvão natural ou gaseificado.
- conjugar as atividades de pesquisa, mineração e beneficiamento, transporte, distribuição, bem como aproveitamento integral do carvão, para fins siderúrgicos e/ou energéticos.

O Ministério das Minas e Energia estabeleceu, em 1980, um programa para construção de usinas térmicas convencionais a carvão, com a conseqüente criação de dois po

los de desenvolvimento de tecnologia e infraestrutura industrial, sendo um em Candiota, no Rio Grande do Sul, com apoio francês, e outro em Tubarão, em Santa Catarina, com apoio da Tchecoslováquia.⁽⁵²⁾

Segundo este programa, os dois polos permitirão, a partir de 1981, a construção, a cada dois anos, de duas unidades de 300 MWe, que serão instaladas naqueles Estados, num total de 3 mil MWe de geração térmica a carvão, embora os locais de instalação das novas usinas não tenham ainda sido definidos pelo Ministério.

A falta de um programa nacional para a construção de usinas térmicas convencionais a carvão vinha desestimulando o desenvolvimento de uma capacidade técnica nacional, para a produção de unidades que serão necessárias nos próximos anos. Segundo estudos preliminares, o aproveitamento de 1/3 das reservas conhecidas no Sul do País permitirá a instalação de 80 mil MWe de geração a carvão, sendo que, atualmente, contamos com apenas 750 MWe instalados naquela região.

O programa para a construção de usinas termelétricas a carvão, dentre os benefícios que trará ao País, incluirá segurança e suprimento de energia elétrica às regiões Sul e Sudeste e aproveitamento dos saldos da balança comercial com a França e a Tchecoslováquia na suplementação de recursos para o setor elétrico e desenvolvimento conjunto com o programa nuclear para a fabricação de turbinas a vapor.

No programa governamental está previsto que o carvão nacional contribuirá, até o ano de 1985, com uma oferta adicional correspondente a 170 mil barris equivalentes de petróleo por dia, o que exigirá um acréscimo na produção de 22,5 milhões de toneladas até aquela data.

Foi descoberta uma nova reserva de carvão no Rio Grande do Sul, cujo teor de cinzas atinge 18%, e que se estende até quase a plataforma continental.⁽³²⁾ Este programa, superdimensionado, foi posteriormente revisto e prevê-se uma produção da ordem de 14 milhões de ton/ano, atualmente.

O alto teor de cinzas do carvão encontrado em nossas jazidas acarreta um transporte inútil de material inerte, representando até cerca de metade da parcela realmente combustível. Por esta razão, é recomendável, como solução mais eficiente, a sua utilização junto das jazidas, na produção de:

- Termoeletricidade
- Gás de carvão
- Metanol⁽⁶⁾

1.4 O Papel da Nucleoeletricidade

Em 1974, com o advento da crise energética, a maioria dos países da Europa havia iniciado ambiciosos programas para expandir seus sistemas de energia elétrica com o auxílio de usinas nucleares de grande porte. Esses programas de expansão partiam do pressuposto de que: 1) o consumo de energia elétrica poderia e deveria aumentar mais rapidamente que o de outras formas de energia; 2) as usinas nucleares eram seguras e poderiam produzir energia elétrica por um custo menor do que as usinas alimentadas com petróleo, gás ou carvão; 3) o uso da energia nuclear tornaria o País menos dependente da importação de combustíveis tradicionais e, ao produzir eletricidade, liberaria petróleo para outros fins e também, no futuro, o carvão.⁽⁶¹⁾

Até junho de 1982 existiam no mundo 265 reatores em operação, perfazendo uma capacidade elétrica nuclear de

155.905 MWe. Somando-se agora os valores das usinas em construção, São ao todo 518 reatores totalizando 392.391 MWe, quase 11 vezes a potência instalada no Brasil (37.282 MWe ao fim de 1981). Os novos programas - reatores encomendados e planejados - atingem 60 reatores e 49.538 MWe⁽⁶²⁾.

1.4.1 O Programa Nuclear Brasileiro

Com o estabelecimento do acordo Brasil-Alemanha para um programa nuclear mais abrangente, essa alternativa energética ganhou condições concretas de exercer um papel importante no mercado nacional de eletricidade. O programa nuclear brasileiro foi formulado como um meio de fornecer ao país os recursos energéticos alternativos, a curto e longo prazos, para apoiar o seu desenvolvimento econômico planejado.⁽⁵⁸⁾ No início, irá complementar o sistema hidroelétrico, mas eventualmente fornecerá a base de geração de eletricidade no futuro.

Estratégia para Estabelecimento do Programa Nuclear

A Estratégia adotada na definição e estabelecimento do programa nuclear teve como objetivo atingir a independência de fontes estrangeiras dentro do menor tempo prático. Como consequência de tal objetivo, os seguintes programas foram formulados:

- 1 - Identificação, em curto prazo, de reservas de urânio em quantidades tais que possam assegurar a implantação do programa.
- 2 - Estabelecer a indústria completa do ciclo do combustível.
- 3 - Aumentar e completar a participação das firmas de engenharia e da indústria mediante o estabelecimento de um cronograma a ser seguido.
- 4 - Completar a transferência de tecnologia nuclear, incluindo-se a engenharia nuclear e construção, pro-

jeto e fabricação de componentes pesados e tecnologia do ciclo do combustível.

- 5 - Definir um programa de crescimento coerente com os objetivos descritos nos itens anteriores (2,3 e 4).

A Companhia Nuclebrás (Empresas Nucleares S/A) foi estabelecida com o propósito de implementar o Programa Nuclear.

Implementação da Transferência de Tecnologia

As seguintes subsidiárias da Nuclebrás foram estabelecidas para gerir os processos de transferência de tecnologia.

Para Engenharia e Projeto de Usinas Nucleares

NUCLEN - Nuclebrás Engenharia S/A, Companhia responsável pela área de engenharia (fundação e construção) e projeto de usinas nucleares, bem como licenciamento, assistência técnica e treinamento.

Para fabricação de Elementos Pesados

NUCLEP - Nuclebrás Equipamentos Pesados S/A, Companhia responsável pela fabricação de equipamentos pesados para o sistema nuclear de suprimento de vapor. A instalação terá inicialmente capacidade de uma unidade por ano, mas depois será gradualmente expandida para 2 ou 3, e finalmente para 5 unidades por ano.

Para Enriquecimento do Urânio

NUCLEF - Nuclebrás Enriquecimento Isotópico S/A, Companhia encarregada de construção e operação da usina de enriquecimento. Essa usina, projetada para 200 tUTS/ano,

funcionará com o processo jato centrífugo e se situa em Resende (RJ).

Para o Projeto e Fabricação de Elementos Combustíveis

A NUCLEBRÁS está construindo uma usina para fabricação de elementos combustíveis. Esta usina assumirá gradualmente a responsabilidade pelos diferentes passos de fabricação: produção de pastilhas combustíveis, fabricação de componentes e montagem etc.

Para o Reprocessamento

A NUCLEBRÁS estabeleceu um contato de Assistência técnica com as firmas KEWA e URIDE cobrindo a área de reprocessamento e armazenamento de resíduos e execução de projeto básico de uma usina de reprocessamento.

Para a Produção de Concentrados de Urânio

Com a Assistência Técnica de uma firma francesa, PECHINEY UGINE KUHLMANN, a NUCLEBRÁS construiu uma usina de beneficiamento de Urânio natural ao lado da mina de Poços de Caldas.

Para Operação de Usinas Nucleares

A NUCLEBRÁS implantou um centro de treinamento para operadores de usinas nucleares. Este centro inclui um simulador para usinas tipo Angra II (1245 MWe), considerado como um dos mais modernos simuladores de usinas.

O prazo de implementação do Programa Nuclear Brasileiro foi ampliado em 1982, prevendo-se a instalação de oito usinas até o ano 2000, e das indústrias do ciclo completo do combustível nuclear, incluindo-se o enriqueci-

mento e o reprocessamento do urânio. (47)

A primeira usina nuclear, Angra I, adquirida da Westinghouse no começo da década de 70, localizada em Angra dos Reis, iniciou sua operação em 1982. Também serão instaladas em suas proximidades as usinas Angra II e III. Estão definidas, também, a construção de mais duas usinas que serão implantadas em Iguape, no litoral do Estado de São Paulo.

1.5 Energia, Ambiente e Saúde Pública

1.5.1 Energia

Toda energia disponível sobre a Terra provém de quatro fontes distintas:

1. Energia Solar
2. Energia Geotérmica
3. Energia Gravitacional ou das Marés
4. Energia Nuclear

A energia solar é de longe a fonte dominante, representando 99,98% do total. Derivam dela, direta ou indiretamente, as fontes renováveis de energia como energia hidroelétrica e produtos de fotossíntese, e as não-renováveis como petróleo, carvão, gás natural e xisto⁽²⁵⁾.

Tabela 1.1

POTENCIAL DAS FONTES RENOVÁVEIS TEÓRICAS (25)	
(em unidades de 10^{12} WATTS)	
Energia Solar	
Energia solar direta na superfície da Terra.....	28.000
Ciclo Hidrológico (incluindo calor das águas e na calota polar).....	40.000
Convecção na Atmosfera, nos oceanos e correntes oceânicas.....	370
Fotossíntese.....	40
SUB-TOTAL.....	68.410
Energia Não Solar	
Energia Geotérmica.....	32
Marés.....	3
SUB-TOTAL.....	35

A Energia Geotérmica é proveniente da reserva de calor existente no interior da Terra que se origina da radioatividade natural do urânio e tório; ela se manifesta na convecção de material sólido, líquido ou gasoso das erupções vulcânicas e nas fontes de vapor e água quente ("GEYSERS") existentes em várias partes do mundo. O fluxo de energia geotérmica através da superfície da Terra representa 0,002% do total da energia disponível nesta superfície.

A Energia das Marés é devida ao efeito gravitacional da Lua e do Sol sobre a água dos oceanos; ela corresponde a 0,02% do total.

A Energia Nuclear tem origem nos núcleos de certos átomos como urânio e tório que, ao se transformarem sob certas condições, libertam grandes quantidades de energia.

As quantidades de energia, das fontes renováveis aqui apresentadas, são extraordinariamente elevadas, mas representam apenas disponibilidade potencial. Em sua maioria, esta energia é utilizada naturalmente ou é anti-econômica. O potencial teórico disponível da energia nuclear é mostrado na Tabela 1.2 abaixo:

Tabela 1.2

ENERGIA NUCLEAR (NÃO RENOVÁVEL) (25) (em unidades de 10^{12} kWh)	
Reatores dos tipos atuais	3.000
Reatores do tipo "BREEDER"	300.000
Fusão Nuclear	300.000.000.000

FONTES DE ENERGIA CONVENCIONAIS, NÃO-CONVENCIONAIS E EXÓTICAS

Por fontes convencionais entende-se aquelas cuja tecnologia está completamente desenvolvida a custos considerados aceitáveis pelos padrões atuais de consumo. Incluem-se nesta categoria as fontes que utilizamos atualmente, e que são:

1. Carvão (Fóssil)
2. Petróleo (Fóssil)
3. Gás Natural (Fóssil)
4. Energia Hidroelétrica (Renovável)
5. Fotossíntese (Renovável)

Como fontes não-convencionais entendem-se aquelas cuja tecnologia já está demonstrada mas que ainda apresentam problemas de aceitação na sociedade moderna, quer por razões econômicas, quer por incompatibilidade com os padrões de consumo vigentes.

6. Marés (Renovável)
7. Ventos (Renovável)
8. Xisto Pirobetuminoso (Fóssil)
9. Geotérmica (Renovável)
10. Fissão Nuclear
11. Energia Solar (Renovável)

E, por fim, fontes exóticas são aquelas cuja tecnologia não está demonstrada e por conseguinte os custos e sua aceitação pela sociedade não podem ainda ser avaliadas adequadamente:

12. Calor dos Oceanos (Renovável)
13. Reatores Nucleares Regeneradores
14. Fusão Nuclear

FONTES DE ENERGIA ATUALMENTE UTILIZADAS PELO HOMEM E SUAS
APLICAÇÕES

Tradicionalmente consideram-se energia primária as principais fontes convencionais em sua forma natural, utilizadas em escala industrial: os combustíveis fósseis, a energia hidráulica, a energia nuclear, e também outras formas tais como a energia solar, marés, ventos etc. Essas fontes de energia são, entretanto, habitualmente comercializadas sob forma de energia secundária, resultante da transformação ou tratamento de uma fonte primária a fim de facilitar seu transporte ou utilização. (40)

TIPO		FORMA DE ENERGIA PRIMÁRIA	PRODUTOS ENERGÉTICOS SECUNDÁRIOS
COMBUSTÍVEIS	SÓLIDOS	Antracita Bulha Linhita Xisto Pirobetuminoso Lenha e Resíduos Vegetais	Coque, Briquetes, Aglomerados, gás de coqueria, óleos, gases, eletricidade, Lenha ETC
	LÍQUIDOS	Petróleo	Derivados de Petróleo e Eletricidade
	GASOSOS	Gás Natural	Gás e Eletricidade
ENERGIA HIDRÁULICA		Potencial Elétrico	Eletricidade
ENERGIA NUCLEAR		Urânio (Tório)	Eletricidade e Calor
OUTRAS		Energia Solar Geotérmica Eólica Marés	Eletricidade, Calor Eletricidade, Calor Eletricidade, Energia Mec. Eletricidade

Tabela 1.3 - Fontes de Energia Atualmente utilizados pelo homem e suas aplicações (40)

1.5.2 Ambiente

O meio ambiente é o mundo em que vivemos - nosso ar, água e terra; nossa vida vegetal, de bactérias a florestas; e nossa vida animal, de protozários a peixes e mamíferos. As partes componentes do meio ambiente são dependentes umas das outras para a manutenção da vida. Se qualquer parte essencial é removida, o ciclo vital morre⁽⁵⁾.

O problema ambiental mais sério está no processo de utilização de calor durante conversão de energia sem efeitos adversos. Parece apropriado considerar primeiro como ocorre a poluição e o dano do ambiente pela intervenção do homem.

Poluição ambiental, por definição, é qualquer alteração que pode: a) prejudicar a saúde e o bem estar da população; b) criar condições adversas às atividades sociais e econômicas; c) ocasionar danos à fauna, flora e quaisquer recursos naturais e d) causar danos ao acervo cultural, histórico e paisagístico.⁽³⁹⁾

O aumento da população e a crescente atividade industrial têm contribuído para aumentar os poluentes superando a própria capacidade de purificar da natureza.

Existem praticamente todos os tipos de problemas ambientais na produção, transporte e utilização de energia. Os maiores impactos ambientais são: a) a poluição do ar: SO_x , NO_x , material particulado e CO_2 ; b) efeitos térmicos: aumento das temperaturas da água pelo refrigerante de usinas térmicas; c) outros: ~~uso da terra e espaço e consequências estéticas.~~
MILITARIA

Muitos dos efeitos adversos ao ambiente são cumulativos. Por exemplo, existe um problema resultante do constan-

te aumento da combustão de materiais hidrocarbônicos, o que provoca liberação de CO_2 para a atmosfera, podendo desenvolver uma camada de CO_2 na estratosfera que diminuiria a quantidade de radiação sobre-refletida para o espaço e desordenaria o balanço energético do planeta.

Não obstante, é crescente a preocupação com a possibilidade de acidentes catastróficos em reatores nucleares, e com problemas sanitários e ambientais dos resíduos nucleares e do plutônio. Apenas recentemente é que muitos problemas ambientais têm sido identificados. Por exemplo, o reconhecimento da importância para a vida aquática de mudanças na temperatura de lagos e córregos é uma descoberta relativamente nova. (5)

Esses riscos existem, mas, segundo um trabalho, publicado pelo grupo de estudos da política de energia nuclear dos EUA, os riscos e custos sociais da energia nuclear devem ser comparados com os do carvão que é a principal fonte de energia alternativa para a obtenção de energia elétrica neste século. Os possíveis custos sociais dessas duas fontes de energia envolvem efeitos sanitários tão diversos quanto a morte imediata ou retardada, efeitos genéticos, doenças, alterações climáticas, mal usos do solo etc.

Os efeitos da deterioração ambiental provocada pela produção e utilização de energia pode ser classificada em duas categorias principais:

- 1 - Efeitos locais, que podem ser controlados por um certo custo adotando-se uma tecnologia apropriada, sendo que este custo pode ser incluído no preço do produto ou serviço;
- 2 - Efeitos regionais ou locais, que são muito difíce

is ou impossíveis de controlar.

Os efeitos locais incluem, entre outros, a poluição da água, causada pelas atividades de mineração, pelo transporte de combustíveis e pelas emissões de calor das usinas de energia elétrica, e a poluição do ar, resultado dos produtos da combustão do carvão (tais como partículas, compostos de enxofre e óxidos de nitrogênio).

Um efeito global do uso de energia que é motivo de preocupação é o acúmulo de CO_2 na atmosfera como resultado da queima de combustíveis fósseis e conseqüente retenção de calor na superfície da terra - o chamado efeito "GREENHOUSE" (estufa). Por outro lado, a presença de partículas na atmosfera pode afetar o clima no sentido inverso.

Por ~~outro lado~~ ^{com a} ~~resposta~~ ^{visão} a construção de grandes usinas hidroelétricas provocam alterações climáticas resultantes da maior evaporação causada pelas superfícies das águas represadas. Essas alterações levam a acomodações lentas do meio ambiente, a novas situações ecológicas que podem afetar inclusive a agricultura e a biota nas regiões circunvizinhas às represas.

O conhecimento a respeito de quase todos esses efeitos regionais e globais da energia sobre o ambiente ainda são bastante limitados. O problema é agravado pela grande dificuldade em separar os efeitos ambientais das causas naturais e pela dificuldade em determinar a natureza exata dos processos químicos e físicos envolvidos que permitiria identificar causas e prever melhor as suas conseqüências. (61)

1.5.3 Saúde Pública

Se não bastassem os efeitos da extração e processamen-

to do combustível relacionados com o uso da terra, como subsidência, drenagem, incêndios e degradação da paisagem, substâncias tóxicas e radioativas são eventualmente descarregadas ao meio ambiente modificando o nível de corpos hídricos e prejudicando conseqüentemente a fauna e a flora da região além da possibilidade de causar uma contaminação nas circunvizinhanças das minas. (12)

Os mineiros de carvão e urânio estão sujeitos a contrair determinadas doenças em decorrência de suas atividades nas minas.

A doença mais importante entre os mineiros de carvão é a pneumoconiose ou "pulmão preto". Os mineiros de urânio, por sua vez, estão expostos a um risco adicional de câncer pulmonar devido principalmente à inalação do gás radônio em atmosferas de minas subterrâneas onde a ventilação é inadequada.

A operação de centrais térmicas a carvão e nucleares está associada a impactos ambientais que se originam de três fontes principais que são as emissões radioativas, as emissões de poluentes químicos e a descarga térmica.

O impacto radiológico causado por emissões radioativas se traduz principalmente nos danos que estas emissões possam causar ao homem. Desde as primeiras explosões nucleares muito se tem pesquisado e estudado sobre os efeitos da radiação no ser humano. Entre estes efeitos, os que mais têm preocupado a comunidade científica mundial são os chamados efeitos estocásticos cuja probabilidade, e não gravidade, é função da dose de radiação recebida. A carcinogênese e os efeitos hereditários são

efeitos estocásticos. Estimativas de risco de câncer têm sido baseadas grandemente em dados obtidos dos sobreviventes de Hiroshima e Nagasaki e de pacientes tratados com radiação. Estes dados entretanto foram obtidos para o caso de altas doses de radiação.

Uma central nuclear, ao contrário de uma a carvão, não emite poluentes químicos durante sua operação. Alguns dos efluentes mais importantes emitidos por uma central a carvão são SO_2 , NO_x , CO, CO_2 , Hidrocarbonetos e Aerossóis consistindo principalmente de complexos de carbono, silício e ferro.

Embora não seja possível, atualmente, quantificar o impacto causado por esse tipo de poluição, sabe-se que substâncias como SO_2 , NO_2 , CO, Ozônio e Aerossóis Ácidos são as que mais afetam a saúde humana.

Por outro lado, o reprocessamento do combustível nuclear irradiado é uma etapa bastante delicada do ciclo. Ela envolve o manuseio de grandes quantidades de substâncias radioativas que representam um perigo potencial de contaminação.

Dos elementos voláteis liberados, o Kr-85 e o trítio (H_3) são os que mais contribuem para a exposição de pessoas. Estudos realizados sobre o assunto concluíram que o tipo de exposição crítica para esses elementos é a exposição em escala global da população mundial.

As usinas hidroelétricas podem causar o desbalanceamento da biota junto às represas de águas modificando as condições sanitárias das circunvizinhanças. As linhas de transmissão também guardam o potencial de influir no grau de ionização do ambiente ao longo dessas linhas com possíveis efeitos na saúde pública.

Traçadas essas considerações iniciais sobre os principais problemas associados aos ciclos do carvão e nuclear, os capítulos seguintes vão analisar os impactos ambientais dessas modalidades de geração de eletricidade, além de comparar os riscos à saúde pública decorrentes da utilização dessas fontes de energia, inclusive os problemas provocados pela construção de usinas hidroelétricas.

Com a finalidade de proporcionar um melhor entendimento da matéria exnosta ao longo dos capítulos deste trabalho, encontra-se em apêndice um glossário de expressões e termos técnicos normalmente empregados em literatura deste gênero.

1.6 Objetivos da Dissertação

Trata-se de analisar os impactos ambientais das três modalidades de geração de eletricidade, via nuclear, hidráulica e carvão, além de comparar os riscos à saúde pública dessas modalidades.

O estudo abrangerá os principais aspectos da geração de energia via as três alternativas:

- a) Reator nuclear e ciclo do combustível nuclear
- b) Usina termoeétrica a carvão mineral e a indústria carbonífera correlata
- c) Construção da represa e usina hidroelétrica

Essas três modalidades são as mais relevantes para o programa nacional de geração elétrica. Após uma análise comparativa específica, a saber, consequências por KWh gerado, uma avaliação geral será feita para o caso brasileiro até o ano 2020, extrapolando-se previsões da demanda de eletricidade até aquele ano.

As conseqüências, tanto para a saúde pública como para o ambiente, serão baseadas em dados americanos, pela óbvia inexistência de dados no Brasil para o caso nuclear. Para o caso da carboeletricidade, também, baseou-se acentuadamente em dados americanos, tendo em vista a pequena produção de carvão nacional (5 milhões de ton/a, total) atualmente, mesmo com o crescimento da demanda futura (14 milhões de ton/a, em 1985) e a grande experiência já acumulada nos EUA (800 milhões de ton/a, em 1980).

Quanto à hidroeletricidade, a sua construção exige elevada utilização de mão de obra e, no seu aproveitamento, a imensa massa hídrica afeta o ambiente terreno e a meteorologia local. Neste caso fez-se um levantamento de dados no Brasil, mormente junto à CESP, para sua comparação com os dois métodos sucedâneos de produção de eletricidade.

O objetivo final não foi o de estabelecer uma comparação absoluta entre os sucedâneos com o fito de desaconselhar alternativas, pois, em todo o caso, todas as três modalidades são complementares entre si e desempenharão importante papel na geração de eletricidade no Brasil até o final do século. O estudo, no entanto, fazendo uma avaliação do caso brasileiro, poderá vir a apontar os pontos fracos desses sistemas, sob o ponto de vista de saúde pública e de impacto ambiental, que deverão ser levados em conta no planejamento elétrico do País.

II Metodologia

2.1 Metodologia Geral

Devemos ressaltar de antemão que, na época da preparação deste trabalho, não encontramos estudos comparativos entre usinas hidroelétricas, termoelétricas a carvão e nucleares, com seus respectivos riscos, que nos servisse de referência para orientar na formulação desta metodologia.

→ Por outro lado, existem diversos estudos relacionando os problemas ocasionados por usinas nucleares e termoelétricas, visto que esses dois processos de geração de eletricidade têm muitos aspectos em comum:

- Ambas as modalidades são termoelétricas, isto é, produzem eletricidade mediante a queima de carvão ou urânio, em caldeiras ou vasos de pressão, respectivamente. O restante do processo é semelhante para os dois casos: o sistema secundário é constituído por tubulações de vapor, turbinas de alta rotação (1800 ou 3600 rpm), condensador e bombas de recirculação, além de chaminés para o escoamento dos efluentes da combustão (calor residual) e torres de refrigeração para dissipar o calor rejeitado pelo condensador, localizadas exteriormente ao edifício da usina. A pressão de vapor é alta em ambos os casos (1000-2500 psi). E a temperatura do vapor produzido varia entre 300°C (nuclear) e 750°C (termoelétricas a carvão).

- No processo hidroelétrico, a pressão d'água é baixa em virtude da altura das quedas d'água (da ordem de 50m), as turbinas são de baixa rotação e a temperatura da água é igual à do ambiente. Não há queima de combustível. Portanto, não há condensadores, trocadores de calor, chaminés e tampouco torres de refrigeração.

Dado que os processos termoelétricos produzem calor, logo há possibilidade de poluição térmica (que não existe no caso hidroelétrico) e de poluição atmosférica, pois tanto a combustão de carvão como a de urânio deixam resíduos (óxidos de enxofre e de nitrogênio, CO_2 , material particulado e produtos radioativos), o que não ocorre no processo hidroelétrico.

Todavia, as hidroelétricas afetam a grande massa de água local e, conseqüentemente, a atmosfera ambiente e a biota. No entanto, neste caso, a produção de resíduos é desprezível.

A tabela 2.1 relaciona as diferenças fundamentais entre esses três tipos de usina (termonuclear, termoelétrica a carvão e hidroelétrica) e seus efluentes.

Assim, as diferenças são tais que não existe ponto de intersecção física comparativa entre os universos ecológicos das fontes térmicas (usinas nucleares e usinas a carvão) e fonte hidráulica. Entre as térmicas, sim, as fontes térmicas são comparáveis diretamente, pois a sua área de intersecção é grande, possibilitando uma avaliação quantitativa de seus parâmetros.

Então, como avaliar os diferentes riscos inerentes a essas três fontes de energia?

→ Visto que o único ponto comum às três é o ambiente (o meio ambiente, a biota e o homem), a solução é avaliar as suas últimas conseqüências, ou melhor, as alterações que promovem na água, no ar, no solo e na biota, e, também, os riscos à saúde pública.

Portanto, a comparação entre fontes térmicas e hidráulicas só pode ser qualitativa, pois afetam o ambiente de maneira totalmente diversa, exceto em termos de riscos à

população envolvida, que podem ser quantificados.

Adotaremos o seguinte procedimento: análise direta e quantitativa da comparação entre as usinas termoelétricas (nuclear e a carvão) e análise qualitativa das usinas hidroelétricas nas comparações com as termoelétricas, ambos para o caso brasileiro.

No Brasil, haverá grande predominância de hidroelétricas, pelo menos até o período 2000-2020. Mesmo apresentando um efeito mais suave, unitariamente, a predominância das usinas hidroelétricas dar-se-á de tal forma que as consequências somadas serão substanciais no meio ambiente, principalmente na biota.

Nos capítulos III, IV e V, comenta-se as três modalidades, distintamente.

No capítulo VI, faz-se a análise comparativa dos três casos.

No capítulo VII, análise das três modalidades aplicada ao caso brasileiro, conclusões e recomendações.

Tabela 2.1 - Alguns aspectos comparativos das três modalidades de geração de eletricidade

USINA PARÂMETRO	NUCLEAR	A CARVÃO	HIDRO
Temperatura do Fluido de Trabalho	300°C	300-750°C	AMBIENTE
Pressão do Fluido de Trabalho	1000-2500psi	1000-2500psi	50m de coluna d'água
Rotação da Turbina	1800 rpm	1800-3600rpm	60-120rpm
Efluentes Residuais	-Aprox.68% do calor gerado -Substâncias Radioativas	-Aprox.60% do calor gerado -Produtos de Combustão	Desprezíveis
Probabilidade Anual de acidentes sérios/ MWe	10^{-8} - 10^{-9}	3×10^{-8}	10^{-6} - 10^{-7}

2.2 Principais Fatores para Nuclear versus Carvão

- Com base nesses estudos, podemos formular uma metodologia para comparar os riscos à saúde e os impactos ambientais associados a esses dois processos de geração termelétrica, nuclear e a carvão.

A comparação entre os riscos e impactos resultantes da operação desses dois tipos de usinas termelétricas demanda, inicialmente, um completo conhecimento do ecossistema local. Este conhecimento abrange a determinação das condições geográficas e topográficas do local; a determinação da radioatividade ambiental de fundo, de natureza química e biológica; a determinação das condições hidrológicas, que permitem conhecer a drenagem e a existência e direção dos corpos hídricos; e as condições meteorológicas, que permitem conhecer a temperatura dos corpos hídricos (lagos, rios ou estuários), possibilitando determinar a carta térmica das várias estações do ano.

Todos esses dados ambientais devem ser devidamente coletados ao longo do sítio da usina (nuclear ou termelétrica a carvão) por um período de três anos antes de sua operação e inclusive durante o seu funcionamento normal.

Parâmetros como um vale ou uma região cercada de montanhas, uma inversão térmica e uma dispersão atmosférica (considerando-se a disposição do vento e a temperatura), e uma descarga de calor residual estabelecem, respectivamente, as condições geográficas e topográficas, as condições meteorológicas e as condições hidrológicas do local estudado.

- Quanto aos impactos ambientais, eles podem ser caracterizados por áreas de terra devastadas pela mineração do u-

rânio e do carvão (em hectares) em casos de subsidência, drenagem ácida e degradação da paisagem (resultante da estocagem de rejeitos); efluentes gasosos e radioatividade de liberados no ambiente (poluição atmosférica), ionização atmosférica e consequentes efeitos climáticos causados pela liberação e reconcentração da radioatividade no ambiente (Kr-85, xenônio, trítio, iodo e C-14), com a posterior contaminação de colheitas, pastagens e água potável; descarga da água refrigerante aquecida, ou melhor, acúmulo do calor residual das usinas nos corpos hídricos (poluição térmica) e consequente evaporação desse calor, descarga de substâncias químicas e metálicas (inibidoras da corrosão dos condensadores) no corpo hídrico refrigerante, que afetam o ecossistema aquático, provocando alterações de pH, aumentos de calor, estratificação térmica e alteração dos gradientes de salinidade, e choques térmicos com a resultante morte dos peixes acostumados à água quente, em virtude das paralisações da usina nuclear.

A contribuição das usinas de carvão manifesta-se através de precipitações ácidas (oxidação na atmosfera de SO_2 emitido na combustão), efeito estufa (acúmulo de CO_2 na atmosfera) sobre o clima ou microclima local e a consequente poluição atmosférica (formação de nuvens de poluentes devida à liberação de óxidos e particulados de chaminés); traços de metais liberados no meio ambiente, nocivos a organismos de ecossistemas aquáticos e terrestres (fauna e flora); e poluição térmica, ocasionada pela descarga do calor residual das usinas nos corpos hídricos, conforme referido acima.

A esses junta-se outros parâmetros, igualmente importantes para a comparação dos impactos ambientais: as características do carvão (teor de enxofre e cinzas), a utilização ou não de dispositivos removedores de óxidos (depuradores de cal, precipitadores, chaminés, combustão por leito fluidizado e lavagem do carvão antes da queima), o tipo de mineração (superficial ou subterrânea), a exis-

tência ou não de ventilação nas minas subterrâneas e o caso das minas abandonadas cujos problemas mais evidentes são os escoamentos ácidos e os escoamentos radioativos (urânio, rádio e tório).

Com respeito aos riscos de saúde, os efluentes das usinas a carvão (CO_2 , óxidos de enxofre ou sulfatos em suspensão, óxidos de nitrogênio e material particulado, ou seja, partículas radioativas e metais pesados) podem ser, perfeitamente, comparados aos radionuclídeos liberados pelas usinas nucleares, em termos de meia-vida atmosférica, atividade biológica e reconcentração natural, guardados os padrões prescritos para emissões desses dois tipos de usinas.

Assim sendo, é importante avaliar a exposição direta e indireta dos trabalhadores e da população à radioatividade liberada em quase todas as fases dos ciclos dos combustíveis (carvão e urânio) e aos poluentes liberados nas operações rotineiras de cada tipo de usina aqui considerado. Com vista a essa avaliação, existe uma convenção que emprega, para essas exposições, as categorias ocupacional e pública, atribuíveis ao funcionamento anual de uma central (nuclear ou a carvão) de 1.000 MWe.

Vamos aqui considerar, portanto, os seguintes parâmetros comparativos: taxas de acidente ocupacional, exposição de trabalhadores e população aos efluentes da operação de cada tipo de usina e probabilidades e consequências de acidentes nucleares.

Outros parâmetros: densidade de população nas cidades, vilas e centros urbanos dentro de um raio de 100 km e em lugares privados, escolas, granjas e fábricas num raio de 10 km do sítio da usina, usos públicos e industriais da água (abastecimento urbano, irrigação, refrigeração).

São consideráveis os estados patológicos provocados pelos ciclos do urânio e do carvão no homem. No primeiro, dispomos de casos como mortes e danos prematuros; mortes e doenças prolongadas na presente geração ou nas subsequentes; mortes e doenças produzidas em gerações mais distantes; incidência de câncer (consequência não-hereditária e de ação retardada da radiação); e indução de mutações e efeitos genéticos.

O ciclo do carvão apresenta normalmente os seguintes estados patológicos: pneumoconiose (inalação de poeira e gases do carvão em minas subterrâneas; doenças cardíacas, asma, bronquite e pneumonia, em virtude da fuligem depositada nos alvéolos; câncer devido à retenção nos pulmões do alfa-benzo-pireno do alcatrão.

Podemos comparar os riscos de sistemas nucleares, em termos do número de mortes por acidente (o maior), contra a probabilidade dos acidentes. Podemos fazer esta comparação com o carvão, novamente em termos de probabilidade. Devemos fixar a condição meteorológica exata e determinar a densidade populacional em ambos os casos, e assim por diante. É possível, contudo, fazer as determinações, e é este tipo de comparação que se permite para calcular certos riscos de dados acidentes. (37)

Os acidentes não estão somente associados com a extração de urânio ou carvão mas também com doenças crônicas. Para os mineiros de urânio não existe apenas o câncer de pulmão devido ao gás radônio que é inalado, mas também ocorre silicose da inalação da poeira da rocha dura. Por mais que possamos quantificar os riscos, a produção de milhões de MWh de eletricidade resultaria em um custo de aproximadamente um caso adicional de pneumoconiose e cerca de 3×10^4 casos de câncer do pulmão por ano, nos Estados Unidos da América.

Dr. Ernest R. Ruppel, Director, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

Quanto ao transporte de carvão, supõe-se que ele acarreta danos comparáveis aos da mineração. Dessa maneira, transportar carvão poderia dobrar, numa análise custo-benefício, os danos à saúde para a fase de extração. É difícil fazer uma comparação com o urânio. Entretanto, não têm ocorrido acidentes que causassem dano à saúde, embora liberando radioatividade. Os acidentes de transporte devem, contudo, ser relacionados com o número de toneladas-milha de combustível embarcado.

É possível estabelecer uma comparação entre as espécies de risco que estão associadas a poluentes químicos, SO_2 , NO_x e material particulado, resultantes da combustão do carvão e as de radionuclídeos liberados pelos reatores - em termos de meia-vida, atividade biológica e energia.

Os riscos dos poluentes não parecem ser comparáveis quanto ao dano somático, ou dano para seres humanos existentes, ao passo que existe dano genético causado por radionuclídeos. De fato, não existe diferença qualitativa. Esses poluentes químicos são também mutagênicos. Tanto os poluentes químicos quanto os radionuclídeos causam dano somático e ambos causam dano genético. Portanto, não há diferença qualitativa: não há alternativa que examine detalhadamente os efeitos de ambos os tipos de efluentes. Desse modo, comparar radionuclídeos e poluentes químicos ou mesmo comparar os vários radionuclídeos é difícil. Os problemas se apresentam quanto à meia-vida dos poluentes químicos ou dos radionuclídeos, quanto ao nível de atividade biológica e quanto ao nível de desintegração energética (radionuclídeos, neste caso). Há também problemas maiores na tentativa de relacionar o nível de dose radioativa com o nível de dano humano (hipótese da dose-limiar).

O que podemos fazer é estabelecer curvas dose-resposta, uma para poluentes químicos e outra para radionuclídeos.

nas quais relacionamos as doses de exposição com as correspondentes taxas de mortalidade (mortes/milhão de pessoas expostas). Em cada um dos casos, as taxas de mortalidade são referidas a usinas (nuclear e a carvão) de 1.000 MWe, próximas a uma típica área metropolitana. Da comparação dessas duas curvas podemos inferir resultados quantitativos.

2.3 Principais Fatores para Hidroeletricidade

A avaliação dos problemas causados pela implantação de usinas hidroelétricas envolve, por sua vez, parâmetros de ordem física, biológica e humana, tão amplamente interrelacionados, quanto mais complexo for o ambiente fluvial.

São inúmeros os efeitos provocados pela construção da barragem e formação do lago. Dentre eles, vamos destacar os que mais nos chamam a atenção, dadas as suas características nocivas, separando-os conforme o seu meio de ocorrência (água, terra, etc).

Em seguida, cada impacto ambiental ou risco à saúde (parâmetro comparativo) será devidamente analisado, recebendo o mesmo tratamento dado aos parâmetros das fontes térmicas, porém qualitativamente.

Com isto, ocuparemos o restante deste espaço fazendo a apresentação dos parâmetros, acompanhando-os de algumas considerações.

O impacto essencial do aproveitamento da energia hidráulica consiste em alterar as condições do reservatório ou curso d'água, a fim de satisfazer as demandas de energia elétrica.

A operação dos reservatórios formados representa o principal dano ao ambiente: reduz as flutuações de vazão ao longo do ano e altera a qualidade da água no reservatório, com respeito ao teor de sedimento, temperatura e composição bioquímica.

As usinas hidroelétricas tendem a aumentar o fluxo dos rios em épocas de seca, ainda que sua influência seja prejudicial nos períodos de cheia. Conseqüentemente, ve

rifica-se um aumento da amplitude e do pico dos períodos de inundação.

O impacto mais evidente do represamento ao ambiente terrestre é a perda de terras agrícolas através da inundação. A perda de matas valiosas, de áreas de pastagem e reservas biológicas também concorre para aumentar consideravelmente os prejuízos.

No sistema hidrológico, os maiores impactos da construção de barragens geralmente aparecem através de mudanças na qualidade da água. A deposição de sedimentos nos reservatórios ocasiona inúmeros problemas ambientais. Além de elevar o nível do reservatório, a sedimentação remove ricas camadas de nutrientes do fluxo residual dos rios, que permanecem, em grande parte, aprisionadas no substrato lacustre. Mudanças repentinas na qualidade e quantidade de sedimentos acompanhadas de alterações no regime natural das cheias são tidas como causadoras de danos à agricultura e à produção de peixes. Os primeiros seriam devidos à perda de fertilidade da terra, em consequência da redução de sedimentos. E os últimos, ao abaixamento do nível da inundação (encalhe de ovos e filhotes e morte por dessecação) e à permanência do nível das águas (mortes por desoxigenação e alterações de pH resultantes da decomposição da matéria orgânica na inundação).

A ausência de sedimentos perturba a cadeia de nutrientes do ecossistema e chega a aniquilar e dizimar populações importantíssimas da fauna aquática (sardinha, crustáceos, planctons).

O acúmulo de sedimentos em reservatórios e as alterações de sedimentação em áreas deltáicas, combinadas com o crescente impacto das correntes marinhas na costa, têm causado a erosão e o desmoronamento das costas dos deltas e outros exemplos, como a erosão de litorais, leito

e margens de rios e a própria erosão dos reservatórios.

A estratificação térmica é um fenômeno observado em reservatórios profundos: o oxigênio das camadas superficiais é prontamente esgotado nas camadas mais profundas, consumido pela decomposição da vegetação alagada. Nesse processo ocorre produção de gás sulfídrico que libera um odor muito forte, provocando o afastamento dos peixes. Coincidindo com o esgotamento de oxigênio, isso pode causar uma dizimação dos peixes durante o período inicial da formação do reservatório.

Um dos efeitos indesejáveis da formação de lagos artificiais é a proliferação nociva da macro-vegetação aquática (por exemplo, jacintos d'água, aguapês e salvinias). Além de serem agentes transmissores de doenças, os vegetais nocivos impedem o fluxo d'água e a navegação por obstruir as hidrovias com o seu crescimento abundante. As populações de peixes são prejudicadas em consequência desses vegetais impedirem a passagem de energia solar para o fitoplâncton e dos efeitos poluentes da decomposição e morte das ervas daninhas.

Outro parâmetro considerável é a atividade sísmica que se segue ao enchimento de reservatórios, particularmente aqueles com mais de 100m de profundidade. Tal atividade pode ocorrer onde as massas rochosas já estavam a ponto de deslizar. Devido à existência de falhas inativas que, lubrificadas pela infiltração de água do reservatório, induzem o deslizamento dos blocos de rocha e produzem tremores.

A construção de barragens também ocasiona alterações climáticas. Esses efeitos se manifestam sob forma de nevoeiros, onde as temperaturas do ar ambiente caem abaixo daquelas da superfície d'água. Em certos casos, a precipitação pluviométrica pode diminuir na primavera e dobrar no outono.

Em resumo, as alterações nos sistemas hidrológicos, resultantes da construção de barragens e do enchimento de reservatórios, podem ser verificadas nos seguintes parâmetros: regime de temperaturas, volume e ciclos de vazão, velocidade das águas, sedimentos e nutrientes do corpo hídrico e teor mineral das águas.

Os maiores problemas de saúde resultantes diretamente da transformação do rio em um imenso reservatório advêm do reassentamento da população desalojada pela construção da barragem e da disseminação de doenças na água.

A história da formação de lagos artificiais tem registrado o remanejamento de centenas de milhares de pessoas, inclusive, com muitos exemplos de assentamentos inadequados devidos a inúmeras dificuldades - particulares e de ordem geral - de adaptação, como os observados na África e na Ásia Tropical, por exemplo, choques culturais e tempo dispendido na cultura de subsistência.

A rápida disseminação de doenças, tendo a água como meio transmissor, está associada, com muita frequência, às alterações no meio ambiente aquático provocadas pela construção de grandes represas. A criação de enormes ambientes de água parada favorecem o aumento das populações de caramujos, mosquitos, hospedeiros intermediários e transmissores de esquistossomose, febre amarela, malária, oncocercose (cegueira dos rios), paragonimose (distomatose pulmonar), filariose e outras doenças parasitárias.

A maneira de incidência dessas moléstias e a natureza de sua propagação constituem parâmetros extremamente importantes para o estudo de como a formação de lagos artificiais e os processos intensivos de irrigação podem afetar a disseminação e a intensidade das doenças.

2.4 Parâmetros Comparativos

Formulada a metodologia, podemos estabelecer os parâmetros básicos de nossa comparação. Os parâmetros comparativos são as alterações ou efeitos que as fontes térmicas e hidráulicas provocam no ambiente (água, ar, terra biota e homem). Ou seja: as últimas consequências verificadas no único ponto comum às três: o ambiente.

USINA PARÂMETRO	NUCLEAR	A CARVÃO	HIDROELÉTRICA
ÁGUA	1) Poluição Térmica aumento na temperatura do corpo hídrico 2) Descarga de substâncias químicas e metálicas 3) Aumento de evaporação 4) Alterações de pH	1) Poluição Térmica aumento na temperatura do corpo hídrico ou da atmosfera 2) Descarga de substâncias químicas e metálicas 3) Aumento de evaporação 4) Alterações de pH	1) Estratificação Térmica 2) Elevação do nível do lençol freático 3) Flutuação de volume e ciclos de descarga entre os períodos de seca e chuvas 4) Alteração na velocidade das correntes 5) Alteração no substrato do corpo hídrico 6) Alteração no teor mineral das águas.
AR	1) Poluição atmosférica: liberação de efluentes gasosos e radioatividade, com reconcentração da radioatividade no ambiente (Kr-85, Xe, I-131, C-14)	1) Poluição atmosférica: formação de nuvens de poluentes (SO ₂ , SO ₃ , CO ₂ , NO _x , partículas radioativas e metais pesados) 2) Precipitações ácidas 3) Efeito estufa	1) Alterações climáticas: nevoeiros e precipitações anormais

PARÂMETRO \ USINA	NUCLEAR	A CARVÃO	HI DROELÉTRICA
TERRA	<ol style="list-style-type: none"> 1) Subsidiência na superfície de minas subterrâneas 2) Drenagem radioativa em minas subterrâneas. 3) Degradação da paisagem (pilhas de rejeitos sólidos) 4) Poluição das vias de tráfego (radioatividade liberada no transporte de urânio). 5) Escoamento radioatividade em minas abandonadas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Subsidiência na superfície de minas subterrâneas. 2) Drenagem ácida em minas subterrâneas. 3) Degradação da paisagem (pilhas de rejeitos sólidos) 4) Escoamento ácido em minas abandonadas. 5) Poluição das vias de tráfego (transporte de carvão) 6) Acidentes de transporte 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Inundação e perda de terras agrícolas, matas valiosas, áreas de pastagem e reservas biológicas. 2) Perda de fertilidade da terra. 3) Erosão e desmoronamentos de costas, litoral, leitos e margens dos rios e do reservatório. 4) Atividade sísmica (infiltração de água em falhas inativas).
BIOTA	<ol style="list-style-type: none"> 1) Mortandade de peixes (choques térmicos e descarga de radioatividade e de substâncias químicas e metálicas na água). 2) Contaminação de colheitas, pastagens e água potável (reconcentração da radioatividade no ambiente). 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Mortandade de peixes (choques térmicos e descarga de substâncias químicas, metálicas e radioativas na água) 2) Contaminação de organismos da flora e da fauna (descarga de metais e substâncias tóxicas e radioativas no ambiente). 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Mortandade de peixes: encalhe de grande número de ovos e filhotes e posterior morte por dessecação (no abaixamento do nível do reservatório após a inundação) 2) Mortandade de peixes miúdos em larga escala (na permanência do nível do reservatório, por desoxigenação e fortes alterações de pH da decomposição de matéria orgânica na inundação). 3) Aniquilamento e eliminação de populações de sardinha, cavala, crustáceos, planctons e compostos orgânicos (ausência de sedimentos).

USINA PARÂMETRO	NUCLEAR	A CARVÃO	HIDROELÉTRICA
5 UOTA			4) Afastamento de peixes do local onde ocorre estratificação térmica (gás sulfídrico). 5) Obstrução da passagem de energia solar para o fitoplâncton (eutroficação). 6) Efeito loduçal (Alagamento da vegetação terrestre). 7) Danos à agricultura (aumento de salinidade devido à ausência de sedimentos).
HOMEM	1) Mortes e danos prematuros. 2) Mortes e doenças prolongadas na presente geração e nas subsequentes. 3) Mortes e doenças produzidas em gerações mais distantes. 4) Incidência de Câncer (consequência não-hereditária e de ação retardada da radiação). 5) Indução de mutações e efeitos genéticos.	1) Pneumoconiose. 2) Doenças cardíacas. 3) Asma. 4) Bronquite. 5) Pneumonia. 6) Câncer. (Retenção nos pulmões do alfa-benzopireno do alcatrão).	1) Reassentamento da população deslocada pela transformação do Rio em reservatório. 2) Disseminação de doenças na água. - esquistossomose. - malária. - febre amarela. - oncocercose (cegueira dos rios) - paragonimose (distomatose pulmonar). - filariose.

O objetivo final do presente trabalho consiste em avaliar, para o caso brasileiro, as consequências ambientais da implantação de usinas termoeletricas e hidroelétricas, no período 1985-2020.

Para tal avaliação, vamos utilizar os parâmetros básicos por nós estabelecidos e os valores de capacidade instalada previstos pela Eletrobrás (Plano 2.000 de Geração de Eletricidade) - e extrapolados com uma taxa de crescimento de 7% a/a até o ano 2020 - de modo a compor, de cinco em cinco anos, um panorama de possíveis impactos ambientais, inclusive riscos de vida, resultantes da Geração de Eletricidade a partir dessas três fontes energéticas, no período acima referido. As projeções foram delimitadas na Seção 1.1. deste trabalho.

Projetados os valores de capacidade instalada até o ano 2020, podemos iniciar as avaliações comparativas-quantitativas, para as usinas termoeletricas (Nuclear e Convencional), e qualitativa, para termoeletricas e hidroelétricas - conduzindo-as sob os seguintes aspectos e suas ramificações: danos à terra (volume de material movimentado) provocados pela mineração e pela erosão, liberações rotineiras das usinas (poluentes e radioatividade), pilhas de resíduos da operação (urânio e carvão), alterações ambientais (vide parâmetros básicos) e acidentes (riscos de vida e fatalidades).

- 7 -

O prejuízo causado à terra pela extração de minério depende das técnicas normalmente usadas (mineração a céu aberto ou mineração subterrânea). Esse impacto é medido através do volume de material movimentado, isto é, rocha contendo o minério mais a camada de estéril, em m³/MWe. Ano, conforme o requerimento anual de uma usina de 1.000 MWe.

- > As liberações rotineiras, ou taxas de descarga de SO_2 e cinzas do carvão, em $\text{t}/\text{MW}_e\cdot\text{Ano}$, e Kr-85, Xe-135 e I-131 de usinas nucleares, em $\text{Ci}/\text{MW}_e\cdot\text{Ano}$, podem ser comparadas através dos volumes de ar, em m^3 , requeridos para a sua diluição, determinados pelos padrões americanos (EPA e AEC) para o ar ambiente.
- > O resíduo sólido da combustão do carvão, o material particulado retido no precipitador e o depositado no "cinzeiro" é medido em m^3/ano e pode ser comparado com o volume de resíduo sólido das usinas nucleares (resíduo da operação do reator e resíduo de reprocessamento).
- > Uma alteração ambiental comum aos dois tipos de usinas termoeletricas é a sua descarga térmica na água ou na atmosfera. Essa descarga térmica no ambiente é promovida pelo sistema de resfriamento da usina, segundo quatro diferentes métodos. Havendo disponibilidade de água, as usinas normalmente utilizam o ciclo aberto ("Once-Through") ou a ~~torre~~ ^{torre} de resfriamento ("Cooling Tower"). Do contrário, o calor residual da usina é dissipado na atmosfera usando-se um sistema de ciclo fechado ("Dry Cooling Tower") ou uma torre de resfriamento ("Cooling Tower"). As taxas de calor residual das usinas termoeletricas são dadas em Cal/h ou GWh/Ano .

Quanto aos possíveis acidentes de usinas (Nucleares, Convencionais e Hidroelétricas), é importante visualizá-los em termos de sua probabilidade de ocorrência. E para comparar as probabilidades é necessário normalizar as consequências dos acidentes, ou seja, avaliar as implicações (riscos de vida e fatalidades) e a extensão dos acidentes por $\text{MW}\cdot\text{Ano}$ de energia produzida por usinas de 1.000 MWe . Exemplos típicos desses acidentes são o descarrilhamento de um trem unitário de carvão provocado pela colisão com um trem de passageiros e a colisão do trem unitário de carvão com um trem transportando materiais perigosos, em um túnel, um acidente sério em um reator nuclear causando dezenas de mortes, e um acidente catastrófico ocasionando centenas a milhares de mortes, num período de 30 a 40 anos.

em ambos os casos; o repentino rompimento de uma barragem - cujas conseqüências dependem do tipo de barragem (terra ou concreto) e da distribuição de população - provocando milhares de mortes, cada um desses eventos, portanto, possui a sua característica probabilidade anual de ocorrência. Para a nossa avaliação do caso brasileiro, nesses termos, utilizamos as probabilidades apresentadas por John Dunster no VIII FORATOM, em Lausanne, 1982.

Enfim, a metodologia de análise está essencialmente edificada sobre três passos, assim ordenados :

- 1) Projeção da capacidade instalada até o ano 2020.
- 2) Análises comparativas.
 - . Quantitativa (Usina Nuclear x Usina Convencional)
 - . Qualitativa (Usinas Hidroelétricas x Usinas Termoeletricas)
- 3) Conclusões

- ~~A~~ 2.5 Estudos Anteriores : Carvão Versus Nuclear

Tal como no caso da economia de mercado, os riscos e custos sociais e ambientais associados a cada fase do ciclo do combustível nuclear têm sido comparados com os do carvão. A análise dos custos sociais e ambientais levanta difíceis e controvertidos problemas de avaliação da saúde humana e da vida em geral, agora e no futuro.

Estudos realizados pelo Comitê Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) compararam o impacto causado pelas emissões radioativas de uma central nuclear e uma central a carvão, tomando como base uma central de ambos os tipos, com 1.000 MWe de potência cada, funcionando ficticiamente no mesmo local. A intensidade de fonte utilizada para a central nuclear é típica de reatores de água leve (LWR). A intensidade de fonte para a central a carvão foi baseada no conteúdo médio de urânio e tório do carvão americano, isto é, 1 ppm e 2 ppm, respectivamente. Admitiu-se

ainda o equilíbrio radioativo das cadeias de urânio e tório. As doses foram calculadas para um local típico do Centro-Oeste americano com uma população de 3,5 milhões de pessoas num raio de 89 Km da central. Foram considerados todos os modos de exposição ("PATHWAYS") relevantes, além de suposições conservadoras quanto à produção e consumo de alimentos. Assim, as doses individuais máximas obtidas foram de 1,9 mrem/a para a central a carvão e 1,8 mrem/a para a central nuclear do tipo PWR, que, para efeitos práticos, são idênticas /12/.

-->

Usando-se o fator de risco recomendado pelo ICR_p, deduz-se que uma pessoa exposta a esta dose teria uma chance em cinco milhões de morrer de câncer. Este número é bastante baixo comparado com as chances resultantes da radiação natural (uma em cem mil). Em termos de população local, as doses coletivas resultantes foram 23 Homens.Rem/Ano para a central a carvão e 15 Homens.Rem/Ano para a nuclear, o que significa que dos 3,5 milhões de habitantes envolvidos, aproximadamente 2 morreriam de câncer a cada cem anos, devidos à central nuclear e ~~aproximadamente~~ à central a carvão.

Uma central a carvão de 1.000 MWe, por exemplo, emite anualmente 24.000 toneladas de SO₂, 27.000 de NO_x, 1.000 de CO e 6 milhões de CO₂. Embora, atualmente, não se possa ter uma quantificação do impacto causado por esta poluição, pode-se ter uma certa idéia de seus efeitos através da comparação entre os níveis naturais, limites legais e faixas de concentração de poluentes que resultam em danos à saúde. Esta comparação está ilustrada na Fig. 2.1.

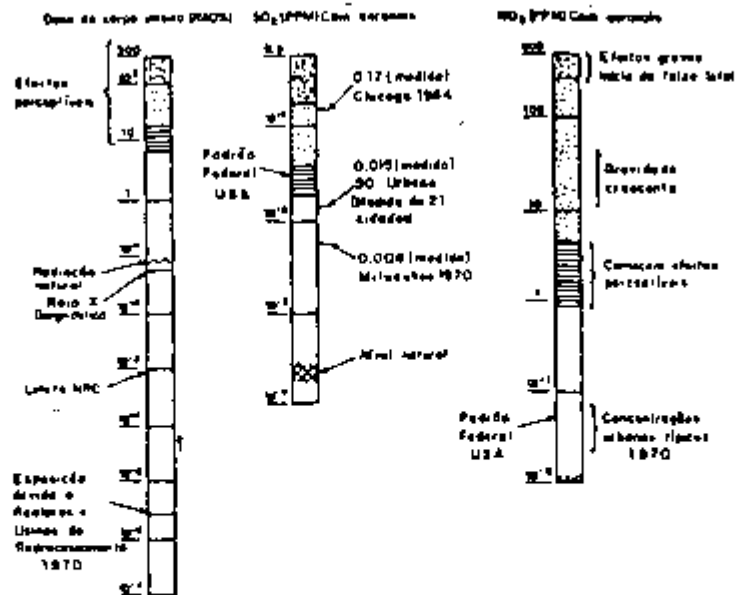


Fig. 2. - Comparação de níveis de poluentes, padrões e danos à saúde (12)

Cálculos efetuados para usina de reprocessamento de combustível nuclear em conjunto com uma usina de 1.000 MWe, ambas liberando pela mesma chaminé, resultaram em uma dose coletiva de 212 Homens-Rads/Ano, o que corresponderia a 0,04 casos adicionais de câncer na população em questão.

As tabelas 2.2 e 2.3. mostram dados pessoais causados por cada etapa dos ciclos do carvão e reatores de água leve. Os dados são normalizados com base na operação anual de uma usina de 1.000 MWe, com fator de capacidade de 75%, e obtidos de dados estatísticos compilados pela Agência de Estatística do Trabalho do Governo Americano.

Pode-se observar claramente que os dados relativos ao ciclo do carvão são sensivelmente superiores aos relativos ao ciclo nuclear.

ATIVIDADE	Carvão		Nuclear	
	Mortos	Feridos	Mortos	Feridos
Mineração	0,96	39,5	0,09	3,5
Beneficiamento	0,02	0,7	0,003	0,9
Conversão			0,0003	0,03
Enriquecimento			0,001	0,17
Fabricação			0,0004	0,28
Reprocessamento			0,0009	0,08
Transporte	0,05	5,1	0,002	0,05
Operação	0,03	1,2	0,01	1,3
Total	1,1	46,8	0,1	6,3

Tabela 2.2 - Danos ocupacionais causados por acidentes (12)

	Carvão	Nuclear
• Mortos	0,55	0,009
• Feridos	1,2	0,08
• Dias perdidos	3500	60

Tabela 2.3 - Danos sobre o público decorrentes do transporte de combustível (12)

Existe, por outro lado, um potencial de danos muito grande associado a possíveis acidentes em uma usina nuclear. Inúmeros estudos realizados sobre o assunto concluem, entretanto, que a possibilidade de eventos com grande consequência é bastante pequena, chegando mesmo a ter uma ordem de grandeza inferior àquela de muitos eventos naturais ou causados pelo homem com iguais consequências.

Usinas nucleares totalizando uma capacidade de 10.000 MWe podem provocar uma morte por ano devida a acidentes ocupacionais e riscos de radiação para os trabalhadores e o público, respectivamente. Já as centrais a carvão de mesma capacidade poderiam ocasionar de duas a vinte e cinco mortes por ano. A mineração e o transporte de carvão produziram cerca de duas mortes por ano; as outras seriam devidas aos efeitos sobre a saúde resultantes dos poluentes derivados do enxofre. Há muitas enfermidades não fatais que não encontram similares na energia nuclear. Ainda assim, ocorrem efeitos dos óxidos de nitrogênio, dos hidrocarbonetos carcinogênicos e dos metais pesados não conhecidos.

O relatório Rasmussen (The Reactor Safety Study-Wash 1400) de 1975 (Comissão Reguladora Nuclear) estudou sistematicamente um grande número de possíveis sequências

de eventos capazes de levar a um acidente nuclear e as possibilidades de derretimento de um núcleo atômico com escapamento de produtos de fissão. O trabalho publicado pelo Grupo de Estudos da Política de Energia Nuclear dos EUA, no livro "Energia Nuclear - Problemas e Opções", considera que o WASH-1400 subestimou gravemente as incertezas e apresenta muitas falhas metodológicas.

A taxa média de morte devida a acidentes com reatores nucleares, calculada no WASH-1400, é de 0,02 mortes/ano, para uma usina de 1.000 MWe, o que é muito baixa comparada com a de uma morte por ano prevista para operações nucleares normais, ou com a de 2 a 25 mortes por ano atribuíveis a uma usina a carvão.

Um acidente extremamente grave com um reator, segundo esse relatório, mataria de 3 a 4.000 pessoas em poucas semanas, acarretando dezenas de milhares de mortes por câncer durante 50 anos e um número comparável de defeituosos hereditários na geração seguinte, bem como mais de 10 bilhões de dólares de prejuízos materiais. A probabilidade de ocorrer um acidente desse tipo, contudo, é de um acidente para 20 milhões de anos de operação com um reator.

Associados a cada uma das fases do ciclo do combustível (da exploração do minério à deposição do resíduo radioativo) podem coexistir, ao mesmo tempo, efeitos ocupacionais e riscos de saúde pública.

Examinando em primeiro lugar a mineração, a Tabela 2.4. fornece um resumo de dados de acidentes em minas de carvão e de urânio para o período de 1965-69. Para se colocar danos e mortes sobre um denominador comum, uma fatalidade acarreta um custo de 20 anos de produtividade (vida produtiva) ou 6.000 dias de incapacidade produtiva. (*)

	ACIDENTE	DOENÇAS CRÔNICA
CARVÃO	1.545 dias de incapacidade	1 caso de pneumonia.
URÂNIO	157 dias de incapacidade	5×10^{-4} casos de câncer no pulmão por ano.

Tab. 2.4. Riscos Ocupacionais de Mineração por Milhão de MW_h de Eletricidade gerados (38)

Na tentativa de comparar os efluentes de um LWR com aqueles de uma usina a carvão, Martin, Harward e Oakley usaram, em 1969, a dose máxima do ICRp. A comparação foi baseada na dose permitida aos trabalhadores (principalmente nas liberações de radionuclídeos). Foram comparados o rádio e o tório liberados na queima do carvão com os radionuclídeos liberados de um LWR. Uma segunda e mais geral consideração foi o exame da diluição dos efluentes gasosos. Terril, Harward e Legget estimaram, em seguida, o quanto de ar seria necessário para diluir efluentes gasosos típicos de cada usina, segundo os padrões da Agência de Proteção do Meio Ambiente dos EUA.

A Tabela 2.5. apresenta uma comparação baseada na diluição de efluentes gasosos. Considerou-se uma usina a carvão com 1.000 MWe de potência. Tomou-se, como referência, um carvão com 35% de enxofre e 15% de cinza. Existe um precipitador eletrostático que retém 97,5% do volume do material particulado. Os padrões são aquelas da EPA para o ar ambiente. A coluna seguinte relaciona a taxa de descarga de vários poluentes e a última coluna mostra o volume de ar (em 10^9 m^3) necessário para diluir o efluente, conforme o padrão requerido.

TIPO DE USINA	POLUENTE	PADRÃO*	QUANT. DESG.	VOL. DILUIÇÃO (10 ⁶ m ³)
CARVÃO	SO ₂ (3,55%)	800 μg/m ³	3,20.10 ⁸ lb	1,72.10 ⁶
	Mat. Partic. (100-150 μm)	200 μg/m ³	8,0.10 ⁸ lb	4,0.10 ⁴
	Mat. Partic. (30-120 μm)	200 μg/m ³	8,0.10 ⁸ lb	8,0
	Mat. Partic. (100-200 μm)	100 μg/m ³	0,0108 Ci	10,4

Tab. 2.5. Volumes de Ar requeridos para a Diluição de Poluentes de uma Usina a Carvão. (38)

* EPA e AEC

Abaixo estão os volumes de efluentes para reatores do tipo PWR e BWR, mostrados isoladamente (Tab. 2.6.). Para os BWRs, o volume de ar requerido é da ordem de 10⁴ bilhões de metros cúbicos, o que representa um fator de 100 vezes menor do que é requerido para carvão. Para os PWRs os volumes de diluição são muito menores.

TIPO DE USINA	POLUENTE	PADRÃO*	QUANT. DESG.	VOL. DILUIÇÃO (10 ⁴ m ³)
PWR	Kr-85 e Xe-133	3.10 ⁵ Ci/m ³	1,6.10 ⁴ Ci	55
BWR	Gases Nobres radionuclídeos de vida curta	3.10 ⁴ Ci/m ³	1,33.10 ⁶ Ci	4,4.10 ⁴
PWR	I-131 (INAL.)	100 Ci/m ³	0,15 Ci	1,5
BWR	I-131 (INAL.)	100 Ci/m ³	0,6 Ci	66
PWR	I-131 (ING.)	0,14 Ci/m ³	0,15 Ci	1060
BWR	I-131 (ING.)	0,14 Ci/m ³	0,6 Ci	4,7.10 ⁴

Tab. 2.6. Volumes de Diluição de Poluentes de Usinas LWR.

* AEC (10 CFR 20). (38)

* Um fator de redução de 700 é aplicado ao padrão para inalação, levando-se em conta a reconcentração via caminho da ingestão (Ar-pastagem-leite).

A base para a determinação dos volumes de diluição é arbitrária. Os padrões advêm de julgamentos de especialistas que são provavelmente mais cautelosos para radionuclídeos do que para elementos químicos. Não há dados mais apropriados para a aceitação ou a rejeição desses padrões. Nesse caso, seria necessário haver curvas dose-resposta tanto para radionuclídeos quanto para poluentes.

Apresentamos aqui um estudo utilizando essas curvas / 38/. Em 1960, foi analisada a taxa de mortalidade em 117 cidades americanas, empregando o método estimativo da regressão linear das taxas de mortalidade (MR_i), nos níveis de material particulado e sulfatos suspensos no ar (P_i, S_i) e em algumas variáveis demográficas e sócio-econômicas, isto é, a densidade de população (P/M_i^2), a porcentagem da população não-branca (NW_i) e a porcentagem da população acima de 65 anos ($>65_i$). O resultado é visto a seguir. A relação dose-resposta ajusta muito bem os dados, e indica que aqueles poluentes químicos do ar estão proximoamente associados com a taxa de mortalidade. Com efeito, se existe uma relação causal e se esses poluentes forem reduzidos de 10%, a taxa de mortalidade diminuirá de 0.9%. Também são mostrados, a seguir, os coeficientes de sensibilidade ou elasticidade. Esses indicam quais seriam os efeitos introduzidos na taxa de mortalidade por uma dada alteração percentual na variável independente.

$$MR_i = 19,607 + 0,041P_i + 0,071S_i + 0,001P/M_i^2 + 0,041NW_i + 0,687>65_i + e_i$$

(0,53%) (0,37%) (0,97%) (0,57%) (6,32%)

Fig. 2.2. Relação Dose-Resposta (Poluentes) (38)

Onde

MR_i = taxa de mortalidade total (por 10.000 pessoas) na cidade i.

- P_i = média aritmética das leituras de material particulado suspenso na cidade i .
- S_i = menor leitura quinzenal de sulfatos na cidade ($\times 10$).
- P/M_i^2 = densidade de população na cidade i .
- $\%NW_i$ = proporção da população não-branca na cidade i ($\times 10$).
- $\%>65i$ = proporção da população com idade igual e maior que 65 anos ($\times 10$).
- e_i = erro (tolerância) para a taxa de mortalidade.

Quanto à taxa de mortalidade devida a radionuclídeos, considerou-se um reator de 1.000 MWe próximo a uma típica área metropolitana não especificada. A Figura 2.3. relaciona uma série de curvas dose-resposta, extrapoladas para a origem dos eixos de curvas conhecidas, com a finalidade de estimar os efeitos das exposições mais baixas. Argumenta Cyril Comar que as extrapolações são conservadoras no sentido de que são quase certamente exageros de mortalidade que resultariam se a população recebesse esses níveis de radiação. Na comparação de uma exposição a longo prazo, a baixos níveis de radiação, deve-se ter respostas maiores ou menores do que aquela indicada pela extrapolação linear. Em qualquer caso, as relações dose-resposta estão provavelmente exatas, digamos, dentro de um fator de 10 pontos.

-
- . 100 mrem/a para o corpo inteiro produzem 2.000-9.000 mortes por câncer por ano nos EUA.
 - . 1 rem nos ossos de Ra-226 produz 0,11-0,16 cânceres nos ossos por milhão de adultos.
 - . 1 rem no estômago produz 0,32-0,64 mortes/milhão/ano.
 - . 1 rem na tireóide produz 1,0 morte/milhão (1 rem é o limiar)
 - . 1 rem para o IGI restante produz 0,22-0,44 mortes/milhão/ano.
-

Fig. 2.3. Relação Dose-Resposta (Radionuclídeos) (38)

Dadas essas duas curvas Dose-Resposta (poluentes e radionuclídeos), pode-se fazer uma comparação entre gera-

dores de milhares de MW que operam com carvão e reatores de água leve (LWRs). A Tabela 2.7, apresenta um resumo de tal comparação. Para a usina a carvão, considerou-se que este combustível tem 3,5% de enxofre e 15% de cinza. A curva linear dose-resposta implica que, por milhão de pessoas expostas, haverá 306 mortes por ano devidas a SO_2 e 21 mortes por ano devidas a material particulado. Para o PWR, em 30 dias de levantamento, haverá cerca de 5/1000 a 4/1000 de uma morte por ano.

CARVÃO (3,5% Enxofre e 15% Cinza)	Morte/Milhão de pessoas Expostas
SO_2	306
Materia! particulado	21
PWR(30-120 dias de levantamento)	0,0038
BWR(30min de levantamento)	2,38

Tab. 2.7. Comparação das Curvas Dose-Resposta (Poluentes e Radionuclídeos).

Riscos de Saúde Pública de Efluentes Gasosos de Usinas de 1.000 MWe. (58)

Se os riscos à saúde humana são de incontestável importância, quanto ao aspecto de se continuarem os estudos para reduzir a sua incidência e as suas consequências, os efeitos ambientais são igualmente importantes, reque^rrendo estudos adequados e a mesma atenção.

- Os principais impactos ambientais decorrentes da mineração estão relacionados com o uso da terra. A subsidência, a drenagem, incêndios e degradação da paisagem são alguns destes impactos. (12)

A subsidência é um processo natural de restauração ecológica que consiste na reacomodação de camadas de solo em busca de um novo equilíbrio após o distúrbio causado pela mineração subterrânea. Como as quantidades de minério de urânio e carvão necessárias para gerar a mesma quantidade de energia estão na razão de 15 a 201, o impacto causado pela mineração é substancialmente maior no caso do carvão. A exemplo disto, na metade da década de 70, nos EUA, cerca de 63.000 hectares de terreno urbano já haviam sofrido subsidência considerável.

A desorganização de camadas rochosas durante a mineração subterrânea provoca também um distúrbio nos lençóis de água da região. A água fluindo através de rachaduras eventualmente incorpora substâncias tóxicas ou radioativas, conforme o caso, as quais podem ser descarregadas no ecossistema aberto. Nas minas de carvão este processo, denominado drenagem ácida, provoca anualmente a formação de milhares de toneladas de ácidos de enxofre que ocasionalmente são descarregadas no meio ambiente desequilibrando o pH de riachos e lagos e prejudicando com isto a fauna e a flora da região. No caso das minas de urânio, através desse processo de drenagem, substâncias contendo rádio, radônio e o próprio urânio podem causar uma contaminação radioativa nas circunvizinhanças das minas.

Um outro impacto ambiental de grande importância decorrente da mineração de um modo geral e do beneficiamento do minério é provocado pela produção de grandes quantidades de rejeitos sólidos. Estes rejeitos são colocados nas proximidades das minas e também estão sujeitos ao processo de drenagem já discutido. Além disso eles causam uma degradação significativa da paisagem. Nos EUA, por exemplo, cerca de 18 bilhões de toneladas de rejeitos de minério de carvão estão estocadas em mais de 2.000 pilhas cobrindo uma área total de 750.000 hectares.

Um outro grande impacto ambiental é provocado por incêndios em minas e campos de rejeitos de carvão. Ainda usando dados americanos, havia naquele país em 1969 cerca de 570 incêndios contínuos do tipo fora de controle, expondo 2.3 milhões de pessoas a danos à saúde e à propriedade, sem falar dos danos ecológicos consequentes.

O impacto ambiental causado pelas outras etapas do processamento do combustível, isto é, conversão, enriquecimento e fabricação, é bastante pequeno comparado aos já mencionados. É importante lembrar no entanto que a energia necessária ao enriquecimento, a qual compreende cerca de 98% da energia consumida em todo o ciclo, contribui com os impactos decorrentes de sua produção.

O transporte de um modo geral não é um causador de impactos significativos ao meio ambiente. As perdas envolvidas no transporte de minério podem eventualmente causar uma poluição das vias de tráfego utilizadas. Este problema é mais acentuado para o caso do carvão pelas grandes quantidades envolvidas e também porque as minas de urânio de grande porte têm normalmente agregadas a si usinas de beneficiamento do minério. Os danos mais frequentes relacionados com o transporte são danos físicos resultantes de acidentes.

O reprocessamento do combustível nuclear irradiado é uma etapa bastante delicada do ciclo. Ela envolve o manuseio de grandes quantidades de substâncias radioativas que representam um perigo potencial de contaminação ambiental. Entretanto a grande maioria dessas substâncias estão sob forma não volátil aparecendo no final do processo em solução aquosa. Dos elementos voláteis liberados o Kr-85 e o H-3 são os que mais contribuem para a exposição de pessoas. Estudos realizados sobre o assunto concluíram que o tipo de exposição crítica para esses elementos é a exposição em escala global da população mundial.

O aumento na temperatura dos corpos hídricos, causado pela grande quantidade de calor rejeitado pelas usinas termoeletricas, constitui um outro problema ambiental, principalmente no caso das usinas nucleares.

III Hidroeletricidade No Brasil

3.1 Descrição Sucinta

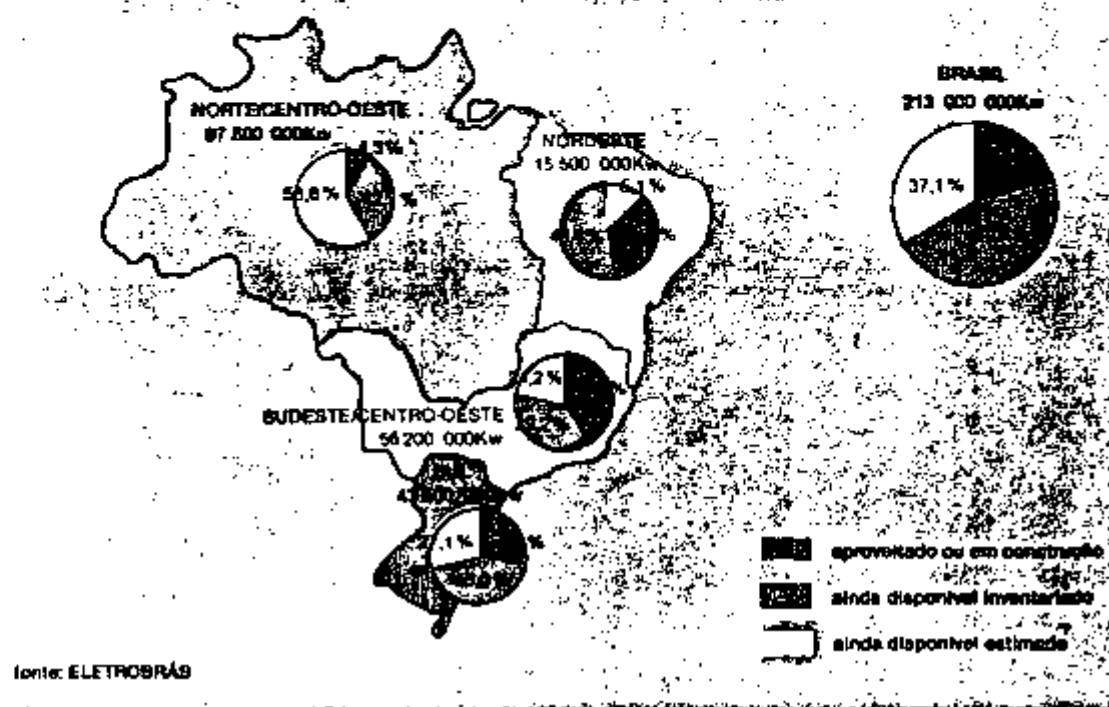
O conhecimento do potencial hidroelétrico brasileiro tem evoluído gradativamente, tornando-se cada vez mais preciso, à medida em que informações sobre as características físicas vão se tornando disponíveis. Até meados da década de 50, o conhecimento desse potencial era muito precário, mesmo em relação à Região Sudeste.

Por volta de 1959/61, época em que já eram melhor conhecidas as potencialidades de alguns aproveitamentos de grande porte, como Paulo Afonso, Xingó, Itaparica, Urubupungá, Furnas, Estreito e outros, totalizando cerca de 33.000 MW, foi feita nova avaliação do potencial brasileiro - desta vez incluindo, embora de forma muito precária, a Bacia Amazônica - da qual resultou a estimativa global de 100.000 MW. (11)

Em 1980, a inclusão dos resultados dos inventários efetuados na Bacia do Rio Xingu e na parte nacional da Bacia do Rio Paraguai, além da revisão dos estudos da Bacia do Rio Uruguai, também na sua parte nacional, conduziram à atualização do valor global do potencial hidroelétrico brasileiro para o montante de 213.000 MW, equivalente a 106.500 MW médios de energia firme, para um fator de utilização de 50%, habitualmente adotado em estudos dessa natureza.

Esse potencial hidroelétrico corresponde a uma produção de energia firme no ano médio seco, equivalente a 802 teracalorias/ano. Este valor é o dobro da energia produzida pela queima de todo o petróleo consumido no Brasil em um ano. Para gerar a mesma quantidade de energia com base em usinas termoelétricas, seriam necessários 5,5 milhões de barris de petróleo por dia. (54)

POTENCIAL HIDRELÉTRICO DO BRASIL



A capacidade instalada no Brasil, em usinas hidrelétricas, representa apenas 12,8% do potencial hidrelétrico total.

Figura 3.1 - Potencial hidroelétrico do Brasil⁽⁵⁴⁾

Do potencial global, 37,1% representam a parcela estimada. Atualmente, a ELETROBRÁS trata de estender a área inventariada, para se ter um conhecimento cada vez mais preciso das disponibilidades de desenvolvimento da energia hidroelétrica do País. Para isso, através de suas empresas controladas, a ELETROBRÁS vem realizando estudos que permitirão determinar a parcela do potencial que é hoje estimado e estabelecer qual o montante que poderá ser aproveitado em função de seus custos.

Atualmente, estão em andamento (em construção, complemen

tação ou ampliação, estudo ou projeto) as seguintes obras (usinas de grande porte):

Tucuruí - localizada no rio Tocantins, a 500 km, em linha reta, de Belém, na Região Amazônica. Maior usina integralmente brasileira e quarta do mundo, sua capacidade final será da ordem de 8.000 MW (atualmente conta com 2.100 MW). Além de suprir outras regiões do País, a energia de Tucuruí será absorvida pelos complexos industriais para exploração de minérios no interior Amazônico (Projeto Grande Carajás):

Paulo Afonso IV - o complexo de Paulo Afonso, constituído pelas usinas I, II e III, representa 30% da potência instalada na Região Nordeste. Finaliza-se a construção da Central subterrânea IV, a segunda maior do mundo na espécie, cuja potência final será de 2.460 MW.

Sobradinho - o projeto de Sobradinho visa à regularização plurianual do Rio São Francisco, além de atender à demanda de energia no nordeste até 1990. Sobradinho foi concluída em 1981, com uma capacidade final de 1.050 MW.

Itaparica - o aproveitamento hidroelétrico de Itaparica localiza-se no trecho denominado Seção Inferior do Médio São Francisco, a cerca de 50 km a montante do complexo Paulo Afonso-Moxotó. Sua potência final será de 2.500 MW.

Salto Santiago - a hidroelétrica de Salto Santiago está situada no curso principal do Rio Iguaçu, no Estado do Paraná, a 340 km de Curitiba e a 45 km a montante de Salto Osório. Terá uma potência final de 2.000 MW, formada por 6 unidades de 333 MW cada.

Salto Osório - Salto Osório foi o primeiro aproveitamento hidroelétrico do curso principal do Rio Iguaçu, permitindo a instalação de 1.050 MW, capacidade final.

Itumbiara - projetada para ter a capacidade instalada de 2.100 MW, Itumbiara é a maior usina do sistema furnas no Rio Paranaíba. Ela alcançou o maior índice técnico de nacionalização de equipamento: 87%.

Emborcação - localiza-se no Rio Paranaíba, perto do município de Cascalho Rico (MG). Sua construção está sendo levada a efeito pela CEMIG e a entrada em operação foi prevista para 1982, com uma potência de 1.000Mw.

Porto Primavera - localizada a 28 km a montante da confluência do Rio Paraná com o Rio Paranapanema, é o maior aproveitamento hidroelétrico em construção pela CESP com capacidade final de 1.800 MW. Provida de eclusa, faz parte do sistema de navegação Paraná/Tietê. Em junho de 1980, iniciaram-se as atividades na obra principal, com o desvio do Rio e a construção da eclusa temporária, que garantirá continuidade à navegação durante o período de construção. O primeiro dos 18 grupos de 100 MW deverá entrar em operação em fins de 1986.

Itaipu - será a maior usina hidroelétrica do mundo, com potência instalada de 12.600 MW, constituída por 18 unidades geradoras com capacidade de 700 MW cada uma. A primeira unidade deverá entrar em operação em 1983.

O represamento do Rio Paraná, próximo à Foz do Iguaçu, inundará uma área de 1.460 Km², sendo 835 km² no Brasil e 625 km² no Paraguai, constituindo um reservatório de 29 bilhões de m³.

O potencial hidroelétrico brasileiro, estimado em 213.000 MW, foi obtido pelo estudo sistemático das principais bacias hidrográficas do país.

A maior delas é a parte brasileira da Bacia Amazônica, que possui 3.985.000 km² de uma bacia hidrográfica total de 6.300.000 km² (os outros 2.315.000 km² estão fora do Brasil, nos países limítrofes).

A segunda bacia hidrográfica em tamanho é a do Rio Paraná. Na sua parte brasileira tem-se 1.237.000 km². Segue-se a bacia do Atlântico-Norte-Nordeste, constituída de rios menores que correm diretamente para o Atlântico, possuindo 885.000 km².

Contam-se, ainda, a Bacia Araguaia - Tocantins, com 803.000 km²; a Bacia do São Francisco, com 631.000 km²; a Bacia do Atlântico Leste, composta pelos rios que correm para o Atlântico na região Leste do Brasil, com 569.000 km²; a Bacia do Atlântico Sudeste, com 224.000 km² e a Bacia do Rio Uruguai, com 178.000 km².

Do ponto de vista regional, tem-se utilizado a divisão normal do Brasil nas suas cinco regiões geográficas, mas, para efeito de recursos hídricos, desmembra-se a região Centro-Oeste, incorporando uma parte à região chamada Norte/Centro-Oeste, que considera os rios da Amazônia, e outra região Sudeste/Centro-Oeste, que inclui os rios da Bacia do Paraná.

3.2 Aspectos Ambientais e Sociais

Ao inundar uma área, são introduzidas profundas alterações na região circunvizinha. De um lado, o volume de água necessário para a geração de energia prevista pressupõe reservatórios que, dependendo da topografia, ultrapassam 100 km de extensão.

Assim, uma região com determinada dinâmica em suas relações ecológicas e sociais, ao ter um rio transformado em extenso lago artificial, sofre uma série de transformações ou impactos. Para o estudo dessas transformações e ecológicas e sociais, a CESP dispõe de um Modelo Piloto de Projeto Integral. Esse Modelo objetiva associar a inadiável preservação dos recursos naturais ao desenvolvimento social que as novas condições do reservatório possibilitam à região. (7)

E, na situação brasileira, acredita a CESP que os grandes projetos, aqueles que provocam significativa intervenção numa cidade ou numa região, devam manter, além do tratamento técnico específico, um melhor desenvolvimento - quer urbanístico, quer regional - das condições sociais.

A transformação de um rio em um grande reservatório provoca, conforme dito anteriormente, profundos desequilíbrios ecológicos, para os quais devem ser encontradas soluções conciliatórias, em tempo hábil, sob o risco de perdas irreversíveis.

De início, verifica-se a formação de novos ecossistemas como o ecossistema aquático, determinado pela transformação do rio em uma grande massa líquida. Essa alteração provoca novas condições limnológicas (limnologia é a parte da biologia que trata das águas doces e de seus organismos, principalmente do ponto de vista ecológico). E, portanto, novas cadeias biológicas surgirão, desaparecendo certos tipos biológicos do ecossistema anterior. Também, o ecossistema terrestre se altera, na medida em que áreas são inundadas, e em consequência certos tipos de solo e de vegetação tornam-se inadaptados para o novo ecossistema. A fauna que tinha seu habitat na mata inundada corre o risco de ser inteiramente dizimada. Tor

na-se necessário, então, integrar os novos ecossistemas, restabelecendo-se o equilíbrio. Para isso, levantamentos e estudos devem ser feitos com a devida antecipação.

A fim de que os ecossistemas sejam entendidos, há a necessidade de estudos do meio ambiente biofísico, nas condições existentes antes das obras, e de estudos prospectivos na fase do enchimento e após a formação do reservatório. Com isso, será possível detectar fatores negativos e propor soluções, em tempo hábil, para garantir a recomposição da paisagem e o reequilíbrio ecológico.

O ecossistema assim constituído pode provocar alterações dos valores naturais. Será necessário garantir a proteção de elementos, tais como:

- Fauna Terrestre (com refúgios, alimentos, etc);
- Fauna Aquática (estação de piscicultura, cadeia limnológica, etc);
- Vegetação (reservas florestais, áreas a reflorestar, viveiros, florestas, etc);
- Solo (evitar erosão e assoreamento, prover legislação dos novos usos, etc);
- Recomposição paisagística (canteiro de obras, áreas de empréstimos, etc).

Os estudos sócio-populacionais deverão abranger três fases, com características bem definidas:

- antes das obras (levantamento dos assentamentos humanos e de suas atividades);
- durante as obras de construção da barragem e do enchimento do reservatório (providências para relocação das populações atingidas, minimização dos prejuízos na economia regional, relocação do sistema viário e da infraestrutura a ser atingida pela inundação etc);

- após a conclusão do reservatório (análise e estudo das múltiplas possibilidades sócio-econômicas que se abrem).

Certas situações deverão merecer estudos especiais para que, de um lado, a nova situação não prejudique as condições sócio-econômicas; de outro, possamos tirar partido para melhores benefícios:

- cidades lacustres(isto é, cidades que repentinamente se situarem às margens do reservatório);
- regiões ilhadas (áreas que pela configuração do reservatório fiquem total ou parcialmente ilhadas do restante da região);
- travessias (para que trechos de regiões homogêneas situadas em margens opostas não fiquem totalmente desvinculadas).

Sendo os estudos bastantes diversificados e sobretudo havendo cruzamento em vários ítems, a CESP propõe um roteiro de trabalho a ser desenvolvido em quatro etapas, obedecendo às necessidades de aplicação de seus resultados:

a - Etapa de Levantamento

São os levantamentos iniciais do meio ambiente físico, do meio ambiente biológico e do meio ambiente social. Com isso, ficam caracterizados os ecossistemas na situação anterior à construção da barragem.

Constituem-se nos elementos básicos para o estudo de uma aproximação perspectiva que permita a detecção dos problemas que possam surgir com o enchimento do reservatório.

Além disso, levantamentos dos assentamentos humanos, urbanos e rurais, com suas atividades econômicas, educacionais e culturais, são necessários para analisar as possibilidades de desenvolvimento.

A partir desses levantamentos, será possível elaborar estudos e propostas para a delimitação da área a desapropriar; para os impactos provocados durante a construção e o enchimento; e, finalmente, para o reequilíbrio ecológico e possibilidades do aproveitamento do potencial das novas condições, após o enchimento.

Portanto, o plano de levantamento constitui a base para todos os estudos posteriores.

b - Etapa de Desapropriação

São os estudos e propostas para a demarcação da área a ser desapropriada, após os estudos hidráulicos, ecológicos e sociais, atendendo aos requisitos de necessidades energéticas, reequilíbrio ecológico e de deseenvolvimento das novas possibilidades quanto aos aspectos social, educativo, turístico e econômico.

Os levantamentos e os estudos procedidos no plano de levantamento possibilitam determinar áreas que devam ser incorporadas à desapropriação, sob o ponto de vista:

- do reequilíbrio físico (proteção do solo, água e microclima);
- do reequilíbrio biológico (incorporação das matas significativas localizadas próximo ao reservatório, matas para refúgio da fauna, reserva florestal, patrimônio paisagístico etc).

Finalmente, o estudo da desapropriação deverá estabelecer os critérios para avaliação e determinação dos preços básicos das terras e das benfeitorias.

c - Etapa de Enchimento

Durante a fase da construção da barragem e do enchimento do reservatório ocorrem situações e alterações

cujos impactos devem ser estudados para que respostas mitigadoras sejam implantadas em tempo hábil, a fim de minimizar possíveis prejuízos, tanto ecológicos como sociais.

Assim, quer do ponto de vista ecológico (por exemplo, salvamento da fauna ilhada, salvamento ictiológico, preparo dos novos habitats para a fauna, processo de desmatamento etc), quer do ponto de vista sócio-econômico (transferência da população a ser atingida pela inundação, remanejamento dos trechos do sistema viário a serem inundados, prevenção sanitária, prevenção contra picadas e mordeduras de animais fugitivos da inundação etc). Os efeitos devem ser estudados com a necessária antecedência.

Finalmente, a data de início do fechamento das comportas deverá ser estipulada levando em conta entre outros aspectos:

- estação das chuvas;
- conclusão das desapropriações;
- detecção de possíveis áreas de erosão e assoreamento;
- término da colheita de safras pendentes;
- término da relocação do sistema viário;
- término da relocação da rede de infraestrutura;
- preparação dos novos habitats para a fauna;
- época de reprodução ictiológica;
- necessidades de geração.

d - Etapa de Utilização

O grande potencial de aproveitamento que assume um reservatório em relação à sua região de influência torna, com o passar do tempo, mais premente a sua utilização.

Assim, além da geração de energia, a utilização do reservatório deve destacar duas outras atividades :

- reequilíbrio e preservação dos recursos naturais;
- uso múltiplo (recreativo, turístico, cultural, econômico etc).

Para isso, o presente roteiro propõe a elaboração de dois trabalhos, e que regerão todo o plano de utilização:

- plano diretor ou reservatório;
- código de represas.

Para a elaboração desses dois estudos são necessárias análises das seguintes situações:

- reequilíbrio do meio ambiente físico, biológico e social;
- possibilidades industriais e comerciais que se abrem;
- providências complementares.

A adaptação do modelo piloto elaborado pela CESP às condições específicas de um determinado reservatório deverá conter as necessárias adequações, particularizações e detalhamentos.

Para cada uma das quatro etapas, a lista de cada análise deve incluir objetivos, metodologia e produtos.

3.3 Análise dos Impactos Ambientais

Os sistemas fluviais são ambientes complexos e se distinguem uns dos outros por suas características individuais. Os ambientes de rios tropicais em particular, com sua infinita diversidade de fauna e flora possuindo características físicas e químicas altamente inconstantes, são

conhecidos por serem mais complexos que os ambientes de rios em outras zonas ecológicas da terra. Um dos princípios mais importantes e difundidos da ecologia é a estabilidade de um ecossistema como função do equilíbrio de organismos nele imersos (homeostase). Conseqüentemente, os ecossistemas complexos, normalmente saturados, onde quase todos os habitats ecológicos (e dentro destes, os micros-habitats) são povoados e explorados por muitas espécies, são os menos prováveis de serem gravemente perturbados pela alteração de alguns habitats ou pela eliminação de certas espécies de organismos. Por outro lado, os ecossistemas elementares, ou não-saturados, onde poucas espécies de organismos e habitats estão envolvidos, são os mais sensíveis a uma alteração catastrófica por mudanças ambientais que removem ou destroem os habitats ou eliminam algumas espécies. Segue-se que uma adaptação a uma rápida alteração ambiental ocorre mais facilmente e com um menor grau de perturbação da produção biológica básica nos sistemas complexos. Da mesma forma, as grandes flutuações de população tendem a ser mais efetivamente moderadas nos sistemas complexos-. (49)

À luz desses princípios básicos de ecologia, as alterações ambientais resultantes do aproveitamento de recursos hídricos apresentam menor possibilidade de perturbar a produção biológica efetiva, por exemplo, na Ásia Tropical do que na árida África, na Europa ou no Ártico. Contudo, mesmo nos ambientes complexos, existem níveis limites de perturbação que, se excedidos, resultam em uma recuperação demorada.

O impacto essencial do aproveitamento da energia hidráulica consiste em alterar as condições do reservatório ou curso d'água, a fim de satisfazer as demandas de energia elétrica. Dessa maneira, surgem os conflitos entre a geração de energia e a administração dos recursos hídricos.

Os danos ambientais resultantes da construção de barragens são diversos, formando um leque de implicações de largo alcance.

As consequências da construção de uma barragem no meio ambiente podem ser classificadas basicamente em três aspectos: físicos, biológicos e humanos.

A operação dos reservatórios formados representa o principal dano ao ambiente: reduz as flutuações de vazão ao longo do ano e altera a qualidade da água no reservatório, com respeito ao teor de sedimento, temperatura e composição bioquímica.⁽⁵⁶⁾

Os lagos artificialmente criados, em geral, diferem dos lagos naturais em nível de água; neste caso, sujeitos a amplas flutuações, especialmente no caso de sistemas de bombeamento, em que se torna difícil a estabilização das margens do reservatório.

Estudos realizados em lagos naturais (por exemplo, o lago Balaton na Hungria) têm revelado que a regulação da superfície d'água em lagos pouco profundos é de fundamental importância para as condições de controle das vidas micro e macro-biológicas e dos processos biológicos nelas envolvidas.

O impacto do represamento é talvez maior no caso dos rios. As usinas hidroelétricas tendem a aumentar o fluxo dos rios em épocas de seca, ainda que sua influência seja prejudicial nos períodos de cheia. No interesse da geração de energia nas usinas, o nível do reservatório é mantido o mais alto possível antes da chegada das chuvas, porque toda a água represada significa energia potencial.

Conseqüentemente, na estação das chuvas, a grande quantidade de água despejada dos vertedouros da barragem pode provocar uma inundação artificial, aumentando assim a amplitude e o pico dos períodos de inundação.

Algumas vezes quando os períodos de elevada precipitação se antecipam, prenunciando uma enchente, as usinas hidrelétricas são obrigadas, como medida preventiva, a abrir as comportas e liberar parte da água represada.

Contudo, em grandes barragens com vertedouros adequados, tal medida não é necessária, dado que a cota original do reservatório pode ser restabelecida, reduzindo desse modo o pico da inundação, e somente o excesso do fluxo é descarregado pelos vertedouros.

Nesses casos, o excedente do fluxo será extremamente volumoso na jusante do rio, porque a frente da inundação é usada pra preencher o reservatório.

No aspecto físico, as barragens têm invariavelmente alterado os rios e regimes de ecossistemas, de modo que podemos fazer referências dos casos bem conhecidos. A barragem de Assuã no Egito, uma das maiores do mundo, tem sido criticada por contribuir para um desequilíbrio ambiental. A usina, originalmente construída para gerar eletricidade, tem reduzido a população de peixes do mar Mediterrâneo por quebras repentinas da cadeia de nutrientes na sua região oriental. Planctons e compostos orgânicos têm sido reduzidos em cerca de dois terços em virtude da falta de sedimentos no leito do Nilo, atualmente encontrados no reservatório formado pela barragem. Por sua vez as populações de sardinha, cavala e crustáceos têm sido substancialmente aniquiladas na área. A erosão tem-se constituído no principal problema do vale do Nilo, reduzindo conseqüentemente a sua fertilidade pela ausência de

sedimentos. Já uma parte dos $2,4 \times 10^6$ ha da terra egípcia cultivada necessita fertilizantes artificiais, e espera-se o mesmo do restante num futuro imediato. A salinidade no médio e no alto Egito está aumentando rapidamente e, segundo previsão dos agrônomos ~~os~~, será bastante dispendioso corrigir essa situação. ⁽⁴⁾

Visto que praticamente todas as usinas construídas para produzir eletricidade nos últimos anos têm sido igualmente utilizadas para outros fins, principalmente a irrigação em muitas partes do mundo, as barragens também contribuíram com outras mudanças em seu sistema físico normal. Dentre elas, a deterioração da fertilidade do solo e a resultante perda de capacidade agrícola da terra devido à salinidade ou alcalinidade. Antigamente, o Paquistão sozinho perdia 24.280 ha de lavoura todo ano, ao passo que hoje cerca de 10% do total da agricultura peruana são afetados pela degradação da terra devida à salinização. Entre outras áreas atingidas pela salinização estão o Vale Helmand, no Afeganistão; os Vales Punjab e Indus, na Índia; o Vale Mexcali, no México; o Vale Imperial na Califórnia; e as Bacias dos rios Tigre e Eufrates no Iraque e na Síria. Um estudo dos mais modernos projetos de irrigação do Vale Punjab mostra que a infiltração de canais tem, nos primeiros 10 anos de operação, elevado o nível do lençol freático de 7 a 9 m em relação àqueles registrados desde 1835. Em escala global, um mínimo de 300.000 ha de terra irrigada são perdidos todo o ano devido à salinização ou alagamento. Estudos atuais indicam que $20-25 \times 10^6$ ha de terra atualmente salinos, foram férteis e produtivos antigamente.

A possibilidade de provocar terremotos pela construção de grandes barragens é outro problema ambiental que a-

Ué agora não tem recebido adequada atenção. O desastre da barragem de Koyna, em dezembro de 1967, na Índia, que resultou em ~~massivas~~ perdas de vida e consideráveis avarias de propriedade, foi devido a um terremoto cujo epicentro coincidiu com a própria barragem. Vários estudos recentes indicam que a atividade sísmica pode ser atribuída diretamente à construção de barragens e ao enchimento de reservatórios. Alguns dos tremores assim induzidos podem atingir magnitudes até seis na escala Richter e ocasionar notáveis prejuízos. Em geral, os distúrbios sísmicos podem ser devidos à existência de falhas inativas e parece provável que o efeito de forças conjuntas contribua para que barragens e reservatórios liberem tensões orogênicas de grandes intensidades. Investigações realizadas na barragem de Kariba parecem confirmar esta hipótese. Da mesma maneira, parece que na indução de terremotos, a altura da coluna d'água é um parâmetro mais importante que o volume total do reservatório. A atividade sísmica torna-se pronunciada quando as profundidades dos reservatórios excedem 100m.

É evidente que os efeitos do aproveitamento dos recursos hídricos se manifestam de forma extremamente direta nas terras alagadas e no ambiente aquático. No sistema hidrológico, os maiores impactos da construção de barragens usualmente aparecem através de mudanças na qualidade da água e na administração de seus recursos.

A deposição dos sedimentos transportados pelas águas dos rios ocasiona nos reservatórios inúmeros problemas ambientais. Além de elevar o nível do reservatório, a sedimentação remove ricas camadas de nutrientes do fluxo residual dos rios, que permanecem, em grande parte, aprisionadas no substrato lacustre. Mudanças repentinas na qualidade e quantidade dos sedimentos acompanhadas de alterações no regime natural das cheias são ti-

das como causadoras de danos à agricultura e à produção de peixes. Menciona-se frequentemente que no caso da grande barragem de Assuã, devido à perda anual de depósitos de sedimentos, os fazendeiros egípcios são obrigados a gastar milhões de dólares todo ano para a aquisição de grandes quantidades de fertilizantes, para recompor o solo em matéria de nutrientes.

Alterações na qualidade da água semelhantes às anteriores, dependeriam do volume e do teor de nutriente do sedimento transportado pelo rio em questão e, também, da contribuição de sedimento dos afluentes desse rio a jusante da barragem. Por exemplo, uma análise cuidadosa do problema do sedimento no rio Mekong, na Indonésia, indicou que o teor do sedimento de suas águas variou de um mínimo de 20-40 ppm, entre janeiro e maio, a um máximo de 500 ppm, em agosto de 1974. Isto demonstra que o Mekong é um rio relativamente limpo, transportando uma pequena quantidade de sedimentos, comparado ao Nilo (1500 ppm) e ao Mississippi (1750 ppm). Além disso, a análise do Mekong mostrou que a deposição de sedimento não aumenta consideravelmente a fertilidade do solo no Delta desse rio. Se o papel do sedimento na agricultura é avaliado sem a consideração de outros efeitos colaterais, o controle da água é a maneira mais importante de aumentar consideravelmente a produção agrícola nos deltas dos rios.

Um outro desastre, resultante da deposição de sedimento na barragem de Assuã, é a queda da pesca da sardinha (cuja produção anual era estimada em 18000 t). Desde que o desaparecimento da sardinha coincidiu

diu com a conclusão dessa barragem, suspeita-se que a cadeia de nutrientes no Mediterrâneo Oriental vem sendo perturbada, ao longo de uma faixa da Plataforma Continental de 12 milhas de largura por 600 milhas de comprimento. Não há estudos das características ambientais do Mediterrâneo anteriores à construção da barragem, tampouco existem avaliações estabelecendo uma relação de causa e efeito entre a barragem e o desaparecimento das sardinhas, embora as considerações que suportam essa hipótese estejam teoricamente corretas.

A deposição de sedimentos em reservatórios e as alterações no regime de sedimentação em áreas deltaicas, combinadas com o crescente impacto das correntes marinhas na costa, têm sido as responsáveis pela erosão e desmoronamento das costas dos deltas. A erosão anormal do leito, do substrato e das margens dos rios e dos vertedouros dos reservatórios é, em muitos casos, observada. Os efeitos adversos de tal erosão são evidentes. A erosão do litoral pode causar a perda de valiosas terras nos deltas. O arraste de material dos leitos e margens dos rios pode resultar no desmoronamento de barragens, pontes e outras estruturas. A erosão de reservatório pode reduzir a produtividade biológica por uniformizar a configuração do reservatório e diminuir a quantidade de nutrientes, ninhos de peixes e abrigos terrestres.

A erosão é o resultado da interação de várias forças naturais: água, clima, tempo e substrato. As alterações ambientais devidas a excessivas erosões ocorrem naturalmente, mas elas não precisam necessariamente ser agravadas pelas atividades de aproveitamento dos rios. Exemplos de um ou mais desses efeitos adversos são fornecidos pela barragem de Assuã, pelos lagos Kainji, no rio Niger, e Rybanski, na União Soviética.

A transformação do rio em um lago pela construção da barragem afeta a pesca fluvial de muitas maneiras. As duas premissas mais importantes para a compreensão de tais efeitos, relativas a conceitos modernos de proteção e administração da pesca, são as seguintes:

1 - O repressamento altera drasticamente o ambiente fluvial através de mudanças substanciais na natureza morfo-ecológica dos rios. Regiões de correnteza são convertidas em ambientes relativamente estáticos, transformando radicalmente a ecologia longamente estabelecida no local. Além disso, são verificadas alterações no regime de temperaturas, no volume e nos ciclos de descarga, na velocidade das correntezas, no substrato e no teor mineral das águas. Tanto as alterações qualitativas como as quantitativas ocorrem na cadeia alimentar e nos nutrientes disponíveis. Os peixes, estritamente adaptados a uma série específica de condições ambientais, não conseguem resistir às súbitas alterações ~~ambientais~~, principalmente àquelas além de seus limites naturais. Consequentemente, muitos componentes da fauna fluvial podem ser prejudicadamente afetados pelas repentinas e violentas alterações subseqüentes à construção da barragem.

2 - Em muitas espécies de peixes, as populações somente são preservadas mediante áreas específicas de desova ou ninhos. Quando as barragens impedem o acesso dos peixes às áreas de desova, uma determinada espécie pode ser exterminada.

Os ambientes dos rios tropicais apresentam violentas flutuações sazonais. Como uma medida de adaptação aos fatores ambientais largamente flutuantes, muitas das espécies de peixes que habitam esses rios têm desenvolvido uma extensa faixa de tolerâncias.

Um rio tropical possui um regime condicionado às estações e, por isso, é um ambiente altamente instável.

No sistema do rio Mekong, por exemplo, o fator condicionante são as monções. Nos rios tropicais, em geral, as cheias repentinas e as inundações em larga escala são características comuns. A amplitude da variação anual da vazão entre os períodos de seca e cheia é muito elevada; no rio Mekong, em Kratie (República do Khmer), a média varia entre $1.764 \text{ m}^3/\text{s}$, no período seco, e $52.000 \text{ m}^3/\text{s}$, durante a cheia.

No baixo Mekong, as temperaturas da água geralmente são elevadas e flutuam dentro da faixa de 20 a 37°C em diferentes pontos durante os vários meses do ano. A concentração iônica (ph) varia entre $6,0$ e $8,2$, e os valores do oxigênio dissolvido estão entre $2,8$ e $7,5$ ppm, valores deficientes e saturados, respectivamente.

Mais de 400 espécies diferentes de peixes têm sido registradas na Bacia do baixo Mekong. Ao contrário, a bacia do rio São Lourenço, no Canadá, na Zona Temperada, a 45° de latitude norte, possui apenas 150 espécies. No rio Mekong, as carpas, os bagres e os arenques constituem 80% da fauna aquática.

O ciclo de vida de uma grande maioria de peixes depende proeminentemente da cheia anual e do ciclo de inundação em muitos rios tropicais. Com a chegada das cheias e a resultante submergência dos CAMPOS, valas, pântanos e outras áreas baixas, consideravelmente distantes de ambas as margens do rio, uma parte predominante da população de peixes migra para as áreas inundadas, principalmente para desovar. As distâncias percorridas nas migrações laterais e a duração da permanência na zona inundada diferem com as diferentes espécies, dependendo de suas exigências fisiológicas e tolerâncias ambientais. Peixes com

baixas demandas de oxigênio, ou aqueles possuidores de outros mecanismos respiratórios além de GUELRAS, como os BAGRES e outras espécies similares, permanecem por muitos períodos nas zonas periféricas inundadas, onde o oxigênio dissolvido e o pH são geralmente baixos, devidos à decomposição de matéria orgânica e à vegetação terrestre submersa. Outros - como as carpas, que geralmente requerem altas taxas de oxigênio e são menos tolerantes às flutuações de pH que os anteriores - habitam a zona imediatamente inundada, nela desovam e são os primeiros a voltar para o rio com o abaixamento do nível das águas no período da seca. Se o nível abaixa rapidamente, como acontece durante os anos de chuvas relativamente esparsas, grande número de ovos e filhotes ficam encalhados e morrem devido à dessecação. Ao contrário, quando as águas permanecem por um período relativamente longo, como nos períodos de chuva pesada, pode haver mortalidades de peixes miúdos em larga escala devidas à desoxigenação e às fortes alterações de pH resultantes da decomposição da matéria orgânica em inundações.

A inundação anual, portanto, é de elevada importância para a propagação e a sobrevivência da grande maioria dos peixes de rios tropicais. Qualquer programa de aproveitamento dos rios que elimina completamente a inundação anual está destinado a causar alterações na produção natural de peixes e consequentemente causar prejuízo à pesca.

Muitas espécies de peixes de rios tropicais se desenvolvem em ambientes lacustres relativamente estáveis que substituem os ambientes tropicais altamente flutuantes acima da barragem. Observa-se que, em consequência da criação de reservatórios diferentes, 2 a 30% das espécies originais de rios têm desapare

cido dependendo da localização da barragem. Apesar da redução do número de espécies, tem ocorrido de maneira invariável um aumento na produção de peixes nos rios transformados em reservatórios, como resultado das grandes quantidades de nutrientes que se desenvolvem nesses "tanques". Para citar dois exemplos notáveis no rio Mekong, o reservatório de Nam Pong, na Tailândia, tem produzido uma média anual de 1.600 t, enquanto o reservatório de Nam Ngum, no Laos, produz 1800 t anualmente. Em vista do exposto parece irônico que apesar da magnitude dos benefícios gerados, a pesca é frequentemente relegada a um papel secundário nos projetos de aproveitamento dos recursos hídricos.

Dado que muitas espécies de peixes de rios tropicais se adaptam à vida nos ambientes relativamente estáticos de lagos ou zonas inundadas próximas dos rios, uma grande maioria atualmente se desenvolve nos novos ambientes relativamente estáticos dos lagos artificiais. Enquanto que, evidentemente, umas poucas espécies localmente desaparecem nos lagos formados pelos rios represados, esta perda é mais que compensada pelo aumento na atual produção de peixes.

Um exemplo em questão é o repentino declínio verificado na pesca indiana nas áreas costeiras da Baía de Bengala e no estuário de Hooghly, coincidindo com a construção da barragem de Maithon, em 1957; a terceira a ser construída dentro de uma série no Vale Damodar, na Índia. Esse declínio foi atribuído à dessecação de uma faixa de desova de 90 milhas nos rios Damodar e Rupnarain. Contudo, desde 1972, há indícios do crescimento dessa população, talvez como resultado do aumento da sobrevivência nas áreas de desova adjacentes ao estuário de Hooghly.

Os estuários estão entre os ecossistemas mais altamente produtivos da terra. Esta produtividade é usualmente atribuída às ações recíprocas delicadamente equilibradas entre vários fatores vitais e não vitais em áreas extraordinariamente férteis e pouco profundas. Entre eles, são decisivos os seguintes fatores: os nutrientes que regularmente adentram o organismo do estuário e nele são rapidamente reciclados; os substratos permanentemente carregados de nutrientes nas zonas fóticas; a ausência de qualquer tipo de predador, e a otimização do ecossistema mediante um delicado equilíbrio, uma forma de comportamento longamente desenvolvida na qual as larvas e os hospedeiros jovens e adultos de diversos organismos utilizam os nutrientes em períodos diferentes e com isso minimizam a competição. Os estuários são viveiros valiosos para muitas espécies, sejam elas de água-doce ou marinhas.

Tornou-se quase uma evidência postular que as barragens interrompem os ciclos vitais dos peixes por inibir ou obstruir suas migrações e conseqüentemente levar a pesca a um declínio. Algumas conseqüências desastrosas da construção de barragens têm, realmente, ocorrido com certas espécies de peixes que realizam migrações em longas distâncias, segundo as necessidades de permanência para a desova.

Um grupo importante de peixes migradores nos trópicos é constituído por enguias. Essas enguias crescem e tornam-se adultas em rios de água-doce e, na maioria, migram para desconhecidos leitos de desova no oceano. As enguias jovens retornam aos rios de água-doce a fim de completar o seu ciclo de vida. Elas possuem um considerável valor comercial tanto como mercadoria local quanto como artigo de exportação. Considerando-se a resistente natureza das en-

guias, e sua capacidade de sobreviver fora d'água por prolongados períodos, somente as grandes barragens podem limitar sua produção

As espécies importantes de peixos que são conhecidas por realizar migrações internas em rios tropicais asiáticos, e que podem ser prejudicialmente afetadas pela construção de barragens, quer como um resultado de alterações ambientais produzidas por barragens, quer como obstrução às migrações, incluem bagres e lagostas, entre outros. As lagostas de água-doce proporcionam uma pesca altamente valiosa em rios e estuários e possuem um grande potencial para a aquicultura com uma demanda crescente nos mercados local e inter-nacional. Essa espécie é conhecida por passar sua vida adulta em áreas de água-doce e migrar para estuários e águas salobras para desovar, onde a salinidade ambiental é um fator importante para a reprodução e sobrevivência dos jovens. As alterações no regime de salinidade causadas pelo represamento dos rios a montante são conhecidas por afetar essa espécie. Um declínio na pesca da lagosta de água-doce devido à construção de barragem foi verificado nos estuários de Krishna e Godavari, na Índia. No rio Mekong, estão sendo desenvolvidos estudos para esclarecer o problema e, além disso, desenvolver em larga escala a cultura das espécies como uma medida preventiva tomada contra os possíveis efeitos adversos da construção de barragens.

A estratificação, que é um efeito derivado da tendência das camadas de água mais quentes e leves de flutuar sobre as mais densas e frias, é um fenômeno sazonalmente observado nos reservatórios profundos. Quando um reservatório é termicamente estrati-

ficado, o oxigênio das camadas anteriores é prontamente esgotado nas camadas mais profundas. Nelas, é produzido ácido sulfídrico, liberando um forte odor e provocando o afastamento dos peixes. Contudo, nos profundos reservatórios tropicais onde geralmente ocorre a estratificação, os primeiros dez metros sempre permanecem bem oxigenados em consequência da ação do vento e do oxigênio produzido pela abundância da vegetação microscópica (fitoplancton). A estratificação é frequentemente interrompida com a chegada dos ventos fortes, durante as monções, e durante o período das chuvas pesadas. A forte presença do ácido sulfídrico nos reservatórios profundos resulta da deterioração da vegetação submersa e da decomposição da matéria orgânica que se aloja no fundo. Coincidindo com o esgotamento de oxigênio, isso pode causar uma dizimação dos peixes durante os meses ou anos iniciais da formação do reservatório ou quando ocorre uma alteração nas massas de água.

Contudo, por outro lado, a ação fertilizante da deterioração da vegetação provoca uma proliferação notável de fitoplancton, que é a base de produção de toda a vida aquática, inclusive a dos peixes. É a esta ação fertilizante da vegetação que se atribui a alta produção de peixes nos reservatórios tropicais.

Uma das consequências indesejáveis da formação de lagos artificiais é a proliferação nociva da macrovegetação aquática. Possivelmente, quase todas as grandes usinas hidroelétricas têm sido afligidas com uma ou mais espécies nocivas da vegetação aquática. Os principais ofensores nesta categoria são os jacintos d'água, os aguapés e as salvinhas.

Além de serem agentes transmissores de doenças, os vegetais nocivos impedem o fluxo d'água e a navega-

ção por obstruir as hidrovias com o seu crescimento abundante. As populações de peixes são prejudicadas em consequência desses vegetais impedirem a passagem de energia solar para o fitoplâncton e dos efeitos poluentes da decomposição e morte das ervas daninhas.

O efeito negativo mais evidente do represamento ao ambiente terrestre é a perda de terras agrícolas através da inundação. A perda de matas valiosas, de terras de pastagem ou de áreas de caça de animais de grande porte também concorre para aumentar consideravelmente os prejuízos. A sobrevivência de plantas raras ou espécies animais com determinadas exigências de habitat pode ser comprometida através da submersão do habitat especial.

Com estudos e investimentos adequados, é possível, contudo, reparar essas perdas, mediante o desenvolvimento da pesca e controle nos lagos artificiais, e o desenvolvimento de áreas de pastagem, utilizando a água dos reservatórios para irrigação. Além disso em virtude da substancial importância econômica das lavouras que podem ser cultivadas nas terras irrigadas com a água dos reservatórios, a perda de matas de baixo valor provavelmente não chega a ser muito significativa para a economia de um determinado País.

Enquanto os problemas do represamento são bem conhecidos dos ecologistas, ignora-se frequentemente que os lagos artificiais podem também criar benfeitorias ambientais, estimulando a criação ou a ampliação de reservas florestais nas vizinhanças (por exemplo os lagos Kainji e Volta). As ilhas e penínsulas isoladas no lago constituem excelentes oportunidades para o desenvolvimento de parques e reservas silvestres.

O fluxo das nascentes varia em consequência da infiltração dos lagos artificiais dependendo, evidentemente, da permeabilidade do substrato. Em alguns casos, devido a variações na pressão d'água e à direção de seu fluxo, a superfície de algumas áreas eleva-se ao ponto de produzir o efeito de lodaçal, prejudicando o uso agrícola dos solos. As perdas por infiltração, dependendo de sua magnitude, chegam a deteriorar a capacidade de represamento de uma barragem. Um exemplo frequentemente citado é o lago Nasser, no Egito, onde a infiltração lateral é estimada em $1.000 \times 10^6 \text{ m}^3$ por ano, representando 0,6% da capacidade do lago.

Por outro lado, é sabido que os terremotos têm acompanhado a construção de uma série de barragens em várias partes do mundo. A atividade sísmica que se segue ao enchimento de reservatórios, particularmente aqueles com mais de 100 m de profundidade, tem sido notada em regiões tão divergentes, de um ponto de vista geológico, como a depressão do rio Zambezi, ou uma planície grega. Visto que não há unanimidade entre os geólogos a respeito das agentes causadores dessa atividade sísmica, existe um consenso geral de que tal atividade ocorre onde as massas rochosas já estavam a ponto de deslizar, e onde a infiltração nas falhas pode lubrificar e induzir o deslizamento dos blocos de rocha a produzir tremores.

A construção de barragens também acarreta alterações climáticas; a importância das alterações depende do tamanho do lago formado e do grau de modificação dos - e interação com - fatores naturais que determinam o clima existente. Esses efeitos se manifestam sob forma de nevoeiros, onde as tempe-

raturas do ar ambiente caem abaixo daquelas da superfície d'água. Em alguns casos, como o do lago Rybanski, na zona temperada da União Soviética, a precipitação normal pode diminuir na primavera e dobrar no outono. Os efeitos climáticos são percebidos num raio de 2 a 15 km em torno do lago, podendo embaraçar o planejamento de utilização das terras imediatamente adjacentes ao lago. Todavia, a análise de dados meteorológicos adequadamente coletados antes da construção da barragem pode tornar possível a previsão de efeitos climáticos e, inclusive, a adaptação dos planos de utilização da terra aos anúncios dos efeitos climáticos.

3.4 Análise dos Problemas de Saúde

O reassentamento da população desalojada pela transformação do rio em reservatório e a disseminação de doenças na água são dois dos maiores problemas resultantes diretamente do aproveitamento dos recursos hídricos. A história da criação de lagos artificiais tem registrado o remanejamento de centenas de milhares de pessoas, inclusive, com muitos exemplos de assentamentos inadequados devidos a inúmeras dificuldades - particulares e de ordem geral - de adaptação, como os observados na África e na Ásia Tropical.

A barragem de Kariba, no rio Zambesi, desalojou aproximadamente 57.000 pessoas da tribo Tonga, que tiveram de pagar um grande preço pela produção de energia. O que os autores do projeto ou do planejamento, quase sempre estrangeiros, não compreenderam foi a enorme e complexa relação entre as tribos africanas e sua terra.⁽⁴⁾

O programa de reassentamento para a população da tribo Tonga deixou muito a desejar. Não apenas ela sofreu gran

des choques culturais ao ser confinada em comunidades tão diferentes de sua própria, como também passaram dois anos preparando a terra para satisfazer suas necessidades de subsistência. O governo precisou intervir para impedir a fome e outras privações sérias e, ironicamente, esse passo bem intencionado foi provavelmente o mais prejudicial. Os centros de distribuição de viveres acabaram por transformar-se em locais de transmissão da temida moléstia do sono.

Contudo, isto não foi a única ocorrência. Aproximadamente 100.000 pessoas tiveram de ser desalojadas em virtude da construção da barragem de Assuá, sem planejamento adequado e, com isso, o Programa de Alimentação Mundial precisou investir em recursos de alimentação para os nubianos. De maneira idêntica, 80.000 pessoas tiveram de ser desalojadas por causa da barragem de Volta, em Gana, e um Programa de Alimentação Internacional precisou intervir novamente a fim de evitar uma catástrofe maior.

A rápida disseminação de doenças, tendo a água como meio transmissor, está associada, com muita frequência, às alterações no meio ambiente aquático provocadas pela construção de barragem. Em diversas partes da África, a criação de enormes ambientes de água parada, isto é, os reservatórios de usinas, favorecem o aumento de populações de caramujos, hospedeiros intermediários da esquistossomose. Isto contribuiu para a disseminação da doença em proporções epidêmicas. As águas paradas e pouco profundas das margens dos lagos, podem, similarmente, fornecer condições ideais para a proliferação do mosquito transmissor da malária e da febre amarela e dos pequenos crustáceos (do gênero Cyclops) hospedeiros intermediários do verme da Guiné (o maior parasita nematóide do homem). Enquanto as águas paradas de lagos artificiais favorecem a disseminação de algumas doenças, as correntezas induzidas pelo flu

xo d'água das comportas da barragem têm, em regiões da África, estimulado a proliferação de um mosquito, vulgarmente denominado "berrachudo" no Brasil, que transmite uma doença conhecida como cegueira dos rios (*oncocercose*).

No caso da Ásia Tropical, onde as águas estagnadas abundam em inumeráveis tanques, pântanos, lagos naturais e outros, as condições de água estagnada favoráveis à proliferação dos transmissores de doença já existiam antes da criação de lagos artificiais. Portanto, a construção de barragens nessa região não se torna um fator de criação de condições favoráveis à disseminação de doenças, embora o aumento da extensão das praias, ou margens, ocasionado pela construção da barragem possa efetivamente funcionar como um meio estimulante na disseminação das doenças. Além do mais, doenças como a cegueira dos rios não ocorrem nessa região da Ásia e a esquistossomose está altamente restrita ao seu caráter endêmico. Por exemplo, na Índia, apesar da construção de um grande número de barragens, não houve indícios da propagação de esquistossomose. Na bacia do Mekong, do mesmo modo, a esquistossomose está limitada a uns pequenos focos. Uma cuidadosa pesquisa na Bacia do Mekong indicou, além disso, que o hospedeiro intermediário do verme trematódeo, parasita do sistema sanguíneo (semelhante ao *Schistosoma Japonicum*), que produz a esquistossomose, é um pequeno molusco anfíbio. Por esta razão, é possível que o aproveitamento dos recursos hídricos não estimule, nessa região, a disseminação da moléstia, a menos que o molusco possa adaptar-se ao ambiente de águas paradas de lagos artificiais.

No entanto, existem outras doenças que são características de certas regiões que podem ser difundidas extensivamente em consequência do ambiente de águas estagnadas

produzido pelas barragens, associadas aos hábitos alimentares do povo. Por exemplo, a paragonimose ou distomatose pulmonar, uma doença parasitária dos pulmões, é contraída pelo homem através da ingestão de lagostins e caranguejos crus ou mal cozidos, ou de água contaminada por metacercárias (fase intermediária do ciclo evolutivo do parasita), que escaparam de crustáceos.

Essa e outras doenças endêmicas do sudeste asiático são largamente disseminados mesmo antes da construção de barragens. Por exemplo, as taxas de infecção de parasitas do sistema hepático atingem 90% em algumas povoações, e as de *A.Cantonensis* até 93%, em certos locais. No Egito, a substituição da irrigação primitiva por uma irrigação permanente causou uma elevada incidência de *S.Mansoni* e *S.Haematobium*. As taxas de infecção em quatro áreas selecionadas, após três anos de introdução da irrigação permanente, subiram de 10 para 44%, 7 para 50%, 11 para 64% e 2 para 75%. A expectativa de vida de homens e mulheres em áreas densamente infestadas são estimadas em 27 e 25 anos, respectivamente. No Sudão, com a introdução desse mesmo sistema de irrigação em 24×10^6 ha, a incidência de parasitas do sistema hepático aumentou grandemente. No Quênia, a esquistossomose assume uma proporção endêmica na área do lago Victoria. A infecção de *S.Mansoni* em crianças estudantes alcança até 100% em áreas permanentemente irrigadas. No leste africano, a irrigação não apenas aumentou a esquistossomose, mas também as infecções de parasitas do sistema hepático e a filariose (*Wuchereria Bancrofti*).

Investigações anteriores às etapas de aproveitamento da Bacia do rio Mekong serviram para focalizar esses problemas e iluminar a necessidade de se tomar medidas corregionais. Quanto a isso, o aproveitamento dos recursos desse rio desempenha, até certo ponto, um papel positivo

em indicar medidas que podem, finalmente, levar ao controle das doenças parasitárias. Contudo, nesse meio tempo, a maneira de incidência dessas moléstias e a natureza de sua propagação constituem parâmetros extremamente importantes para o estudo de como a criação de lagos artificiais e os processos intensivos de irrigação poderiam afetar a disseminação e a intensidade das doenças.

IV. Carboeletricidade

4.1 Descrição da Usina Termoelétrica

No ponto de vista de projeto, uma usina termoelétrica pode ser classificada de acordo com cinco características: número e categoria dos grupos de turbogeradores (potência nominal); número de caldeiras por grupo; tipo do combustível queimado; sistema de transporte do combustível (rodoviário, ferroviário, hidroviário); e tipo de refrigeração em regada. (14)

Projetar uma usina para conter um número de unidades similares conduz inevitavelmente a um arranjo básico no qual as unidades iguais são posicionadas lado a lado em linha ou numa seção dos edifícios. Assim, encontramos uniformidade geométrica em duas direções. Em uma direção estão as linhas paralelas formadas pela casa das turbinas, o grupo de caldeiras, os acessórios elétricos e mecânicos, a seção de transformadores, o depósito de carvão etc., e as fileiras em ângulos retos das unidades de caldeira - turbogerador - transformador.

Embora isso represente o modelo geral, variações podem ocorrer de usina para usina dependendo do projeto estabelecido. As seguintes características, contudo, tornaram-se exemplares:

- (1) instalação de chaminés exteriormente ao edifício da estação com a chaminé servindo a duas ou mais caldeiras.
- (2) precipitadores externos (com ventilação forçada), situados atrás da casa das caldeiras.
- (3) gerador externo e transformadores em frente à casa das turbinas.
- (4) casa das turbinas anexa à casa das caldeiras.
- (5) acessório mecânico entre a casa das turbinas e a casa das caldeiras para a manutenção do nível dos reservatórios de água e frequentemente para controle

- das caldeiras ou bombas auxiliares.
- (6) aquecedores do tipo vertical para a alimentação das turbinas.

As fileiras formadas por caldeira-turbogerador transformador também incluem numerosas interconexões. A lista abaixo reúne as principais interconexões dentro dos limites do edifício da usina:

- (1) dutos de carvão dos depósitos para os queimadores via moinhos.
- (2) dutos de fornecimento de ar à combustão por meio de ventilação forçada e aquecedores de ar para os queimadores.
- (3) tubulação de vapor do superaquecedor via preaquecedor, aquecedores de ar, precipitadores e dutos de ventilação forçada para a chaminé.
- (4) tubulação para o vapor entre a caldeira e a turbina.
- (5) tubulação do condensador e deste para o preaquecedor via aquecedores de alimentação e bombas.
- (6) conexões elétricas entre o gerador e o transformador.
- (7) conexões elétricas entre o grupo de transformadores e os transformadores auxiliares via quadro de distribuição.
- (8) cabos de controle da usina para o centro de controle.

Em ângulos retos, as fileiras paralelas são formadas por:

- (1) depósitos
- (2) correias de transporte
- (3) ralos para escoamento da água circulante na casa das turbinas.
- (4) duto principal da chaminé.

O arranjo físico da casa das caldeiras que proporciona o arranjo ideal das interconexões varia de uma usina para outra. Sempre que possível, faz-se coincidir o nível do

alicerce da casa das caldeiras com o da casa das turbinas, e a base da ferralha com o piso das turbinas. Grande parte das usinas atuais dispõe de um depósito de carvão com capacidade suficiente para emitir vapor a uma taxa contínua durante 24 horas. Para evitar vibração muitos projetistas e operadores preferem os ventiladores ao nível do solo.

As figuras 4.1 e 4.2 exemplificam arranjos típicos da casa das caldeiras. (14)

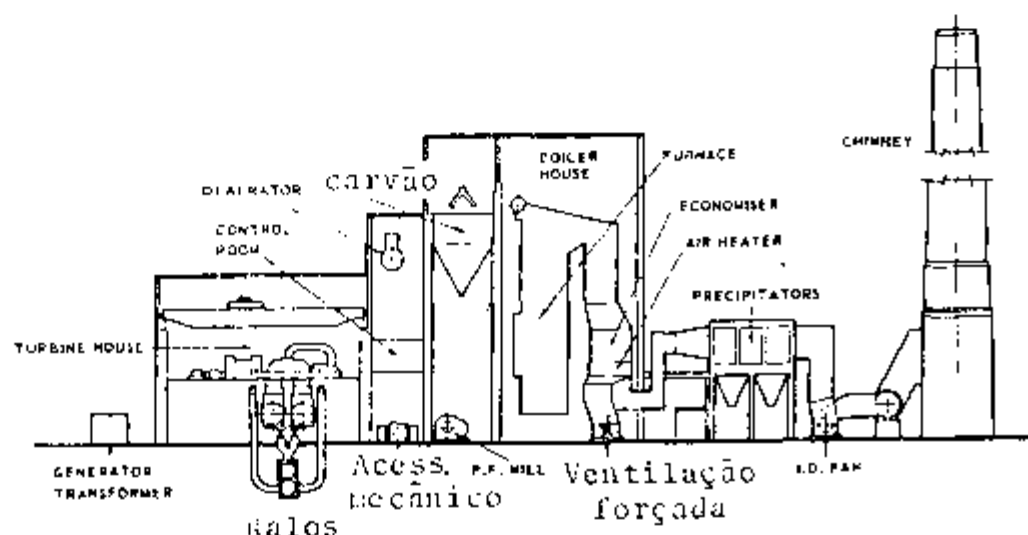


Fig.4.1 - Corte de uma típica casa de caldeiras

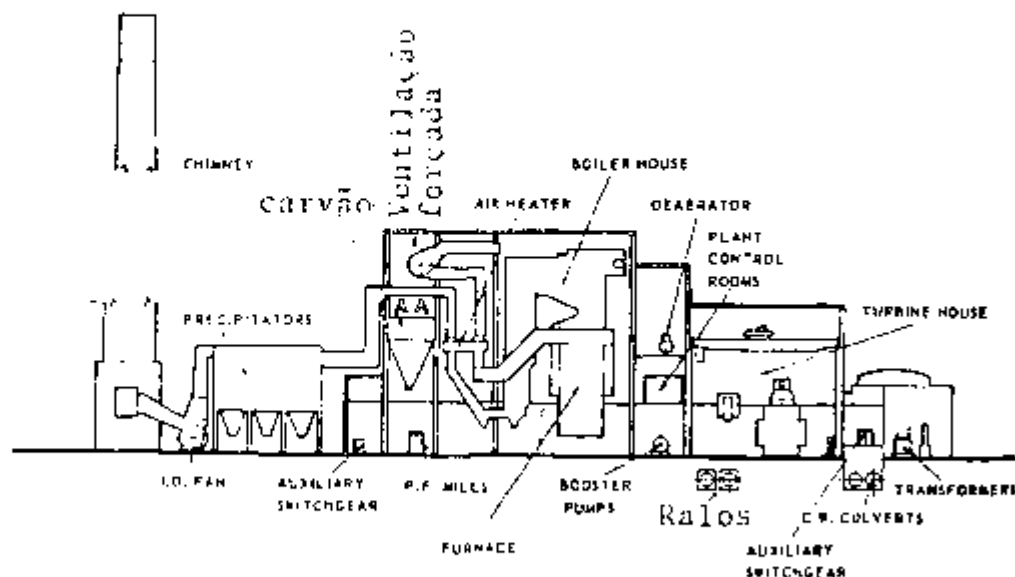


Fig.4.2 - Corte de uma usina com unidades de 200 MW

A disposição do sistema de circulação da água na casa das turbinas varia consideravelmente desde fixar os raios principais sob o grupo de turbinas a situá-los em cada esquina do grupo ou fora dos limites da casa. As figuras 4.3, 4.4 e 4.5 ilustram arranjos típicos. (14)

A circulação da água é talvez o mais vital dos serviços comuns às usinas.

Na Grã-Bretanha existem três sistemas principais em uso: o sistema de refrigeração direto, sistema fechado (torre de refrigeração) e o sistema misto de refrigeração. No direto ou sistema de um passo a água é tomada da fonte, bombeada diretamente para os condensadores e devolvida à fonte. No sistema de torre de refrigeração a água é lançada em um circuito fechado, incorporando torres de refrigeração para dissipar o calor rejeitado pelo condensador. Necessita-se, contudo, uma fonte de água externa para compensar as perdas da torre devidas à evaporação e as perdas devidas ao esvaziamento dos tanques de refrigeração. O sistema misto emprega uma combinação de ambos os sistemas anteriores.

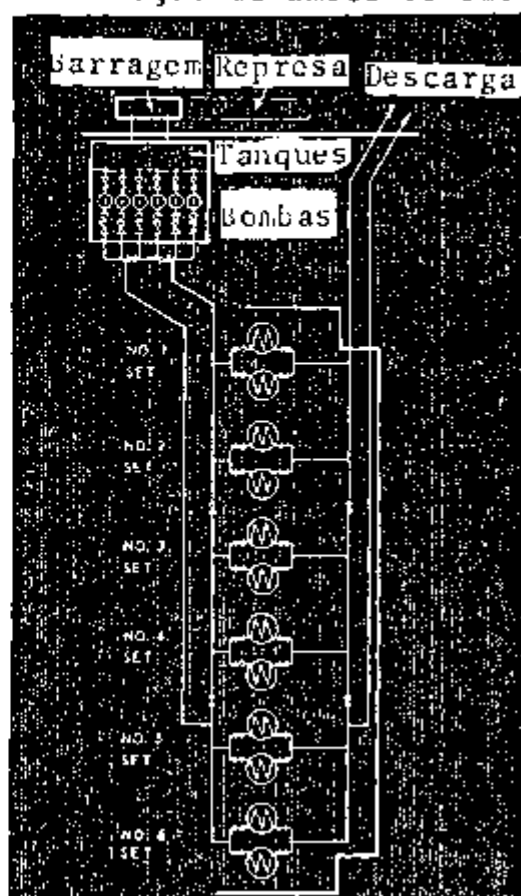


Figura 4.3
Diagrama de um sistema
direto de refrigeração

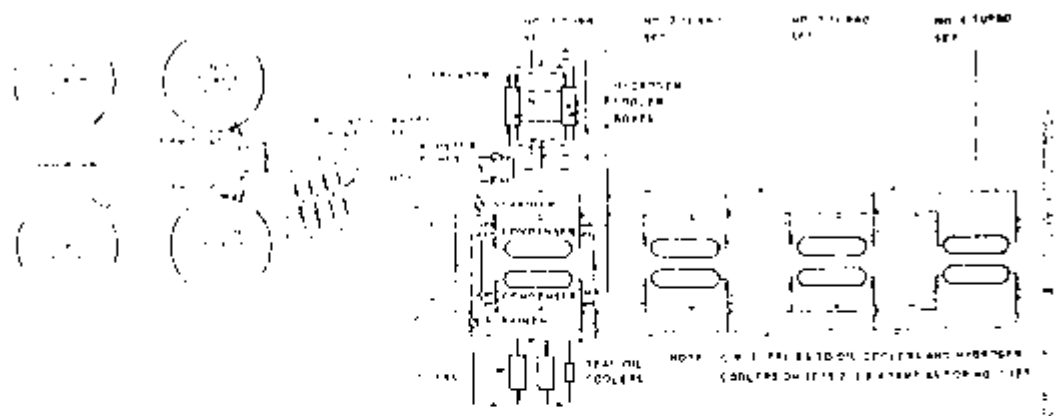


Figura 4.4: Diagrama de um sistema de refrigeração fechado

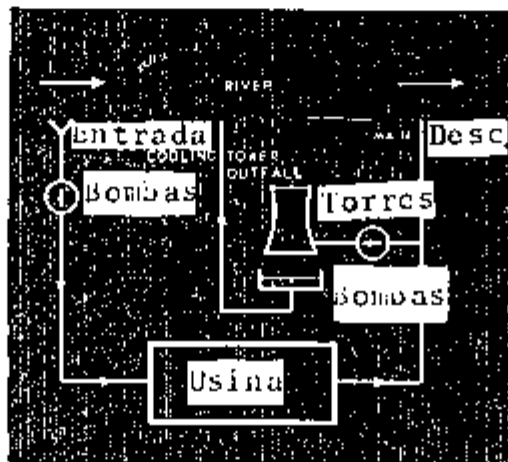


Figura 4.5: Diagrama de um sistema de refrigeração misto

A descrição de uma usina termoeleétrica limita-se, portanto, aos organismos de casa das caldeiras, casa das turbinas e acessórios, que juntos formam o edifício principal da usina. A figura 4.6 apresenta cortes típicos de duas usinas modernas.

A composição de uma casa de caldeira inclui as áreas ocupadas pelo compartimento da caldeira principal, o depósito

to de carvão, pre-aquecedores, plantas de coleta de poeira e cinza (precipitadores e outros), dutos e chaminés.

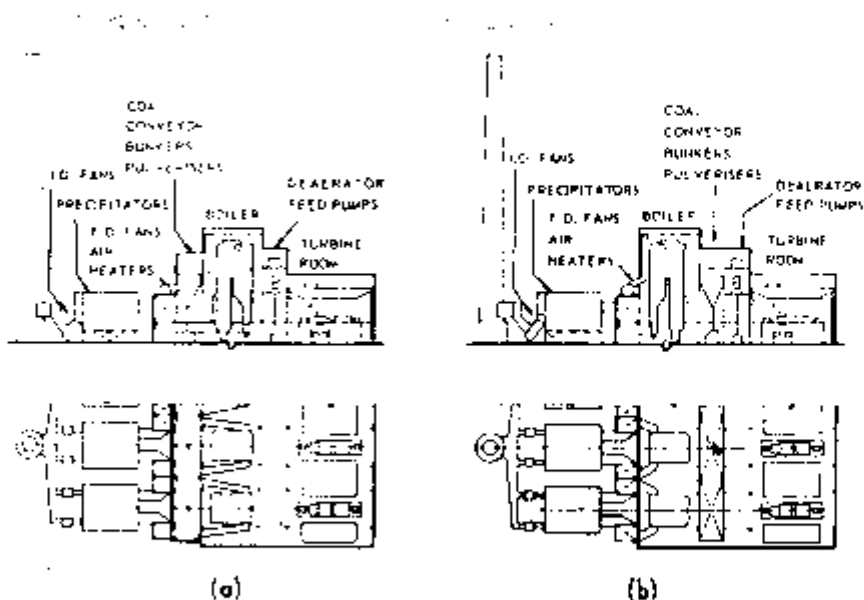


Figura 4.6: Cortes típicos de duas usinas modernas (14)

Em sua forma mais simples, a geração termoeleétrica a carvão envolve a queima desse combustível numa caldeira para produzir vapor que, por sua vez, expandido em um sistema de turbina leva o gerador a produzir eletricidade. O vapor, em seguida, é condensado e retorna ao circuito original. Apenas 40%, aproximadamente, da energia do carvão é convertida em energia elétrica, com o restante da energia aparecendo sob forma de calor residual; parte deste vai pelas chaminés e outra junta-se à água nos condensadores. Vide abaixo o esquema da geração termoeleétrica convencional . (figura 4.7) (26)

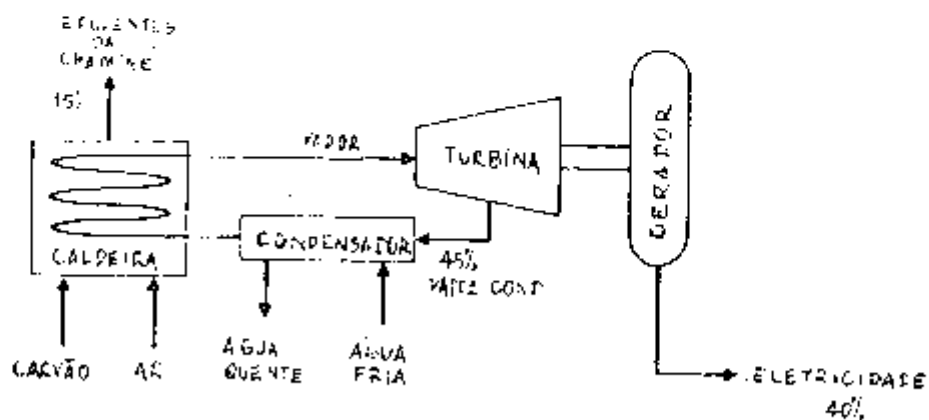


Figura 4.7: Esquema da geração termoeleétrica convencional

4.2 A indústria carbonífera

4.2.1 Considerações Gerais

A indústria do carvão tem mais de cem anos nos Estados Unidos e é muito mais antiga em outras partes, foi desenvolvida completamente pelo setor privado e, por tradição, quase não tem sido submetida a controle governamental. Ao longo de sua história, a indústria do carvão passou por uma grande variedade de fases. Até às primeiras décadas deste século, o carvão era a fonte primária de energia no mundo. Já em 1885, a indústria americana do carvão estava produzindo mais de 100 milhões de toneladas por ano. A produção continuou a aumentar constantemente, atingindo um nível de quase 600 milhões de toneladas por ano, nos primórdios da década de 1920. Como resultado do petróleo barato e da depressão, a produção de carvão declinou. E quando irrompeu a segunda Guerra Mundial, ela registrava menos de 400 milhões de toneladas por ano. Depois de voltar aos 600 milhões durante a Segunda Guerra Mundial e no imediato período de pós-guerra, a produção tornou a declinar durante a década de 1950 com o aparecimento do petróleo barato do Oriente Médio, do gás natural e com a conversão das locomotivas ferroviárias a diesel. Até o início da década de 1970, a produção de carvão manteve-se na média entre 500 e 550 milhões de toneladas anuais. Nesse processo, o carvão declinou de 50% do suprimento energético dos EUA em meados da década de 1940 para menos de 20% no início da década de 1970. Com o aumento dos preços do petróleo, o carvão está novamente se transformando numa opção economicamente atraente. (27)

O carvão mineral é uma mistura variada e complexa de compostos sólidos orgânicos. Cada jazida difere da outra, seja na propriedade físicas, seja nas propriedades químicas. Mesmo num só filão ocorrem variações. As maiores variações químicas residem nos volumes de carbono, hidrogênio, oxigênio, enxofre, água e nitrogênio; nas percentagens

de matéria volátil e de carbono fixo; e na quantidade de cinza e sua constituição química. As maiores variações nas propriedades físicas estão nas características de de sagração e na natureza das propriedades de coqueificação (formação de resíduo sólido da destilação do carvão). Em virtude dessas grandes variações, o carvão é classificado de acordo com seu índice de carbono fixo, índice térmico, matéria volátil, qualidade de aglomeração, cinzas e umidade.

Segundo essas características, a tabela 4.1 apresenta uma classificação aproximada do carvão americano e brasileiro.

Combustível	Composição da base seca						Carvão-Vapor	
	SC	V	IO	Umidg de	N.V.	Cinza	cal/g	Kj/kg
Terça	60	6	34	20	70/60	1/10	3500	14,650
Lignita	70	8	22	15	50/40	8/12	5000	20,900
Carvão sub-bituminoso	75/82	6/5	20/12	10	40/30	5/10	5500	23,000
Carvão da mina de Leão	32	-	9/14	-	26/20	40/46	4400	18,390
Carvão bituminoso	82/90	6/45	12/3	2	35/20	5	7750	32,440
Semi-antracita	91/93	4	4	1	10	5	8000	33,490
Antracita	94	3	2	1	8	5	8000	33,490
Coque	95	1	2	2	8	7	7300	30,560

Tabela 4.1: Classificação aproximada do carvão americano e brasileiro (Leão-Butiã) (24)

O combustível sólido consiste da substância inflamável (carvão puro), cinza (matéria mineral) e água. Quando aquecido, o carvão puro se decompõe em matéria volátil e em resíduo sólido - o carbono fixo. O carvão é ainda clas

sificado por categoria, isto é, o processo natural de alteração de linhita a antracita passando por carvão betuminoso (onde a linhita contém o máximo e a antracita o mínimo de matéria volátil); por variedade, tamanho e utilização.⁽²⁾

Poder térmico, Índice de enxofre e propriedade das cinzas são importantes na seleção de combustão para aquecimento doméstico e calor de processamento, e também para gerar eletricidade; a reatividade do carvão e seu poder calorífico afetam processamentos para a conversão em combustíveis líquidos ou gasosos; e as propriedades de coqueificação, bem como os índices de cinza e de enxofre, é que determinam quais os tipos de carvão que devem ser empregados na produção de coque.

A indústria carbonífera tem seu primeiro passo na mineração, precedida pela avaliação dos recursos desse combustível, ou seja, estimativas dos depósitos de carvão, afecção etc. A tendência das usinas geradoras é serem abastecidas a partir de grandes minas subterrâneas e minas a céu aberto.

O desenvolvimento de tecnologia apropriada de mineração de carvão poderá resultar em grandes acréscimos no volume da base demonstrada de reserva, explorável a custos atuais. Nos últimos sessenta anos, grandes progressos nos métodos de mineração de carvão foram introduzidos, tais como carregamento mecanizado e transporte subterrâneo , grandes sistemas de reboque para remoção de sobrecargas e as dimensões cada vez maiores de equipamento ao ar livre. (18)

Existem diversas máquinas que se qualificam como um "mineiro contínuo", isto é, uma máquina que corta retira e

transporta o carvão sem passar pelas linhas de corte, perfuração, explosão e transporte, conforme era o costume. Essas máquinas tem sido empregadas mais eficientemente do que as antigas em relação ao transporte, ventilação, potência e praxe de trabalho estabelecidos.

É razoável afirmar que a mais importante invenção do século XVIII foi a máquina a vapor. Antigamente a profundidade em que se fazia a mineração era limitada pela capacidade das bombas então disponíveis, fato não mais verificado nos dias atuais.

A mineração a céu aberto consiste na remoção do carvão da camada superficial ou dos sulcos feitos no solo. A recuperação do carvão por este método alcança 50%, dado que é necessário deixar espaço entre os sulcos (que atingem comprimentos de 90m e diâmetros de 2,5m). É o processo mais econômico de mineração mas, obviamente, depende da disponibilidade de jazidas superficiais.

As operações na indústria do carvão podem a grosso modo ser divididas em (a) extração do carvão, (b) transporte para a superfície, (c) beneficiamento e (d) seleção e distribuição do produto para o consumidor. Os itens (a) e (b) são as tarefas que demandam maior segurança com respeito a entrada e saída do veio de carvão, a manutenção das galerias subterrâneas contra as pesadas e muitas vezes imprevisíveis pressões do teto, o sustento do teto em uma superfície de carvão, o adequado fornecimento de ar para ventilação dos trabalhos e abastecimento de água.

O beneficiamento do carvão consiste dos processos empregados pelo operador da mina desde a extração até distribuição para o consumidor. Isto inclui pulverização, seleção, lavagem, remoção de minerais, secagem, limpeza, estocagem e transporte. Os processos devem ser econômicos,

isto é, cada processo acrescentar mais valor ao produto do que os custos do processo. Usualmente deseja-se apenas uma classe particular de tamanhos ou apenas uma classe de carvão com pouco teor de umidade, cinza ou enxofre.

No beneficiamento do carvão o objetivo é separar uma grande quantidade de carvão leve e de baixo valor de uma quantidade menor de resíduo pesado e sem valor.

Os processos de lavagem são do tipo úmido e seco, e em alguns casos os tipos são combinados. A vantagem do processo a seco reside no fato de ser útil na escassez da água, na não-contaminação de qualquer corpo d'água e de não alterar a composição química do carvão.

O carvão que passa pelo processo do tipo úmido deve estar seco antes de ser estocado e transportado. A secagem do carvão é feita a vácuo ou termicamente.

As hidroviás, ou seja, mares, rios e lagos, constituem o meio de transporte mais barato, requerendo pouca ou nenhuma manutenção de parte do expedidor, principalmente a aquelas com capacidade para grandes embarcações. Nos EUA e na Inglaterra, o transporte de carvão se realizava através de rios e mares e, posteriormente, por canais e ferrovias. No Brasil o transporte mais utilizado é o da ferrovia e embarque em portos ainda mal aparelhados.

A tentativa de conduzir até as termoelétricas o carvão fino, sob a forma de pasta com água através de carbotutos representou uma reação ao alto custo do transporte ferroviário. É possível bombear a pasta, mas em altas pressões é aconselhável introduzir o carvão após a água ter sido colocada sob pressão. A mistura pode ser acondicionada em tanques como óleo e queimada diretamente nas caldeiras.

A resposta das ferrovias nos longos oleodutos apareceu sob a forma de uma composição de vagões de carga, largamente utilizada nos dias de hoje na Europa e nos EUA.

O transporte rodoviário, embora flexível, é caro, e se faz a pequenas distâncias.

A técnica de transporte de carvão em pasta é usada pelas minas superficiais da Companhia Black Mesa, ao Norte do Arizona. Desde 1970, um carboduto transporta a pasta de carvão (50%) ao longo de uma linha de cerca de 443 km e 46 cm de diâmetro, a uma taxa de 660 t/h , para uma termoelétrica de 1500 MW, localizada no rio Colorado, em Nevada.

A indústria do carvão atinge seu ponto final coma etapa de combustão. A química da combustão do carvão é simples. O carvão aquecido se oxida para formar dióxido de carbono e libera considerável calor nas reações. Os processos ocorrem direta e indiretamente. As reações indiretas produzem monóxido de carbono que é oxidado para dióxido de carbono. O total de calor liberado é o mesmo independente do tipo de reação. O calor liberado é absorvido pelos tubos da caldeira e paredes da fornalha, pelos materiais sólidos e gases na fornalha. Os gases transmitem parte do calor por convecção e parte deste atinge as chaminés, porém a maioria do calor fica retida na fornalha. Quando os gases e os sólidos absorvem o calor, eles reagem, reduzindo os óxidos e formando metano, monóxido de carbono, hidrogênio e oxigênio. Ocorrem outras reações envolvendo o nitrogênio no ar e o enxofre e outros elementos metálicos no carvão. As reações químicas se fazem simultaneamente e em ambas as direções, dependendo das condições de combustão, disponibilidade, tempo, pressão e temperatura. Portanto, em várias partes de uma fornalha existem reações as

mais diversas ocorrendo simultaneamente.

Em qualquer fornalha existem três objetivos primários: (1) todo o carvão deve ser queimado evitando-se a produção de cinzas e fuligem, (2) todos os gases combustíveis devem ser liquefeitos ou convertidos em CO_2 , buscando o melhor transferência de calor e (3) a cinza e os óxidos metálicos devem fluir livremente da fornalha como resíduos líquidos ou como cinza facilmente removível das paredes e tubos. Diversos projetos têm sido desenvolvidos para alcançar esses objetivos com combustíveis diferentes, outras capacidades e variações distintas no rendimento exigido da fornalha. Em geral, as menores usinas de aquecimento industrial são do tipo leito de carvão, as maiores termoelétricas usam carvão pulverizado e as grandes usinas industriais e as pequenas concessionárias podem fazer uso de ambos os tipos.

As menores fornalhas mecânicas usam o princípio de alimentação de combustível por baixo, enquanto as maiores usam uma retorta simples, também alimentada por baixo, na qual o carvão é derramado sobre um grande funil ou sobre uma estrutura de grades ou grelhas de modo que o combustível e a cinza deslizem para baixo durante a queima. O ar é injetado de baixo para cima e ao longo dos leitos de carvão. Este tipo de fornalha pode também usar um alimentador automático operando sob o princípio inverso, isto é, de cima para baixo.

O mais recente desenvolvimento em combustão de carvão é o emprego de um leito fluidizado, provocado quando um forte fluxo de ar é injetado de baixo para cima através do leito até as partículas serem levantadas e deslocadas permitindo a passagem do ar. Este trabalho pioneiro foi realizado na Alemanha, Grã-Bretanha e nos EUA. Suas vantagens se verificam na facilitação da transferência de calor, produzida pela tur

bulenta mistura das partículas. Assim, as fornalhas podem ser menores para uma dada capacidade.

Por outro lado, o carvão pode ser consumido através de um outro processo denominado gaseificação. A gaseificação do carvão, contudo, é uma alternativa tecnológica para a produção de energia de uma maneira depurada, mais eficiente e mais econômica que a queima do carvão para gerar eletricidade. A gaseificação é preferível do ponto de vista ambiental (da produção ao uso final). As usinas comerciais de gaseificação possuem um sistema de transmissão e distribuição de gás quase todo subterrâneo e requerem menos recursos para o processamento, além de ter maior eficiência de produção e eficiência de uso final.

4.3.2 Carvão Mineral no Brasil

Introdução

No que se refere ao Brasil, o carvão mineral teve a sua época áurea no quadriênio 1914/18, porém, após esse período, sua atuação, relativamente, sofreu uma queda gradativa, principalmente na aplicação como fonte de vapor. As ferrovias e a navegação, utilizando óleo diesel, foram as principais responsáveis pela redução do consumo do carvão nacional, mas, em compensação, decorrente mesmo do processo tecnológico evolutivo, passou o carvão a ser aproveitado, em maior escala, na siderurgia e na termoelectricidade. Por outro lado, seu emprego como matéria prima na indústria química ainda continua sendo incipiente. O carvão mineral brasileiro sempre foi usado em termos modestos e só a instalação dos novos parques siderúrgicos e a parcela de carvão usada nas termoelétricas do sul do País, conseguiram manter acesa a importância de sua exploração. Considerado como de baixas características, em confronto com carvões de procedência estrangeira, a sua participação tem sido limitada no campo siderúrgico, numa fração de CM(carvão metalúrgico) variável na faixa de 20 a 40%. (8)

O seu aproveitamento normal se verificou até então na termoelétrica (carvão vapor), na siderurgia (fração de CM) para obtenção do coque e na transformação em gás para uso domiciliar (gás encanado), esta última participação está praticamente extinta, em razão do aproveitamento de nafta, oriunda de petróleo na obtenção do gás encanado domiciliar.

Além de seu aproveitamento normal, ou seja, nas termoelétricas e na siderurgia, o carvão mineral pode ser utilizado nas indústrias de cimento, cerâmica, papel e celulose, no setor de transporte e, obtida sua gaseificação, na produção química e petroquímica, para a fabricação de hidrocarbonetos e fertilizantes.

Três Estados produzem todo o carvão do Brasil e possuem, praticamente, todas as reservas. Dois dos Estados - Santa Catarina e Rio Grande do Sul, quase produzem o total nacional; o Paraná, sendo marginalmente importante, produz somente algum carvão vapor utilizado, até então, exclusivamente na geração de energia elétrica. Santa Catarina é o único produtor de carvão metalúrgico. O Rio Grande do Sul, por enquanto não produz carvão coqueificável para utilização na siderurgia, mas apenas para ser usado na geração de energia elétrica. Apenas nos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, são conhecidos depósitos comercialmente exploráveis. Entretanto, outras ocorrências de carvão mineral foram detectadas no Amazonas, Pará, Maranhão, Rondônia e Bahia, contudo, não apresentando a mesma significação econômica.

Reservas, Localizações e Características

Em suma, o carvão brasileiro contém elevado teor de cinzas e, em uma mesma localização, apresenta conteúdos de enxofre invariáveis. As reservas baseadas nos dados

existentes (sujeitos a variações) são razoavelmente abundantes e estão distribuídas da forma apresentada na Tabela 4.2 e Figura 4.8.

Tabela 4.2 - Reservas (milhões de Ton)
(Bacia Sedimentar do Paraná)

ESTADOS	MEDIDA	INDICADA	INFERIDA	TOTAL	%
RS	1.786,46	3.544,01	15.437,53	20.768,00	91,04
SC	379,31	859,07	702,86	1.941,24	8,51
PR	32,04	57,74	5,00	94,00	0,41
SP	2,00	1,00	7,02	10,02	0,04
TOTAL	2.199,81	4.461,82	16.152,41	22.814,26	100
%	9,65	19,56	70,74	100	

FONTE: DNPM - DE2.1980

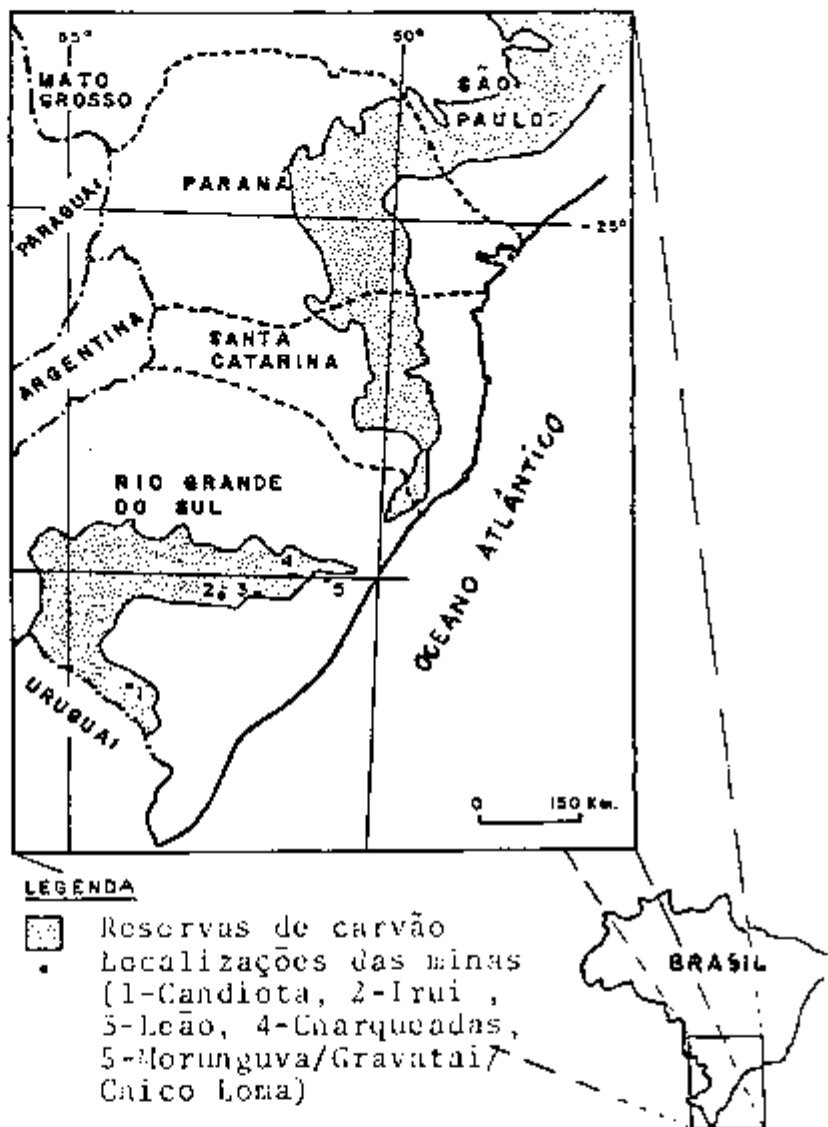


Figura 4.8 - Localização das Reservas (21)

Rio Grande do Sul - O carvão do Rio Grande do Sul é sub-bituminoso e betuminoso e, em geral, não é coqueificável. Recentemente, foram descobertas grandes reservas potenciais de carvão metalúrgico na região Chico Lona, entre Porto Alegre e o mar. O produto, extraído das duas maiores minas, contém cerca de 50% de cinza (valor médio) e 2 a 3% de enxofre, e um valor calorífico entre 3.200 e 3.350 cal/g. (8)

A Companhia Riograndense de Mineração (CRM), Companhia Estatal do Governo do Estado, opera duas minas: Candiota, mina a céu aberto, localizada perto da fronteira Uruguaia, e Leão, mina subterrânea, localizada a 85km de Porto Alegre, no Vale do Rio Jacuí. A CRM também dispõe de uma concessionária em Iruí, e um importante depósito perto de Leão. A mina de Charqueadas, a 60 km de Porto Alegre, entre Canoas e S. Jerônimo, é operada pela Copelmi (Companhia de Pesquisas e Lavras Minerais), uma firma de iniciativa privada.

Situada no distrito de Bagé, as minas de Candiota possuem as maiores reservas do Brasil (8 bilhões de ton) e é produtor de mais baixo custo de carvão do País. O carvão ocorre em duas camadas - cada uma delas com dois metros de espessura, separadas por uma camada de folhelho com 30 cm - sob uma cobertura estéril que atinge 7m. A mineração é a céu aberto, usando pás carregadeiras elétricas e a diesel e uma máquina perfuratriz. O carvão é transportado por trem com destino a Candiota I e II, usinas termelétricas localizadas a cinco quilômetros da mina.

O carvão da mina de Leão, localizada no distrito de Butiá, é transportado por caminhões para a pequena usina termelétrica de São Jerônimo, a 50 km, perto de Charqueadas. O carvão é extraído da mina de Leão a uma pro-

fundidade de 130m, usando um sistema de extração chamado câmara-e-pilar modificado. A mineração é feita pelo processo manual. A camada de carvão nas frentes de trabalho varia entre 80 cm e 1,8 m. É entremeada com folhelho, sil^utito e outros materiais inúteis, que são separados manualmente. O carvão de Leão e Butiá é considerado o de melhor qualidade do Rio Grande do Sul.

Charqueadas é a mina mais profunda, com 330m, e a maior produtora de carvão no Brasil. Em suas operações de mineração em Charqueadas, a Copelmi usa o método de câmaras e pilares. As operações são efetuadas em compartimentos localizados a 3,5 km da entrada da mina. Cada compartimento tem uma correia transportadora com 75m de comprimento. Os operadores nas frentes usam máquinas perfuratrizes e, para transporte no subsolo, a Copelmi usa carregadeiras, vagonetes e locomotivas. O poço de 330m de profundidade possui elevadores para transportar 3,5 ton. de material em cada viagem.

O primeiro carvão metalúrgico do Rio Grande do Sul foi descoberto na região de Morungava, a Leste de Gravataí. Cerca de 1/3 deste carvão, semelhante em qualidade ao atualmente minerado em Santa Catarina, é usado para a obtenção de coque. Os dois terços restantes são compostos de carvão vapor de qualidade variável, conforme o local de extração.

Santa Catarina - O carvão de Santa Catarina é betuminoso e de baixa volatilidade, contém 36 a 40% de cinza e 8 a 12% de enxofre no minério bruto. A única fonte de carvão metalúrgico, no Brasil, está neste Estado. Os depósitos de carvão mais importantes são os de Barro Branco e Bonito, situados nos distritos de Criciúma e Urussanga, onde quase todas as minas são reveladas por afloramento.

O depósito de Barro Branco contém uma sucessão de camadas separadas por xisto e argila. Somente um terço deste car

vão, cujas reservas somam 847 milhões de ton tem valor comercial, fazendo com que o custo da produção seja muito elevado. O transporte dentro das minas, o beneficiamento e a disposição dos materiais rejeitados representam outros sérios problemas.

A camada Bonito é a mais baixa das camadas em Santa Catarina, aparecendo a cerca de 55m abaixo de Barro Branco (1.264 milhões de ton). Apesar de mais compacta do que esta, a de Bonito é aparentemente inferior em qualidade, e contém numerosas intercalações de xisto e inclusões pesadas de pirita.

Atualmente, quase todas as operações nas minas subterâneas de carvão, em Santa Catarina, são realizadas por métodos manuais, apesar da mecanização ter sido introduzida nos últimos tempos. A maioria do carvão é extraída utilizando-se de uma variação da técnica de câmaras e pilares. As minas a céu aberto são operadas com o auxílio de escavadeiras e carregadeiras importadas.

Após a extração, o carvão é beneficiado em lavadores rudimentares, na boca das minas, para eliminar os materiais inúteis. Esse carvão é denominado "pré-lavado" e contém 28 a 30% de cinza e 2 a 3% de enxofre; a sua maior parte é enviada por rodovia e ferrovia à usina lavadora de Capivari, Santa Catarina, para a separação final em carvão vapor (40 a 45% do total) e carvão metalúrgico (50 a 55%). Esse último com 18,5% de cinza e 1,8% de enxofre. Após a obtenção do carvão pré-lavado, final da lavagem, o carvão é transportado 40 km pela estrada de ferro para o porto de Imbituba, onde está o lavador de Capivari. Daí, o carvão metalúrgico é embarcado para o Rio de Janeiro (para a CSN, Companhia Siderúrgica Nacional, em Volta Redonda), Vitória (para a Usiminas) e Santos (para a Cosipa). A maioria do Carvão-vapor é consumida na Sutelca, usinas termoelétricas

de Capivari, situada em Tubarão, Santa Catarina.

Paraná - O carvão do Paraná varia do subbetuminoso ao be-
tuminoso e ao semi-antracito; este, encontrado em um pe-
queno depósito de uma mina inativa de Barro Bonito. As
reservas do Paraná são consideradas pequenas, perfazendo
não mais do que 100 milhões de toneladas, menos que um por
cento do total das reservas de carvão do Brasil. O car-
vão, em muitas partes do campo do Paraná, varia conside-
ravelmente em sua composição, mas, todo ele, contém ele-
vados compostos de enxofre orgânico, que podem ser redu-
zidos para menos de 4%, com certa dificuldade. A cinza,
contida no produto saído da mina, varia de 15 a 40%. To-
da a produção de carvão paranaense é destinada à usina
termoelétrica. O campo carbonífero do Paraná abrange um
certo número de bacias, em uma área que se estende de
Barbosa, no sul, até o Caeté. As camadas variam, radical-
mente, em espessura e qualidade dentro dos limites de á-
reas, comparativamente pequenas. Recentemente, em Sapopé-
ma foi descoberto uma jazida de 40 milhões de toneladas
de carvão de baixo conteúdo de cinzas, em profundidade
de cerca de 400m.

Usinas Termoelétricas no Brasil

NOME	LOCALIZAÇÃO	EMPRESA	POTÊNCIA TOTAL (EM MW)	COMBUS- TÍVEL
ACRE Cel. F. Castro (Rio Branco)	Rio Branco	Eletroacre	8,7	
AMAZONAS Manaus I	Manaus	CEM	31,8	Óleo Gás
Manaus II	Manaus	CEM	140,0	
Manaus III	Manaus	CEM	33,0	

Tabela 4.5 - Usinas termoelétrica no Brasil (acima de 5MW) (19)

NOME	LOCALIZAÇÃO	EMPRESA	POTÊNCIA (EM MW)	TOTAL COMBUS TÍVEL
PARÁ Belém Miramar Tapanã TeII	Belém Belém Belém	CELPA CELPA CELPA	6,2 80,0 150,0	
MARANHÃO São Luis São Luis II Tirirical	São Luis São Luis São Luis	CEMAR CHESF CEMAR	6,0 120,0 6,0	
PIAUÍ Santa Luzia	Teresina	CEPISA	6,7	
CEARÁ Fortaleza FortalezaII Passeio	Fortaleza Fortaleza Fortaleza	CHESF CHESF CHESF	120,0 15,0 6,0	
PERNAMBUCO Bongi	Recife	CHESF	150,0	Óleo
BAHIA Cotegipe Flutuante Petrobrás Camaçari	Simões Filho Salvador Mataripó Salvador	CHESF CHESF Petrobrás CHESF	20,0 131,0 6,0 180,0	
MINAS GERAIS Além Paraíba Igararapé	Além Paraíba Mateus Leme	CFLCL CEMIG	5,5 125,0	Óleo
ESPÍRITO SANTO Cach. Itapemi- rim	Cach. Itapemi- rim	IAISA	8,2	

NOME	LOCALIZAÇÃO	EMPRESA	POTÊNCIA TOTAL (EM MW)	COMBUSTÍVEL
RIO DE JANEIRO				
Angra I	Angra dos Reis	Furnas	636,0	Nuclear
Cabo Frio	Cabo Frio	CNA	9,0	
Lameirão	Rio de Janeiro	CEE	22,4	
Mal.Hermes	Rio de Janeiro	CEE	21,0	
Pres.Vargas	Volta Redonda	CSN	30,0	
REDUC	D.Caxias	Petrobrás	52,5	
Roberto Silveira	Campos	CELFL	30,0	Óleo
Santa Cruz	Rio de Janeiro	Furnas	608,0	Óleo
São Gonçalo	S.Gonçalo	CDEE	36,5	Óleo
SÃO PAULO				
Carioba	Americana	CPFL	32,0	Óleo
Champion	Mogi-Guaçu	CCC	7,5	
Cosipa	Cubatão.	COSIPA	14,5	
Eng.Loyolla	Juquiã	CESP	10,0	
Francisco Campos	Flórida Paulista	CESP	20,0	
Mal.Rondon	Votuporanga	CESP	10,0	
Piratininga	São Paulo	ELETROPAULO	470,0	Óleo
Nitro-Química	São Paulo	CNQB	16,4	
Pres.Bernardes	Cubatão	Petrobrás	24,5	
Rayon	S.Caetano	SAIFEM	11,5	
Rhodosã	S.J.Campos	RHODIA	12,1	
PARANÁ				
Capanema	Curitiba	COPEL	10,0	
Curitiba	Curitiba	COPEL	15,8	
Figueira	Curiuva	COPEL	30,0	Carvão
Harmonia	T.Borba	KLABIN	28,1	
Maringã	Maringã	COPEL	10,5	
Populares	Paranaguã	COPEL	5,5	
Umuarama	Umuarama	COPEL	7,0	
SANTA CATARINA				
Capivari	Tubarão	UTE	22,0	Carvão
João Colin	Joinville	CELESC	5,0	
Jorge Lacerda I e II	Tubarão	ELETROSUL	482,0	Carvão
Jorge Lacerda III	Tubarão	ELETROSUL	250,0	Carvão
RIO GDE DO SUL				
Candiota III	Bagé	CEEE	1.920,0	Carvão
Canoas	Canoas	Petrobrás	18,0	

NOME	LOCALIZAÇÃO	EMPRESA	POTÊNCIA TOTAL (EM MW)	COMBUST.
RIO GDE DO SUL				
Charqueadas	S. Jerônimo	ELETROSUL	72,0	Carvão
Gasômetro	Porto Alegre	CEEE	24,6	Óleo
Nutepa	Porto Alegre	CEEE	24,0	
Oswaldo Aranha	Alegrete	ELETROSUL	66,0	Carvão
Pelotas	Pelotas	CPE	12,5	
Piraque	Porto Alegre	ELETROSUL	30,0	Carvão
Pres. Medici I (Candiota I e II)	Bagé	CEEE	452,0	
Pres. Medici II	Candiota	CEEE	300,0	Carvão
Rio Grande	Rio Grande	CEEE	20,0	Carvão
S. Jerônimo	S. Jerônimo	CEEE	20,0	
DISTRITO FEDERAL				
Brasília	Brasília	CEB	24,3	Gás
MATO GROSSO				
Corumbá	Corumbá	CEMAT	9,8	
Cuiabá	Cuiabá	CEMAT	10,0	

4.3 Aspectos Ambientais e de Saúde Pública

Existem três tipos de emissões de caldeiras que são significantes do ponto de vista de poluição do ar: (1) material particulado, (2) ôxidos de enxofre e (3) ôxidos de nitrogênio. (51)

O material particulado (cinza) apresenta-se na forma de partículas sólidas não queimadas de vários tipos e tamanhos. Historicamente, a emissão de material particulado tem recebido a maior atenção com respeito ao controle de poluição do ar, sendo uma fonte de dano público tanto com base nos efeitos à saúde quanto em estética.

Os ôxidos de enxofre são emitidos das chaminés das usinas. A quantidade emitida pelo carvão varia de 1/2 a pouco mais de 5%. Geralmente, o enxofre está presente em carvões como enxofre orgânico, sulfatos e pirita (enxofre inorgânico). Quando o carvão é queimado em usinas, 90 a 95% do enxofre aparecem como SO_2 e 1 a 3% como SO_3 nas chaminés.

Os ôxidos de nitrogênio são formados pela oxidação do nitrogênio da atmosfera em altas temperaturas nos fornos de usinas e pela parcial combustão dos compostos de nitrogênio contidos no carvão. Esses ôxidos necessitam constantemente de controle, dado que participam das séries complexas de reações químicas na atmosfera que levam à formação da nuvem fotoquímica e à irritação dos olhos, quando emitidos em suficientes concentrações.

Há muitas formas de impacto ambiental que podem causar consequências locais, mas a poluição do ar é considerada fonte mais prejudicial em termos de dano e risco potencial de saúde, atualmente produzidos pelo setor energético. Sua principal origem está na queima de combustíveis fósseis - o carvão, neste caso - para gerar calor ou força motriz. (5)

A poluição do ar tem sido uma companhia constante das atividades do homem. Recentes exemplos mais sérios de poluição, como aqueles ocorridos em Londres (1952) e Donora (1948), podem ser selecionados para menção especial. Atualmente, contudo, não é necessário procurar longe exemplo de poluição na atmosfera: todas as áreas metropolitanas são afligidas com uma alarmante deterioração da qualidade do ar.⁽²⁶⁾

O ar e a água existem com tal abundância que raramente os apreciamos, até que os seus suprimentos diminuem ou a adição de vários gases e outras substâncias torna-os insalubres. A quantidade de ar processado através dos pulmões por dia é maior que toda a alimentação sólida e líquida combinada. Uma pessoa média inala cerca de 1/2 l de ar em cada respiração; repetindo-a 16 vezes por minuto, ou 2300 vezes por dia, corresponde a 11 kg por dia de ar.

Condições geográficas tais como um vale ou uma região cercada de montanhas podem restringir a troca de ar. Quando neles ocorre uma condição meteorológica, usualmente chamada inversão, a quantidade disponível de ar pode ser limitada. Esta condição de inversão caracteriza-se pela existência de uma camada de ar frio que não se mistura com as camadas superiores, de ar quente.

A queima de combustíveis fósseis lança ao ar bilhões de toneladas de CO₂ e outros gases da combustão. Para a Inglaterra, este é um problema antigo, cuja duração alcança mais de seis séculos. Já em 1273⁽²⁷⁾, uma lei proibiu o uso de carvão em Londres como prejudicial à saúde. A maior parte dos trabalhadores que limpavam as chaminés londrinas, em 1775, contraiu câncer nos testículos. Em 1885, foi observado em trabalhadores o câncer da pele devido à exposição contínua ao alcatrão do carvão mineral. A primeira lei anti-poluição surgiu na Inglaterra em 1932, proibindo o uso doméstico do carvão. Trinta a-

nos depois, em Londres, o número de mortes por bronquite ou pneumonia aumentou 7 vezes e os óbitos atingiram 4.000 pessoas. Em decorrência dos estragos que a combinação do "FOG" com a fumaça e a fuligem (material particulado) expelidas pelo carvão causava à população foi sancionada a Lei do Ar Puro, em 1956. Só nas últimas décadas, entretanto, é que se fez algum progresso na identificação dos agentes poluentes e na avaliação da magnitude de seus efeitos não apenas à saúde, mas também no meio ambiente. Mesmo hoje, a combustão é ainda a maior fonte de poluição atmosférica.

A relação causal dos grandes episódios de poluição atmosférica, dos aumentos de mortalidade e estados patológicos (agravamento de doenças cardíacas e pulmonares e de asma e bronquite) já está fortemente determinada. O que ainda não está claro é a identidade dos poluentes responsáveis, ou a maneira pela qual os efeitos regridem quando a poluição diminui. (27)

Dos vários contaminantes químicos presentes no ar, o grupo de óxidos de enxofre em combinação com particulados e óxidos de nitrogênio combinados com oxidantes são considerados os piores ofensores. Enquanto não há atualmente evidência médica de que o óxido de enxofre por si mesmo é prejudicial ao homem, nos níveis existentes na atmosfera, ele é quimicamente ativo e prejudicial a materiais e à agricultura. Na presença de material particulado (fuligem) o transporte de óxido de enxofre é um risco e torna-se letal em concentrações bastante altas. Essa fuligem, além de aumentar a incidência de doenças pulmonares, pode provocar o câncer. Os problemas pulmonares advêm da deposição das partículas nos alvéolos, impedindo a renovação de oxigênio no sangue. E o câncer é consequência da retenção nos pulmões do alfa-benzo-pireno encontrado no alcatrão, um dos componentes do carvão.

O carvão é minerado tanto na superfície como em galerias subterrâneas. A mineração superficial deixa crateras na terra que a torna inaproveitável a menos que haja um tratamento de reconstituição. A mineração subterrânea também acarreta impacto ambiental, principalmente subsidência, drenagem e escoamentos ácidos e deposição de resíduos sólidos.

Ocorre a drenagem ácida quando minerais portadores de enxofre são transportados por infiltração da água por impregnação de minas carboníferas ou montões de refugos, e reagem com o oxigênio para formar ácido sulfúrico. Já o escoamento, ou fluxo de superfície, transporta metais pesados, compostos ácidos e alcalinos, sólidos em suspensão ou dissolvidos e substâncias tóxicas das minas e dos montões de detritos, os quais não estavam expostos ao ar antes da mineração e, portanto, não eram tidos como nocivos.

A subsidência, já anteriormente referida, é um processo natural de restauração ecológica, que consiste na readaptação de camadas de solo em busca de um novo equilíbrio, causado pela mineração subterrânea.

O SO_2 , emitido na queima do carvão, se oxida na atmosfera para formar ácido sulfúrico que aumenta a acidez da chuva. Por um processo semelhante, os óxidos de nitrogênio são transformados em ácido nítrico (NO).

A precipitação ácida pode afetar o meio ambiente por ação direta sobre vegetais, alterando a acidez natural do solo e de corpos hídricos. Quando ela cai sobre a vegetação, parte do ácido é neutralizado nas folhas, o que causa uma perda de nutrientes (K, Mg e Ca). Sobre o solo, ela é neutralizada formando sais solúveis de sulfato de nutrientes (Ca e Mg).

Nos lagos e correntes os peixes podem ser afetados pela água ácida, particularmente as crias que são mais vulneráveis à água ácida residual.

O dióxido de carbono (CO_2), entretanto, apresenta a ameaça mais séria. A liberação de CO_2 , produzido na combustão do carvão, causa implicações climáticas através do "efeito estufa". A radiação solar é absorvida pelo CO_2 , e conseqüentemente leva a um aumento da temperatura da Terra.

Os problemas de fumaça e poeira (material particulado) continuam sendo a causa da maioria dos danos da poluição mas novos problemas inquietantes têm aparecido. Produtos químicos liberados no ar estão sujeitos às influências atmosféricas: luz do sol, oxigênio e ação de outros poluentes. O dióxido de enxofre (SO_2) liberado nas chaminés é oxidado, transformando-se em trióxido, que reage com a água para formar ácido sulfúrico. As reações, contudo, não param aí; carbonato de cálcio e amônia neutralizam o ácido e o resultado final de SO_2 aparece sob forma de sulfatos de cálcio e de amônia, contribuindo para a nuvem negra que é frequentemente notada mesmo a distâncias consideráveis dos estabelecimentos industriais, mormente as termoelétricas a carvão.

O quadro geral de conseqüências patológicas relacionadas com o SO_2 pode ser descrito da seguinte maneira: densas concentrações locais de SO_2 ao nível do solo podem ser evitadas mediante o uso de altas chaminés, assim como as de outros efluentes da combustão. Ejetado a altitudes que excedem 150m, o SO_2 pode ser levado por correntes de ar ao cabo de vários dias, durante os quais sua concentração se reduz por dispersão, precipitação, absorção em subpartículas, lavagem pela chuva e oxidação (conforme visto acima). Os produtos da oxidação transformam-se principalmente em componentes de aerossóis ou partículas

finíssimas ($< 1 \mu m$). Tais partículas podem alojar-se nos pulmões e nos brônquios; sua presença interfere na respiração, agrava doenças cardíacas e pulmonares e, em casos extremos, ocasiona a morte. Os grupos mais vulneráveis são as crianças, as pessoas idosas, os asmáticos e indivíduos portadores de males cardiovasculares e pulmonares.

Nas minas, então, o problema é agravado devido às atividades nelas desenvolvidas. A exposição à poeira e gases do carvão, em atmosferas de minas subterrâneas inadequadamente ventiladas, é responsável por doenças, sendo que a mais importante entre os mineiros é a pneumoconiose.

4.4. Análise dos Problemas de Saúde Pública

Tal como no caso da radiação nuclear, surge a questão de se saber se existe ou não uma dose-limiar abaixo da qual não se registra nenhum efeito à saúde ou se a relação dose-resposta é ou não linear.

O levantamento da Academia Nacional de Ciências⁽¹⁾, em 1975 nos EUA, não aceitou a existência de uma resposta limiar, insistindo em que não existe prova convincente de que repetidas exposições a baixo nível não levem a eventuais danos respiratórios. No entanto, as melhores estimativas da relação dose-resposta terão de ser usadas, com plena aceitação das incertezas, para se calcular os efeitos incrementais de fontes também incrementais de poluentes.

As relações dose-resposta mais empregadas são aquelas obtidas por Finklec⁽²⁷⁾, que se baseou em vários conjuntos de dados para deduzir relações lineares dose-resposta quanto a cinco diferentes efeitos à saúde: 1) mortes

1-Academia Nacional de Ciências, "Air Quality and Stationary Source Emission Controls", março de 1975.

por doença respiratória; 2) Agravamento de doenças cardíaca e pulmonar nos idosos; 3) Agravamento de asma; 4) Ataque excedente de doença aguda respiratória inferior nas crianças e 5) Risco excedente de bronquite crônica. Todavia, existe uma larga disparidade nos dados e bastante controvérsia sobre a interpretação dos resultados.

Diversos são os estudos que mostram correlação entre efeitos à saúde e concentração de SO_2 . Três categorias de doenças humanas parecem sofrer a influência do teor atmosférico de SO_2 e poluentes associados: 1) ventilação pulmonar alterada e crescente predomínio de doença pulmonar primária em crianças; 2) aumento da frequência de ataques asmáticos e 3) aumento do predomínio de doença respiratória crônica. Sabe-se também que exposições voluntárias ao SO_2 alteram as funções respiratórias.⁽¹⁵⁾

Nessa base, os padrões de qualidade do ar foram fixados de acordo com a concentração de SO_2 - uma média de $80 \mu g/m^3$.

Nos EUA, a maioria das usinas termoelétricas a carvão localiza-se em seu quadrante Nordeste, onde os níveis de poluição do meio ambiente são os mais altos. Em virtude dos regimes predominantes dos ventos, uma central elétrica, em Chicago, emitindo, por exemplo, 800t de SO_2 por dia, produzirá concentrações de partículas de $1 \mu g/m^3$ em trechos de Illinois, Indiana, Michigan e Ohio, e de $0,1 \mu g/m^3$ sobre todo o Nordeste dos EUA e Leste do Canadá. Esses cálculos são coerentes com a distribuição de SO_2 e sulfato em suspensão registrada de lado a lado nos EUA, em 1974.

Em 1975, um estudo de D.W.North e M.W.Merkhofer sobre os efeitos adversos à saúde que o aumento de concentrações de sulfatos em suspensão pode produzir na área metropolitana de NY, usando as relações dose-resposta

postulados por Finklea. A população de 11,5 milhões foi dividida em três grupos etários de diferentes sensibilidades. A média anual das concentrações de sulfatos em suspensão foi considerada como sendo $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$, com um desvio padrão de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. As perguntas que se fazem são: 1) quais os efeitos à saúde de um aumento de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no nível médio anual? e 2) quais os efeitos à saúde decorrentes do aumento da concentração ambiental, em dias de carga máxima, de 1% em $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$? De acordo com os cálculos, o aumento da ordem de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de sulfatos em suspensão exerce um significativo impacto sobre a saúde. As consequências de um aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nos dias de carga máxima são menores do que o aumento de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante todo o ano. A respeito das incertezas, é provável que seja expressiva a sobretaxa de óbitos e danos à saúde resultantes de uma única central elétrica que se adicione na área de Nova Iorque. Os resultados desse estudo estão resumidos na Tabela 4.4.

Numa análise de sensibilidade dessas estimativas, eles consideraram uma faixa de "valores razoavelmente extremados", variando de 10 a 200% dos valores nominais nos quais o estudo foi baseado. A base para esta avaliação sobre a faixa de incertezas foi atribuída aos representantes da Assembléia do Comitê de Ciências Orgânicas que preparou o relatório da Academia Nacional de Ciências (1975).

Tabela 4.4 Estimativa Anual de Efeitos Adversos à Saúde, Atribuíveis a Aumento de Sulfatos em Suspensão na Área Metropolitana de Nova Iorque¹

Efeitos sobre a Saúde	Número médio de casos por ano	Casos Adicionais Atribuíveis Anualmente a Aumento na Concentração de Sulfato em Suspensão:	
		Aumento Diário de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração de um por cento em dias de carga máxima
Mortes Precoces	118.000	22,7	7,7
Agravamento de Doença Cardíaca e Pulmonar (homem-dias)	24×10^6	406.000	8.950
Ataques Asmáticos	$2,5 \times 10^6$	84.100	439
Doença Respiratória Inferior em Crianças	127.000	9.900	—
Sintomas de Doença Respiratória Crônica	366.000	40.600	—

¹ Academia Nacional de Ciências (1975), pp. 607, 609.

No mesmo estudo, um cálculo alternativo comparou os estimados efeitos sobre a saúde de uma usina de localização distanciada com os de uma usina urbana, levando em conta as vastas áreas afetadas por ambas. A usina de localização afastada, situada a 230 milhas de Nova Iorque e no sentido do vento, era representativa das que hoje estão em operação, uma instalação de 620 MW (capacidade) queimando carvão com 3% de enxofre, sem dessulfurização dos gases de chaminé e emitindo 213 toneladas de enxofre por dia. Seus principais efeitos sanitários estão relacionados na Tabela 4.5.. A localização mais distanciada reduz o número calculado de óbitos, atribuíveis a esse tipo de usina a carvão, de 42 para 14. Se tal estimativa for normalizada para uma usina de 1.000 MW, operando a 60% (fator de capacidade), mais típico de usinas nucleares do que o presumido fator-capacidade de 80%, a faixa de mortes resultantes de variações na localização será da ordem de 18 a 50. Quando a faixa de incertezas extremadas de efeitos orgânicos é aplicada a essa estimativa, o número de mortes precoces de uma usina acionada a carvão variará de cerca de 2 a 100 por ano por usina de 1.000 MW.

Esses resultados aplicam-se a uma localização alternativa numa região densamente povoada que já esteja altamente poluída. Se a concentração em sulfato for baixada em 25%, o projetado número de mortes precoces poderá ser reduzido pela metade no que tange à usina urbana. As emissões de SO_2 são controladas mais facilmente do que o são a localização ou os níveis de fundo ambiental dos sulfatos; mas, seja como for, essas emissões terão de ser reduzidas em novas usinas para que satisfaçam aos padrões de novas fontes.

Tabela 4.5 Estimativa Anual de Efeitos Adversos à Saúde de Poluentes à Base de Enxofre, Originários de uma Usina de 620 MW

	<i>Localização Distanciada</i>	<i>Localização Urbana</i>
Casos de Doença Respiratória Crônica	25.600	79.000
Agravamento de Sintomas de Doença Cardíopulmonar (homens-dias)	265.000	755.000
Ataques de Asma	53.000	156.000
Casos de Doença Respiratória em Crianças	6.200	18.400
Óbitos Precoces	14	42

Fonte: Academia Nacional de Ciências, Pesquisa feita em 1975, Capítulo 13. Os cálculos ilustrativos baseiam-se em modelos distributivos, conversões postuladas de SO₂ a SO₄, e dados epidemiológicos da EPA para usinas elétricas representativas do Nordeste dos EUA, que emitam $95,5 \times 10^6$ libras de enxofre por ano — equivalentes a uma usina de 630 MW.

Para que novas usinas atendam aos atuais padrões, o carvão com 3% de enxofre usado no exemplo poderá ser substituído por carvão com 0,6 a 0,8% de enxofre, reduzindo-se dessa maneira, de 4 a 5 vezes, as emissões de SO₂. Tal medida poderá reduzir a calculada faixa de mortes precoces para 4 a 25 por ano por usina de 1.000 MW. Alternativamente, se depuradores de Cal forem usados com carvão de 3% de enxofre, 90% de SO₂ poderão ser removidos. Isso resultará numa faixa teórica de 0,2 a 10 mortes precoces por ano por usina de 1.000 MW.

A tendência das usinas geradoras é serem abastecidas a partir de grandes minas subterrâneas e minas a céu aberto, onde ocorre o dobro da frequência de acidentes das pequenas minas. Nessa base, calcula-se que seja aproximadamente de 9,5 a média de acidentes fatais na mineração por usina-ano⁽²⁾ de 1.000 MW. O levantamento da taxa de sinistro do Conselho de Segurança Nacional para 1975 registra 0,70 de óbitos além de casos de invalidez permanente para os 1.200.000 homens-hora de mineração, calculados como necessários para movimentar uma usina de força de 1.000 MW por ano.

É comum que operários sejam acometidos severamente de pneumoconiose, também conhecida como moléstia negra, uma

(2) L.A.Sagan, "Health Costs Associated with Mining Transports and Combustion of Coal", *Nature*, 250, 197 (1974)

inflamação progressiva dos pulmões causada ¹⁰² por sedimentação ¹⁰³ permanente de pó de carvão inalado.

Ocorrências sérias de poluição atmosférica tem originado grandes preocupações. Em 1948, um prolongado período de inversão em Donora, Pensilvânia, produziu incômodos respiratórios em quase metade dos habitantes da cidade. Estudos realizados nos EUA, na Europa e no Japão confirmaram que uma elevação abrupta no índice de fumaça e de anidrido sulfuroso associa-se sem dúvida alguma a excesso de mortalidade. As mais afetadas são pessoas idosas e portadoras de doença obstrusiva pulmonar crônica.

A relação entre sulfatos em suspensão, que são produtos da oxidação de SO_2 , e saúde é uma descoberta relativamente recente. Estudos mais antigos de poluição atmosférica, relacionada com enxofre e taxa de mortalidade por doença respiratória, firmam-se em concentrações de SO_2 . Em Londres, na década de 1950, um índice superior a $120 \mu g/m^3$ era acompanhado por pronunciado e imediato aumento de mortalidade, se os níveis de fumaça também fossem altos. Vários outros estudos britânicos chegaram a conclusões semelhantes: quase sempre registravam a bronquite como a causa da morte. Fortes correlações entre mortes por bronquite por área e concentrações médias de SO_2 nessas áreas sugeriram que uma exposição contínua a concentrações mais baixas exercia efeitos similares. Na década de 1960 empreenderam-se levantamentos individuais em muitas cidades norte-americanas. Em Búfalo, descobriu-se que a mortalidade por doenças das vias respiratórias em homens brancos de 50-64 anos de idade duplicava quando a concentração de SO_2 se elevava de menos de 80 para acima de $135 \mu g/m^3$. Diversos levantamentos feitos em Nova Iorque constataram aumentos sérios de mortalidade, correspondentes aos dias em que o índice de SO_2 excedia a $800 \mu g/m^3$; ocorriam aumentos de 2% na mortalidade sempre que as concentrações eram superiores a $500 \mu g/m^3$.

Na medida em que os levantamentos se multiplicavam, tornava-se mais evidente que existia uma forte correlação entre mortalidade- estado patológico e concentração de sulfato em suspensão. Entretanto, as relações quantitativas variavam extraordinariamente, indicando que outras variáveis estavam envolvidas. Como exemplo, os dados referentes a Nova Iorque, Londres e Oslo, apresentados na figura 4.9, indicam enormes variações em índice de mortalidade. Essa figura mostra que o percentual do esperado índice de mortalidade a título de sulfatos ácidos no ar é calculado a partir dos níveis nas três cidades, de micropartículas em suspensão e anidrido sulfuroso. Presentemente, considera-se a linha de "melhor adequação matemática" como uma hipótese pessimista.

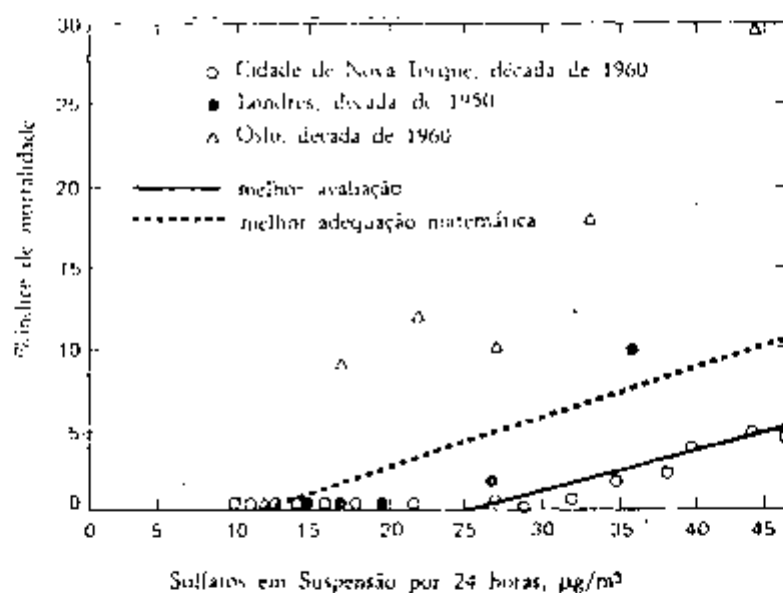


Figura 4.9 Índice de Mortalidade a partir de Sulfatos em Suspensão
 Fonte: Academia Nacional de Ciências, 1975. "Air Quality and Stationary Source Emission Control". Preparado para a Comissão do Senado sobre Obras Públicas, março de 1975.

A relação desenvolvida por Finklea quanto a mortes por doença respiratória está mostrada como a linha de "melhor avaliação", na figura acima. Os demais efeitos adversos à saúde têm limiares mais baixos e aclives mais

altos. Esses limiares mais baixos são coerentes com as conclusões conjecturais da Agência de Proteção ao Meio Ambiente dos EUA (EPA), inferidas de seus estudos, tais como citadas no Relatório da Academia Nacional de Ciências (1975, p.17):

" Parece existir uma associação entre um nível de sulfato da ordem de 8 a 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no ar ambiente e efeitos orgânicos adversos em pessoas idosas com doença cardíaca e pulmonar, e asmáticas. Níveis de sulfato um tanto mais altos (de 13 a 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) parecem estar associados a maior predominância de bronquite crônica em adultos, aumento de doença aguda respiratória inferior e decréscimo de funções pulmonares em crianças, e aumento de enfermidade aguda respiratória".

Os cálculos baseados no pressuposto de um limiar produzem resultados que, de duas formas, dependem altamente de padrões existentes de poluição. Onde quer que as concentrações de sulfato estejam perto ou acima do limiar, a poluição à base de enxofre que uma única usina de força adicional pode exercer um grande efeito, ao passo que num ambiente muito menos poluído ela só pode ter um pequeno efeito. Além disso, bolsões existentes de poluição (geralmente em áreas urbanas) podem encerrar catalizadores capazes de acelerar grandemente a conversão de SO_2 em sulfatos.

Os efeitos de numerosos outros poluentes (óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos carcinogênicos, partículas radioativas e metais pesados) ainda estão para ser avaliados. As incertezas aqui são ainda maiores do que no caso dos poluentes relacionados com enxofre. Embora os efeitos pareçam ser bem menores do que no caso das emissões à base de enxofre, eles indubitavelmente adicionam danos e fatalidades à saúde.

Calcula-se que a média de taxa de risco para uma usina a carvão de 1.000 MW se aproxime de duas mortes por ano.

quando não se consideram os efeitos de efluentes da combustão. Quando os efluentes são considerados, a taxa de risco aumenta substancialmente, apesar de estarem sujeitas a incertezas muito maiores. O modelo North-Merkhofer, usado no relatório da Academia Nacional de Ciências (1975), indica uma faixa extremada de dois a cem óbitos por ano para uma usina de 1.000MW queimando carvão com 3% de enxofre. Essa larga faixa reflete a consequência de variação na localização da usina e incertezas em relações dose-resposta quanto a efeitos de poluentes à base de enxofre sobre a saúde. No caso de novas usinas que atendam aos atuais padrões de novas fontes emisoras de enxofre pela queima de carvão de baixo teor sulfúrico, a faixa calculada será de 0,4 a 25 óbitos anuais por usina de 1.000MW. Com depuradores de Cal, as emissões de enxofre poderão ser reduzidas por um fator de 10, resultando numa gama de 0,01 a 10 mortes por ano, dependendo do emprego ou não de carvão de baixo teor sulfúrico ou carvão com 3% de enxofre. Na medida em que decresçam as emissões de SO_2 , aumentará a importância relativa de outros poluentes que no momento ainda não são muito bem conhecidos, como óxidos de nitrogênio (NO_x), e a níveis muito baixos de SO_2 é provável que esses poluentes se tornem de efeito predominante sobre a saúde.

Para novas usinas acionadas a carvão que atendam aos novos padrões de fonte, esta análise indica uma gama de óbitos precoces, a partir de efeitos ocupacionais e públicos do ciclo de combustível do carvão e de efluentes da combustão do carvão, na faixa de dois a vinte e cinco anuais por usina de 1.000 MW.

A mineração, o primeiro dos passos do ciclo de combustível do carvão, tem sido frequentemente uma ocupação perigosa. Os primeiros perigos surgiram sob a forma de desmoramentos, asfixia e soterramentos. Posteriormente, incêndios, explosões, inundações e acidentes com ani-

mais e vagonetes foram incluídos como os maiores perigos, além da p^{neumo}coniose ou "pulmão preto". (2)

Nos EUA, a partir de 1961, vários foram os estudos clínicos que revelaram doenças nos mineiros de carvão, evidenciadas por alterações em radiografias de tórax, sintomas respiratórios e alterações na função respiratória.

Entre esses, está a pesquisa desenvolvida pelo Serviço de Saúde Pública dos EUA., entre 1963-1965, com a finalidade de determinar a prevalência de pneumoconiose de mineiros de carvão em dois grupos da população: 1) mineiros e outros operários nos campos de carvão betuminoso dos Montes Apalaches e 2) mineiros e suas esposas e outros operários e suas esposas em duas comunidades no Oeste da Virgínia.

No primeiro grupo da população, tomou-se uma amostra estatística de 2.549 mineiros e 1.191 operários de carvão dos Montes Apalaches. Empregaram-se questionários para obter história médica, ocupacional e do hábito do cigarro. Também foram feitas radiografias de tórax, medidas da função respiratória pulmonar e medidas da capacidade de trabalho.

O estudo do Oeste da Virgínia, o segundo grupo da população, compreendeu 185 mineiros, 194 operários e suas respectivas esposas. Também empregaram-se radiografias e medidas conforme acima.

A pesquisa realizada pelo Serviço de Saúde Pública, de 1963 a 1965, revelou que* dos trabalhadores de carvão constitui um sério problema que se estende por toda a área dos Apalaches.

Concluindo: 1) 10% dos mineiros e quase 20% dos operários mostraram doenças evidenciadas por alterações nas radiografias. Cerca de 1/3 dos mineiros com precisas evidências

* a pneumoconiose

radiográficas de doença apresentaram pneumoconiose complicada e quase metade dos operários receberam a classificação radiográfica de portadores de casos complicados de pneumoconiose.

2) Anormalidades radiográficas são definitivamente relativas à mineração de carvão e não aparecem em outros operários que vivem na mesma área. Essas anormalidades são claramente relativas ao número de anos que um mineiro trabalha sob o solo e ao tempo de exposição ao carvão durante o transporte.

3) As evidências radiográficas de pneumoconiose descobertas nos mineiros do carvão betuminoso dos Apalaches assemelham-se às descritas pelos pesquisadores britânicos e europeus.

4) Os sintomas respiratórios não-específicos não são claramente relativos à mineração de carvão, embora aparentemente produzam aumentos de tosse crônica e dispnéia (dificuldade de respiração), com o passar do tempo nas galerias. Os dados apresentados aqui indicam que a dispnéia está associada mais com a idade e o uso do cigarro que com os anos passados nas galerias, porém a mineração subterrânea pode aumentar a extensão desses sintomas.

5) Os valores da função respiratória decrescem com o aumento da idade, hábito do cigarro, número de anos nas galerias e grau de dispnéia.

6) Os mineiros não diferem apreciavelmente de outros trabalhadores com respeito à capacidade de trabalho.

7) Estudos futuros de pneumoconiose em trabalhadores de carvão dem incluir dados ambientais.

A pesquisa epidemiológica da pneumoconiose em trabalhadores de carvão, que tem sido efetuada nos EUA e na Europa, especialmente no Reino Unido, é examinada e a crescida de resumo da patologia da pneumoconiose dos mineiros de carvão.

Esse exame indica que os ^{mineiros} ~~mineiros~~ do carvão betuminoso americano apresentam um tipo de doença similar àquela observada nos mineiros europeus.

Informações ambientais ^{de} ~~de~~ mineiros e grupos de mineração que poderiam estar associados à história ocupacional e alterações radiográficas e fisiológicas não foram incluídas nesse estudo.

4.5. Análise dos Problemas Ambientais

A geração de eletricidade por meio de combustíveis fósseis ou de energia nuclear exerce efeitos ambientais no ar, no solo, na água e no clima em escala global, mesmo quando todos os padrões de desempenho são obedecidos. Tais efeitos adicionam-se aos efeitos diretos sobre a saúde, já mencionados no item anterior.

A indústria do carvão produz efeitos diretos e indiretos no meio ambiente. O ar, água e terra são poluídos tanto pela mineração quanto pela combustão do carvão. A poeira na entrada das galerias e na superfície de minas a céu aberto, o escoamento ácido, o transporte das sobras nas minas superficiais, as pilhas de resíduos e as sobras constituem os produtos ou resíduos poluentes da mineração. Fuligem e óxidos de nitrogênio e de enxofre (NO_x e SO_x), água refrigerante aquecida e caldeira contaminada, material particulado e entulhos são os resíduos da combustão do carvão. (29)

Os impactos potenciais mais sérios sobre o meio ambiente, a partir da geração energética em escala elevada, residem nas modificações no clima do mundo. Tanto o combustível fóssil como a energia nuclear aquecem diretamente a atmosfera ao produzirem eletricidade. E uma das consequências mais sérias desse aquecimento resulta do dióxido de car-

bono (CO_2) produzido na queima do combustível fóssil, porque ele pode alterar bastante as propriedades atmosféricas, perturbando o equilíbrio existente entre a incidência de radiação solar sobre a superfície da Terra e o fluxo de radiação térmica que dela em troca se desprende.

As quantidades de resíduos térmicos, químicos e radioativos que serão introduzidos na atmosfera pelas várias espécies de centrais elétricas podem ser calculadas razoavelmente bem. Contudo, ainda que se possa calcular com grande precisão a esperada alteração do nosso clima atual, a partir desses poluentes, não se pode prever hoje por quantas décadas se terá alterado o clima natural. Portanto, mesmo que fosse conhecido o montante da futura geração elétrica que poderá elevar a média da temperatura, não é possível saber quais serão as consequências, especialmente numa determinada região da Terra.

Os impactos sobre o meio ambiente local a partir de geração elétrica vizinha dependem dos detalhes do ciclo do combustível. A geração elétrica via carvão é um processo relativamente direto, envolvendo extração, queima e aplicação dos produtos residuais. O ciclo do combustível nuclear é mais complexo.

A mineração do carvão gasta e cicatriza grandes áreas de terreno, produz escoamento ácido, que torna difícil a recuperação da terra, além de danificar recursos de água. A queima do carvão, afóra a poluição atmosférica que afeta diretamente o homem, produz efluentes que aumentam a acidez das chuvas regionais com efeitos deletérios sobre as plantas, os animais e as substâncias em geral.

Qualquer tentativa de prever-se o efeito sobre o clima, a partir do emprego extraordinariamente expandido de energia vê-se complicada por nossa atual incapacidade de

compreender oscilações climáticas naturais em grau suficiente para prevê-las, e pelos possíveis efeitos de outros poluentes derivados de atividades humanas. Ainda não podemos identificar sem ambiguidade o efeito do espetacular acréscimo em poluição térmica ou qualquer outra sobre o índice de temperatura global do século passado, uma vez que no momento, a não ser quanto a alguns efeitos locais, as variáveis climáticas parecem superar as perturbações artificiais. Um exemplo desses efeitos locais constata-se em Manhattan, onde a média anual de entrada de energia a partir de atividades humanas é cerca de 700 watts/m², embora a média de radiação solar absorvida nessa latitude seja menos de 100 watts/m². Portanto, o calor proveniente da indústria, da geração elétrica, da calefação, de instalações de ar condicionado, do transporte e de outras aplicações de energia domina o fluxo natural e causa sérios transtornos no clima dessa pequena zona; ali existem mais nuvens, ocorre maior precipitação e as temperaturas são mais altas do que em áreas geográficas semelhantes com menor atividade absorvedora de energia. (27)

Quando as injeções de calor artificial são comparadas com a indução solar, que comanda o sistema meteorológico do mundo, ou quando se compara o CO₂ proveniente da queima de combustível fóssil com o da fotossíntese, esses transtornos artificiais são pequenos e seus efeitos podem estar mascarados por oscilações normais. Entretanto, apesar de não identificados, esses efeitos podem ser graves, como irreversível será o dano causado ao meio ambiente.

Para compreender a magnitude da poluição térmica e compará-la com os efeitos climáticos de outras emissões, primeiro consideramos a geração total de energia térmica por ação do homem em relação aos efeitos térmicos da radiação solar. A quantidade de energia solar intercep-

tada por toda a superfície da Terra e devolvida à atmosfera apresenta a média de 341 watts/m^2 . Tal energia é reintroduzida na atmosfera à mesma taxa em que é recebida. Em média, 30% do fluxo incidente solar é refletido de volta, 45% é absorvido e imediatamente reirradiado (dentro de minutos a dias) como radiação infravermelha, e 25% é usado na evaporação da água; 0,2% impulsiona os ventos, ondas e correntes; 0,02% é utilizado na fotossíntese. Em última análise, toda a taxa de 25% do fluxo solar envolvido no acionamento dos fenômenos meteorológicos da Terra (bem como aquele usado na fotossíntese) é transformada em calor e devolvida como radiação infravermelha. Essa energia, que nem é refletida nem reirradiada de imediato, é chamada de energia de equilíbrio de radiação; ela varia com a latitude e apresenta a média de mais ou menos 100 watts/m^2 . As atividades do homem afetam diretamente o equilíbrio de radiação, porque centrais elétricas, outros processos industriais e na verdade qualquer emprego de energia produzem uma fonte adicional de calor que não a do sol.

A contribuição artificial ao equilíbrio de radiação em 1975 foi cerca de 9×10^{12} watts térmicos. Essa quantidade corresponde a uma admissão média global de $0,02 \text{ watts/m}^2$ ($0,05 \text{ watts/m}^2$ sobre os continentes). Como essa admissão é apenas da ordem de 0,02% do equilíbrio de radiação, provavelmente ela não tem afetado o clima em grande escala. Não obstante, como já tratado acima, certas áreas realmente apresentam efeitos. Se a produção de energia crescer à taxa média anual de 4,5% em mais ou menos cinquenta anos a média de admissão térmica global artificial será então cerca de $0,2 \text{ watts/m}^2$, ou seja, da ordem de 0,2% do equilíbrio de radiação; em oitenta anos, a admissão térmica será aproximadamente 0,6% do equilíbrio de radiação. Um acréscimo de uns poucos décimos de 1% do equilíbrio global de radiação poderá causar, ao cabo de algumas décadas, o derretimento do

gelo polar. Essa admissão térmica artificial poderá exercer trágicos efeitos sobre o clima da Terra num lapso de tempo relativamente curto.

Os componentes atmosféricos, como o CO_2 e vapor d'água, são transparentes à luz visível e, portanto, não impedem o fluxo incidente da energia solar de alcançar a superfície da Terra. Entretanto, eles absorvem a radiação infravermelha desprendida da Terra, dos oceanos e das nuvens a temperaturas muito mais baixas do que a temperatura da radiação solar. Reirradiam de volta à superfície uma parte da energia absorvida, de modo que certa fração do calor, que de outra maneira se perderia no espaço, permanece para aquecer a atmosfera, os mares e os continentes. Esse efeito é conhecido como "efeito de estufa".

Embora CO_2 só constitua um trilhésimo da atmosfera, ele influencia grandemente o clima. Um aumento de 10% no índice de CO_2 atmosférico, com outros parâmetros fixados, leva a um aquecimento cerca de $0,3^\circ\text{C}$ de toda a camada atmosférica inferior. As aferições indicam que a concentração de CO_2 aumentou aproximadamente em 10% desde o início da Revolução Industrial. Quando a temperatura sobe, por exemplo, o CO_2 dissolvido nos oceanos tende a escapar para a atmosfera; e esse CO_2 adicional na atmosfera aumentará ainda mais o aquecimento. Elevada, a temperatura pode reduzir o albedo (a proporção de radiação solar refletida da Terra com relação à que incide sobre ela) pelo derretimento da neve e do gelo. Como menos energia é refletida, mais energia existe para aquecer a superfície. Temperaturas mais altas fazem com que o índice atmosférico de vapor d'água aumente, o qual por sua vez causa maior absorção de radiação infravermelha que contribui, assim, para o aquecimento com efeito de estufa. Mas as temperaturas elevadas também aumentam a nebulosidade em altitudes superiores, a qual aumenta o albedo e causa um efeito de esfriamento.

Não fosse a atividade humana, pouca alteração futura se registraria no índice de CO_2 na atmosfera, uma vez que a quantidade de CO_2 consumida na fotossíntese está quase em exato equilíbrio com a quantidade liberada para a atmosfera através de processos naturais, como a oxidação de substâncias orgânicas mortas. Entretanto, a combustão mundial de combustível fóssil já emite cerca de 15 bilhões de toneladas de CO_2 por ano (e não há retorno apreciável de carbono aos reservatórios fósseis) em comparação com 110 bilhões de toneladas de CO_2 usados anualmente na fotossíntese. No espaço de umas poucas décadas, a queima de combustível fóssil estará ameaçando romper o equilíbrio natural entre produção e absorção, que se desenvolveu ao longo da era geológica.

Hoje, a massa atmosférica de CO_2 compreende 2,4 trilhões de toneladas. Da quantidade total de CO_2 emitida anualmente durante a combustão, cerca de 1/3, ou 5 bilhões de toneladas, permanece na atmosfera e os 2/3 restantes são absorvidos pelos oceanos e massas continentais. Assim, mesmo que a taxa de queima de combustível fóssil não aumente, o equivalente a 0,2% de toda a massa atmosférica de CO_2 será emitido cada ano, ou seja, 2% por década. Se a taxa de utilização de combustível fóssil tiver de dobrar a cada quinze anos, por volta do ano 2000 a concentração de CO_2 na atmosfera aumentará em torno de 30%, acima dos níveis pré-revolução industrial. Tal aumento causará um acréscimo de 1°C na temperatura atmosférica e provavelmente um sério impacto sobre o clima. O impacto sobre o clima local é que seria muito incerto, embora provavelmente profundo, sobretudo nas regiões polares onde mudanças de temperatura durante os períodos de frio e de calor são acentuadas. Por outro lado, se a tendência para o esfriamento tiver de prosseguir, ou acelerar, o CO_2 talvez possa reduzir a severidade do esfriamento planetário.

Na queima do carvão é emitido óxido nitroso (N_2O) para a atmosfera. Ele pode afetar diretamente a temperatura da superfície por meio do aquecimento de estufa, do mesmo modo que o CO_2 , e também indiretamente depois de se converter em óxido nítrico (NO), pela destruição catalítica do ozônio. O efeito do ozônio é complicado, uma vez que ele tanto reduz a temperatura superficial pela absorção da radiação ultravioleta, como contribui para o efeito de estufa pela absorção infravermelha. Presentemente, calcula-se que seja apenas de 0,1% a carga atmosférica de ácido nitroso proveniente da queima de combustíveis fósseis, embora acréscimos substanciais na queima de carvão possam contribuir significativamente para isso. Espera-se também que certos efeitos de estufa se originem do metano liberado pela queima de combustível fóssil, apesar de só recentemente terem se iniciado as análises de efeito e conseqüências das emissões de óxido nitroso e metano.

A poluição por partículas, originadas na queima de combustível, pode afetar o equilíbrio térmico da atmosfera. Embora minipartículas na atmosfera dispersem a radiação solar, só a pequena parte redispersada é responsável pelo aumento do albedo (refletividade) da Terra. E o decréscimo em radiação solar que atinge a superfície contribui para temperaturas mais baixas. Sugerem certos cálculos que uma diminuição na transparência solar de 3 a 4% poderá levar a uma redução de temperatura na superfície de $0,4^{\circ}C$. Há minipartículas, entretanto, que podem absorver a radiação solar e também ultrapassar a radiação de onda longa, o que poderá diminuir o albedo da Terra e aquecer a camada inferior da atmosfera. O efeito líquido sobre o total do equilíbrio de radiação depende da abundância, da localização, do tamanho, da composição e da faixa de altitude dessas minipartículas.

As temperaturas podem ser afetadas indiretamente quando partículas ocasionam núcleos de condensação que formam nuvens compostas de minigotículas de água. Uma acentuada concentração de partículas de pó em estado uniforme poderá produzir aumento de nebulosidade. Conforme cálculos efetuados, um acréscimo de 2,1% na cobertura de nuvens poderá provocar uma queda de 2°C na temperatura, por causa da reflexão da luz solar antes que ela alcance o solo.

Cerca de 200-400 milhões de toneladas de partículas artificiais, sulfatos de combustão em sua maior parte, são injetados anualmente na atmosfera. Essas partículas são introduzidas nas camadas inferiores da atmosfera e aí permanecem por cerca de dez dias até que ocorram chuvas. Por sua vez, as erupções vulcânicas introduzem, ao que se calcula, de 800 milhões a 2 bilhões de toneladas de partículas por ano, as quais podem ser carregadas para grandes altitudes onde permanecem em suspensão por muito tempo. Presume-se que o SO₂ injetado na estratosfera, que em última análise contribuiu para a formação de partículas de sulfato, mais do que o pó injetado na atmosfera, tenha causado os efeitos climáticos retardados. A comparação entre os dois casos não pretende insinuar que se ignorem os efeitos artificiais, mas apenas usar os resultados empíricos de erupções vulcânicas para estabelecer uma escala para os efeitos de partículas.

Em suma, os efeitos gerais da poluição de partículas sobre o clima são desconhecidos. Embora o aumento de partículas meramente refletoras deva baixar a média de temperaturas, não se conhece a magnitude das mudanças artificiais, nem em transparência nem em camadas de nuvens. Por outro lado, o aumento de partículas absorvedoras deverá aumentar a média de temperatura na superfície. Também pouco está bem esclarecida a mistura de partículas refletoras e absorvedoras que a queima de combustível fós

sil acaba por colocar na atmosfera.

Problemas igualmente sérios são aqueles causados pela drenagem e pelo escoamento ácidos decorrentes da mineração do carvão. Esse tipo de drenagem é mais comum no lado Oriental dos EUA, onde não apenas o índice de enxofre no carvão é mais alto como o índice pluviométrico é maior do que no lado Ocidental. Os efeitos da drenagem ácida e do escoamento contaminado são evidentes na destruição da vida animal e vegetal em cerca de 10.000 milhas de correntes, lagos e água poluídos, impróprios para uso industrial, recreativo ou residencial.

Com relação às minas abandonadas, a situação é talvez ainda mais séria do que em relação às minas em atividade, porque mesmo depois da interrupção das operações a água continua a fluir durante décadas antes que a acidez desapareça, não havendo incentivo para se arcar com os altos custos das medidas corretivas.

Nos últimos anos tem-se constatado que a precipitação pluvial de certas grandes áreas do nordeste dos EUA é cerca de 20 vezes mais acidífera do que a chuva natural (a chuva natural tem um pH entre 5,5 e 5,7, enquanto que o pH da chuva sobre essas áreas caiu para perto de 4,1). Existem provas também de que a chuva de um modo geral se tornou mais ácida a partir de 1950. A precipitação ácida pode afetar o meio ambiente por ação direta sobre vegetais e alterando a acidez do solo e de massas de água. (aspecto discutido no item 4.3). A continuada exposição do solo à precipitação ácida pode levar à exaustão de nutrientes e à própria acidificação.

Nos lagos e correntes, dado que a época da desova coincide com o período de maior concentração ácida (quando a precipitação da neve derretida, ou da chuva, se acumula em lagos e correntes), muitos peixes podem morrer pre

naturalmente.

As emissões naturais de compostos de enxofre, que resultam de vegetais, constituem um nível atmosférico de fundo da ordem de 0,5 a 4mg de sulfatos por metro cúbico. Calcula-se que isso represente uma vez e meia a quantidade atualmente resultante de fontes artificiais. Entretanto, em regiões industrializadas, as emissões concentradas a partir da queima de combustível fóssil são muito maiores do que aquelas a partir de fontes naturais. No cinturão industrial do lado oriental do EUA, óxidos de enxofre tem uma concentração superior a $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e em algumas áreas urbanas as concentrações atingem de 80 a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A variação geográfica é grande, com os pontos urbanos do lado oriental registrando concentrações três vezes-maiores do que aquelas dos pontos ocidentais, com o cinturão industrial do nordeste apresentando as concentrações mais altas. Estima-se que mais da metade das emissões artificiais de óxido de enxofre nos EUA provenha de centrais elétricas, sendo que de 1960 a 1970 a contribuição dessa fonte aumentou em quase 100%. Normas atualmente em vigor impõem limites às emissões de óxido de enxofre em usinas elétricas, para que a taxa de formação desse polvente seja desacelerada ou invertida no futuro.

A análise da precipitação pluvial indica que cerca de 25% da acidez resulta de ácido nítrico, ficando a maior parte do restante por conta do ácido sulfúrico. A taxa de aumento do componente de ácido nítrico parece ter sido mais rápida do que a de ácido sulfúrico. Essa proporção ácido nítrico/ácido sulfúrico é importante, visto que a tecnologia para a remoção de óxidos de nitrogênio ainda não está bem desenvolvida quanto aquela para a remoção de SO_2 .

A tecnologia hoje em prática permite a remoção de óxidos de enxofre de gases de chaminé por meio de processos di

versos de dessulfurização e de depuração. Entre os problemas registrados com os depuradores, um diz respeito à destinação da grande quantidade de subprodutos residuais, ou barrela, de depuradores de cal e calcário. Esses resíduos são armazenados temporariamente numa linha de tanques perto da usina, e assim a disponibilidade de espaço junto da usina passa a ser um dado importante na decisão de se empregar depuradores. É provável que a barrela acabe podendo passar por um processo de fixação que a torne adequada para leitos rodoviários e terraplenagem. Um outro modo de reduzir emissões de óxido de enxofre é remover parte do enxofre antes da queima. Carvão lavado tem aproximadamente 40% menos enxofre do que carvão recém-extraído, mas essa redução não é suficiente para atender aos padrões de desempenho de fonte adotados nos Estados Unidos. O uso de altas chaminés nas vizinhanças da usina elétrica pode significar padrões aceitáveis de qualidade do ar, no que concerne a SO_2 , a custo relativamente baixo; entretanto, isso não resolve o problema real, uma vez que a mesma quantidade de anidrido sulfuroso é dispersa sobre uma vasta área. O anidrido sulfuroso, conseqüentemente, é convertido em sulfatos que produzem chuva ácida e efeitos sobre a saúde, que são os principais problemas da queima de carvão. Por outro lado, a combustão em leito fluidizado pode remover o enxofre do carvão através de reação com pedra calcária durante a combustão, reação que resulta num produto menos difícil de ser manipulado do que a barrela dos depuradores.

À primeira vista o problema de controle da emissão de fumaça (gases da combustão) parece inteiramente simples, mas as bolhas de fumo, aparentemente inalteráveis quando diluídas em água, demonstram que o problema não é facilmente solúvel. As grandes partículas de fuligem e poeira podem ser imediatamente removidas em precipitadores ou em ciclones, onde são usadas forças gravitacio-

Mediante a captura de partículas comparáveis em tamanho ao comprimento de onda da luz, uma importante fração da poeira responsável pelo espalhamento da luz é removida e, portanto, a probabilidade de formação de pluma visível é substancialmente reduzida.

A cinza deixada após a queima do combustível não é o único agente responsável pelas emissões de chaminé.

Virtualmente, outros constituintes do gás de chaminé - água, monóxido de carbono e óxidos de enxofre e de nitrogênio - entram com a sua contribuição.

Um dos problemas que imediatamente se torna evidente é o que se deve fazer com o material coletado. A planta piloto pode coletar poucas dezenas de m^3 por minuto mas a natureza opera com dezenas de milhares de m^3 por minuto. Independente do produto final, devemos acondicioná-lo, talvez na forma de enxofre, sulfato de amônia, ácido sulfúrico ou sulfato de cálcio.

Um fator importante influenciando a configuração do uso de energia na geração termoelétrica a carvão, nos anos recentes, tem sido o controle da emissão de poluentes para a atmosfera. A regulamentação para as termoelétricas refere-se primeiramente a três poluentes: óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio e particulados. Os padrões ambientais de qualidade do ar (tabela 4.6) limitam a concentração de óxidos de enxofre na atmosfera enquanto que os padrões de emissão (tabela 4.7) limitam a quantidade de óxidos de enxofre que pode ser descarregada na atmosfera. Os padrões de emissão em geral consideram apenas a queima de carvão contendo 1% do enxofre ou menos. (30)

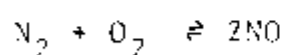
Padrões	Concentração		Descrição
	ug/m ³	ppm	
Primário	Óxidos de enxofre		Média arit. anual
	80	0,05	Máximo de 24h
	500	0,14	Máximo de 3h
Secundário	Particulados		Média geom. anual
	1500	0,5	Máximo de 24h
Primário	Óxidos de nitrogênio		Média geom. anual
	75		Máximo de 24h
Secundário	Particulados		Média geom. anual
	250		Máximo de 24h
Primário e Secundário	Óxidos de nitrogênio		Média arit. anual
	100	0,05	

Tabela 4.6 - Padrões americanos de qualidade do ar. (30)

Poluente	(combustível)	Máxima emissão por 10 ⁶ BTU de entrada calor
Óxidos de enxofre	Líquido	0,5
	Sólido	1,2
Particulados	Todos	0,1
Óxidos de nitrogênio	Gasoso	0,2
	Líquido	0,3
	Sólido	0,7

Tabela 4.7 - Padrões de efluentes para usinas termelétricas com entrada superior a 250x10⁶ BTU/h (30)

Ao contrário dos óxidos de enxofre nos gases de combustão, que estão diretamente relacionados com o teor de enxofre do combustível, Do ponto de vista de atividade química, o nitrogênio é um elemento relativamente inerte; contudo, uma mistura de nitrogênio e oxigênio sujeita a altas temperaturas (2800 a 4000°F) reagirá para produzir uma quantidade significativa de NO conforme a reação:



Desta reação, considerações termodinâmicas indicam que o aumento de temperatura favorece a formação de NO desde que seja alcançado o equilíbrio químico. Mas, em uma situação prática, as condições de equilíbrio não são alcançadas e as taxas de reações diretas e inversas devem ser consideradas.

Estudos espectroscópicos indicaram que quase todos os óxidos de nitrogênio nos gases de chaminé das fornalhas estão presente como NO e apenas numa proporção menor como NO_2 .

Dado que o processo de formação é inteiramente complexo, torna-se difícil prever a quantidade de óxido de nitrogênio que será produzida de uma certa fornalha. A quantidade de NO_x pode variar dependendo das condições da queima, sendo importantes a temperatura da chama, os gases de combustão formados a altas temperaturas e o excesso de ar presente na chama.

Muitos laboratórios americanos estão pesquisando maneiras de reduzir o teor de NO_2 nos gases emitidos pela combustão de gás, óleo e gasolina mediante estudos das condições variáveis da queima que podem ser obtidas por modificações no projeto das caldeiras.

Os princípios adotados nesses métodos de controle são baseados na redução da temperatura da chama. Em centrais elétricas, uma redução de 50% em óxidos de nitrogênio é consequência da introdução de um combustível secundário, isto é, da combustão em dois estágios. O corpo principal do combustível é queimado com uma deficiência em oxigênio; em seguida, o ar adicional é injetado no queimador, completando a queima do combustível. Recentemente, outras reduções na formação de NO ocorreram pela recirculação do gás de exaustão, modificações nos

projetos da caldeira e do queimador e pela operação da usina abaixo do pico de funcionamento. Reduzindo-se, com isso, a taxa de combustão e impedindo que a chama alcançasse a temperatura adiabática. Assim, verificou-se uma redução de 50 ppm nas concentrações de NO_x , uma redução de um fator de 10 comparada às caldeiras não controladas

O governo americano estabeleceu padrões para a qualidade do ar ambiente. Por exemplo, para a área de Los Angeles os padrões para os óxidos de nitrogênio e os oxidantes foram estipulados assim: durante dias de pesada concentração com um valor de oxidante superior a 0,4 ppm, a concentração de hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio foi observada estar entre 0,5-1,25 e 0,3-0,7 ppm, respectivamente. Em dias sem concentração quando o oxidante é inferior a 0,1 ppm, os valores de hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio são, respectivamente, 0,1 - 0,5 e 0,05-0,25 ppm. Em dias claros, a dispersão dos poluentes é boa e a concentração é muito baixa. Todavia, quando há uma pequena inversão, as concentrações são muito altas. Contudo, a taxa entre hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio permanece constante. Em uma alta inversão, da ordem de 300m, o hidrocarbonetos e os óxidos de nitrogênio estabelecem uma concentração de 1,0 e 0,5 ppm, respectivamente. Quando a inversão é superior a 600m, a concentração será, quando muito, de 1/2, isto é, 1/2 a 1/3 ppm, respectivamente.

A título de ilustração para a nossa análise, é significativo o seguinte exemplo: cada uma das três unidades geradoras da usina termoeletrica Navajo, no Estado do Arizona, possui, em separado, uma caldeira de 750 MW para queimar carvão. O carvão médio entregue à usina contém cerca de 8% de cinza e um poder calorífico de 11000 Btu/lb. (51)

A qualidade do ar na área sujeita às emissões da usina é mantida por:

- 1 - Precipitadores ou equipamento equivalente para remoção de material particulado com uma eficiência de projeto de 99,5%.
- 2 - Carvão com baixo teor de enxofre (em média, 0,51%) e meios para minimizar a maior quantidade de enxofre que entra na fornalha.
- 3 - Altas chaminés para proporcionar dispersão adequada de gases.
- 4 - Espaço para instalação posterior de um processo de remoção de SO_2 .
- 5 - Caldeira que emprega o modelo de queima tangencial e de outros meios para reduzir a formação de NO_x .

Além da queima tangencial, que é um benefício inerente à redução de NO_x , os outros meios para melhorar a relação temperatura - tempo são as entradas alternativas de ar na fornalha, a queima com pouco desperdício de ar, a recirculação do gás de chaminé e a chama reduzida.

O método usado no Projeto Navajo para a determinação da altura das chaminés envolveu os seguintes passos:

- 1 - Análise de emissões esperadas
- 2 - Medida e análise de dados da dispersão meteorológica, incluindo estabilidade atmosférica, disposição do vento e temperatura ambiente.
- 3 - Desenvolvimento de critérios de projetos
- 4 - Estimativas de dispersão em função da altura das chaminés.

Parece impossível mostrar que os atuais padrões de SO_2 no ambiente possam ser respeitados sob todas condições atmosféricas apenas pelo emprego de altas chaminés. Os meteorologistas classificam em três tipos gerais os modelos atmosféricos relativos à dispersão da pluma: fumigação ,

mistura limitada e neutra.

A fumigação, algumas vezes chamada "inversão-dispersão", ocorre frequentemente nas manhãs após uma pluma (coluna de fumaça) ter-se mantido por algumas horas sob uma camada de inversão. O processo de dispersão começa com o aquecimento do solo. Quando o ar aquecido e turbulento alcança a pluma por um breve período; usualmente menos de 30 minutos, ela pode descer ao nível do solo em altas concentrações, em intensidades relativamente insensíveis à variação de altura das chaminés, exceto se tal variação determina a posição da pluma (acima ou abaixo) em relação à altura da inversão noturna (figura 4.11).

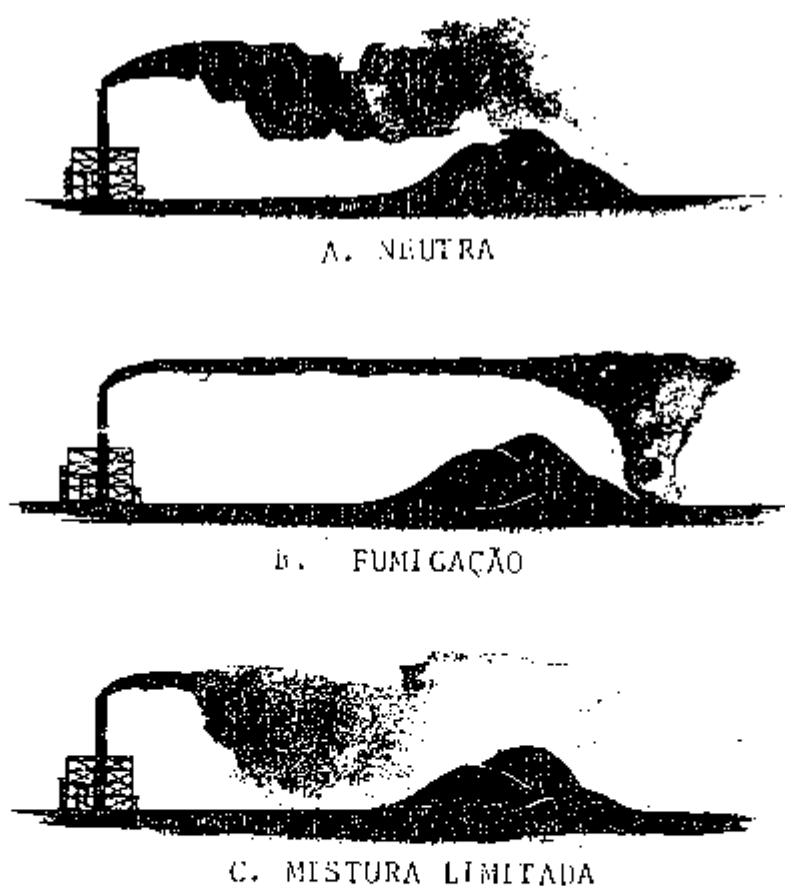


Figura 4.11 - Modelo de dispersão atmosférica⁽⁵¹⁾

A segunda condição, a de mistura limitada, ocorreria em períodos relativamente raros nos quais o ar circula satisfatoriamente sob uma camada de inversão, que comporta-se como uma cobertura (conforme a figura 4.11), a pluma tende a dispersar-se uniformemente entre o nível de mistura e o solo. Isto pode ocorrer sobre uma vasta área e estender-se por muitos dias. Da mesma forma, a altura da chaminé tem pouco ou nenhum efeito sobre as concentrações alcançáveis durante tal condição de mistura limitada.

No modelo neutro, a pluma eleva-se devido à sua instabilidade até alcançar um nível de equilíbrio, o que depende da velocidade do vento, e então continua a expandir-se. Neste modelo, a altura da chaminé afeta fortemente as concentrações ao nível do solo.

Os tipos anteriores indicam porque os critérios de altura das chaminés foram baseados apenas nas condições de dispersão neutra. Em termos de duração das concentrações as outras duas condições são intoleráveis, de modo que devem ser reduzidas por meios outros além do aumento de altura da chaminé. Assim, o critério de projeto foi tal que a concentração de SO_2 ao nível do solo não excedesse os limites permissíveis sob condições de dispersão neutra.

A fim de obter dados ambientais de fundo antes de sua operação, o Projeto Navajo implantou um grande número de estações de monitoração ao longo do sítio da usina. As localidades foram determinadas com base no desejo de avaliar as medidas de dispersão meteorológica em pontos-chave, bem como documentar níveis de consideráveis efluentes em áreas selecionadas, por exemplo, as intensidades relativas de SO_2 e matéria particulada.

Admitiu-se que uma usina desse porte acarretaria um impacto sobre a ecologia da área circundante. É conhecido

que altas concentrações de poluentes podem destruir plantas, envenenar o solo, ou simplesmente induzir animais a abandonar a vizinhança. Portanto, devem ser feitas observações ao longo do sítio da usina por um período de três anos antes do início da operação, ou seja: medidas microscópicas e macroscópicas, registro de aspectos da biosfera, bem como dos aspectos climatológicos e químicos do ambiente.

Outros aspectos que demandam consideração: controle de ruído, controle de poeira, deposição final da cinza e aspectos estéticos.

A consequência ecológica mais séria decorrente da geração cada vez maior de energia elétrica parece ser o impacto sobre o clima do mundo. E essa ameaça é apresentada pelo dióxido de carbono, cujo controle não tem sido muito prático. O problema do aquecimento da atmosfera através do efeito estufa do CO_2 complica-se pelo pouco conhecimento dos danos causados por partículas e outros poluentes como anidrido sulfuroso e óxido nítrico. O mais importante é que a atual imprevisibilidade de variações climáticas naturais e os efeitos não testados de um aumento global de temperatura sobre formação de nuvens, precipitação pluvial e padrões meteorológicos regionais, impossibilitam qualquer avaliação perfeita do verdadeiro impacto decorrente do maior emprego de combustíveis fósseis. Como as oscilações a curto prazo de variáveis climáticas camuflam de um modo geral tendências quanto a períodos mais longos, é possível que tais questões não sejam resolvidas num futuro próximo. Contudo, aumentos de vulto no emprego de combustíveis fósseis poderão exercer um grave efeito sobre o clima.

Com relação a impactos ecológicos locais e mais imediatos a situação é mais clara. A mineração do carvão impõe amplos efeitos sobre o uso da terra dado que o carvão é mi

nerado tanto na superfície como em galerias subterrâneas. A mineração superficial deixa crateras que tornam a terra inaproveitável a menos que lhe seja dispensado um tratamento de reconstituição. Tem-se demonstrado - inicialmente na Alemanha - que existem procedimentos por meio dos quais podem ser tomadas precauções para evitar grandes devastações promovidas pela mineração. As estimativas de custo da adequada recuperação do solo dependem do terreno e podem variar de \$1.000 a \$ 10.000 por acre - custo estimado em 1977 -, com o acréscimo médio de \$0,25 a \$0,50 por custo da tonelada de carvão do leste ou do oeste americano (em 1968, o custo do carvão em algumas minas variava entre \$1,42 e \$9,02 por tonelada).

A mineração a céu aberto em regiões ainda virgens é objeto de oposição por grupos de defesa do ambiente e interesses agrícolas locais. As objeções mais importantes são os danos causados à terra e os efeitos sócio-econômicos indesejáveis em uma região rural, esparsamente populada e predominantemente agrícola, de pequenas cidades e ranchos isolados. Os fazendeiros temem que as terras atualmente usadas como pasto tornem-se imprestáveis e que a água para mineração e recuperação das terras possa fazer falta aos agricultores e pecuaristas da região. (3)

A mineração subterrânea de carvão também impõe o impacto ambiental, principalmente subsidência, produção de drenagem ácida em minas e deposição de resíduo sólido.

Num balanço geral, esses efeitos locais são menos críticos do ponto de vista dos potenciais impactos ecológicos do que os efeitos do elevado aquecimento de estufa sobre o clima do mundo. Tal problema atesta em desfavor da dependência exclusiva do carvão como fonte energética.

Cabe ainda notificar um outro problema associado com a combustão de carvão. Foram identificados 35 traços de metais entre os elementos liberados no meio ambiente como produtos da queima do carvão; são eles:

Ag, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, F, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, In, Mn, Mo, Ni, Pb, Ph, Sb, Se, Sn, Si, Sr, Te, Ti, Tl, U, V, W e Zn. (31)

Quatorze desses elementos são considerados potencialmente nocivos a organismos de vários ecossistemas, tanto pelo contato direto quanto pela incorporação à comida. Esses elementos incluem: As, Se, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Se, Sn e Tl.

Esses traços liberados na combustão do carvão ou na gaseificação penetram em sistemas aquáticos e terrestres e destes vão ao homem.

Muitos dos elementos citados estão concentrados nas cinzas do carvão, enquanto uma pequena porcentagem dessas substâncias é liberada como gases ou material particulado. Por exemplo, nas cinzas podem ser encontrados Ag, Al, Ba, Co, Cu, Fe, Ge, Mn, Rb, Ti, Th, W e Zn; no solo ao redor das usinas termelétricas: Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Ti e Zn; e elementos encontrados na vegetação: Cd, Fe, Ni e Zn.

Aqui estão relacionados alguns elementos que são tóxicos para mamíferos ou potencialmente destruidores de ecossistemas aquáticos e terrestres.

- Ag (prata)
Tóxico para organismos marinhos. Seu efeito é nocivo em algas, ouriços e mamíferos marinhos, entre outros. A prata pode ser absorvida pelos pulmões e trato gastrointestinal.
- AS (arsênio)
É praticamente encontrado em todo o meio ambiente. Sua toxicidade tem sido notada no crescimento das plantas nos solos tratados com pesticidas à base de arsênio, .

herbicidas e desfolhantes. No solo impede a germinação das sementes.

É um veneno cumulativo de longoscrônicos em organismos aquáticos e em espécies mamíferas.

É ingerido pelo homem através de peixes, carne e aves (56%), laticínios (23%), cereais (14%) e batatas (6%).

- Cd (cádmio)

É considerado um tóxico extremamente perigoso, causando um envenenamento progressivo e crônico em peixes, mamíferos e outros. Está sempre associado ao Zn na crosta terrestre.

O homem ingere cádmio de cereais (23%), frutas (18%), batatas (18%), laticínios (8%) e carne, peixe e aves (5%).

- Hg (mercúrio)

Também é um tóxico perigoso devido à sua volatilidade e transformação bacteriana. O mercúrio é retido nas chamadas superficiais do solo em virtude da absorção por materiais orgânicos e inorgânicos.

Sua ocorrência é observada em toda a extensão do meio ambiente (águas, animais, plantas, peixes, aves), sendo, portanto, altamente danoso ao homem.

- Pb (chumbo)

Também presente em solos e plantas, acarretando muitos efeitos nocivos ao homem, particularmente às crianças.

A ingestão de chumbo é feita por meio de legumes (31%), frutas (19%), vegetais (6%), cereais (7%) e carne, peixe e aves (7%). Do chumbo ingerido, 5 a 10% são absorvidos e 37% permanecem nos pulmões.

V. Nucleoeletricidade

5.1 Descrição do PWR (Pressurized Water Reactor)

Os sistemas nucleares de suprimento de vapor convertem a energia derivada da fissão nuclear em energia térmica e transferem essa energia para o fluido circulante de uma turbina a vapor.

Mais de três quartos dos reatores de energia em funcionamento ou em construção por todo o mundo são reatores a água leve (light water reactor) - dos quais existem dois tipos: o reator a água pressurizada (PWR) e o reator a água fervente (BWR). O LWR foi desenvolvido principalmente nos Estados Unidos e, com exceção de uns poucos sistemas experimentais, todos os atuais reatores de energia dos EUA pertencem ao tipo LWR.

O diagrama esquemático de um sistema de reator a água pressurizada (PWR) está mostrado na figura 5.1. A principal diferença entre os sistemas PWR e BWR é que o PWR emprega um ciclo indireto: a água de esfriamento que passa pelo PWR não circula pela turbina. A água de esfriamento primário passa pelo cerne do reator (que é semelhante em composição e em configuração ao de um BWR) e é aquecida a cerca de 600°F. A ebulição não ocorre, entretanto, porque a pressão num PWR é mantida a cerca de 2.250 psi (sob a qual a água de pressão só ferve a mais ou menos 650°F). O refrigerante primário deixa então o recipiente do reator, é canalizado através de dois ou mais geradores de vapor, e bombeado de volta para a entrada do reator.

Nos geradores de vapor, a água de esfriamento primário circula dentro dos tubos, cujos exteriores ficam em contato com um segundo circuito de água em uma pressão mais baixa, aproximadamente de 1.000 psi.

O calor é transferido através das paredes do tubo, a partir do refrigerante primário mais quente para a corrente secundária e, então, a água na corrente secundária entra em ebulição, proporcionando vapor a mais ou menos 500° F para a turbina. A descarga da turbina passa então através de um condensador e é bombeada de volta aos geradores de vapor. (27)

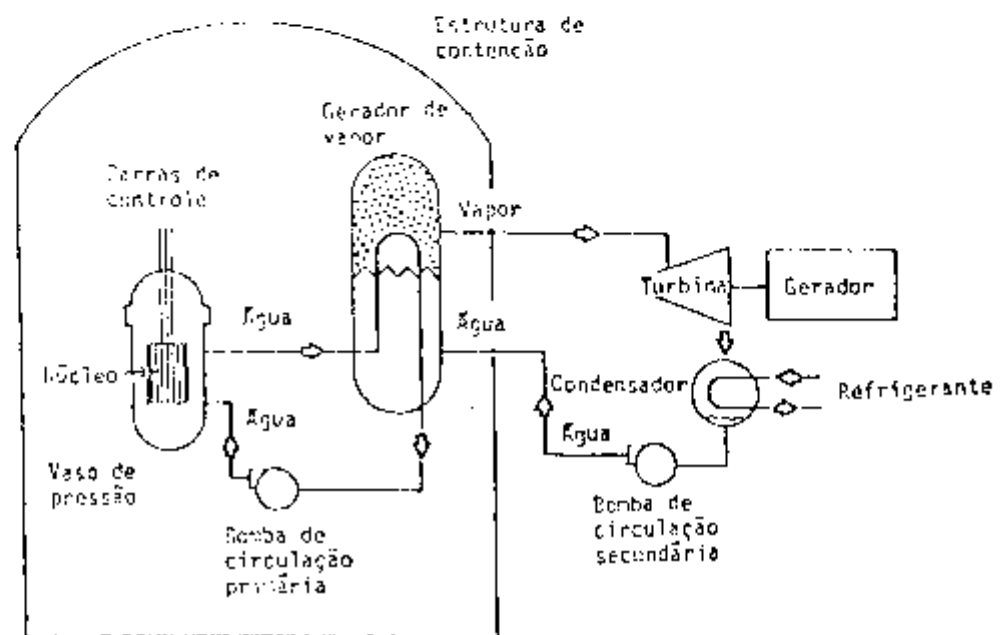


Figura 3.1 - Esquema básico de uma central nuclear tipo PWR(27)

Todos os reatores de potência hoje em operação contêm um material moderador que desacelera a velocidade dos neutrons liberados na fissão, dotando-os de uma energia próxima à do equilíbrio térmico com seus circundantes. O PWR usa a água leve ou ordinária (H_2O) como moderador.

O calor despreendido pela fissão é removido do combustível pela circulação de um refrigerante fluido através do Cer-

ne do reator. A água é o refrigerante mais comum usado em reatores térmicos (RTR), servindo simultaneamente de moderador.

Controla-se um reator conseguindo-se variar o destino dos nêutrons dentro do cerne. O meio fundamental para se realizar isso é inserir ou retirar materiais absorvedores de nêutrons, como boro e háfnio, jamais se permitindo que o reator se torne crítico só com nêutrons rápidos.

O cerne do reator aloja-se num vaso de pressão. O vaso de pressão do reator e todos os outros componentes do sistema nuclear de vapor que contém fontes de radiação são revestidos com blindagem, em diversas quantidades, para a proteção do pessoal da usina durante a operação normal do reator. Para proteger o público em geral das consequências de um acidente - em particular, um envolvendo a liberação de produtos de fissão do reator - toda a instalação é encerrada em uma estrutura de contenção. Em algumas usinas isto toma a forma de um pesado edifício envolvendo todo o sistema de fornecimento de vapor, enquanto em outras instalações a contenção é desmembrada, uma parte circundando o reator (a contenção primária) e a outra coincidindo com o prédio do reator (a contenção secundária).⁽³⁷⁾

Uma vista em corte de um PWR aparece na fig.5.2. Um gerador de vapor, um pressurizador e um arranjo esquemático desses e de outros componentes são mostrados, respectivamente, nas figuras 5.3, 5.4 e 5.5.

Um pressurizador consiste de um tanque cilíndrico, contendo vapor e água nas seções superior e inferior, respectivamente, com uma válvula de pressão no alto e com aquecedores de pressão imersos na parte inferior. Em caso de redução de potência da turbina, em consequência de uma queda de carga elétrica na usina, ocorre um aumento temporário na temperatura média do refrigerante provocando um

acrôscimo em seu volume. A expansão do refrigerante eleva o nível de água no pressurizador, aumenta a pressão do vapor e aciona as válvulas de pressão. A água de uma das tubulações frias do sistema de refrigeração do reator imediatamente é aspergida dentro da parte superior do cilindro, condensando uma quantidade do vapor. Isso reduz a pressão e limita a sua elevação. Quando a carga elétrica é refeita, a redução no volume do refrigerante faz descer o nível da água e diminuir a pressão no pressurizador. A queda de pressão aciona os aquecedores promovendo uma adicional redução de pressão.

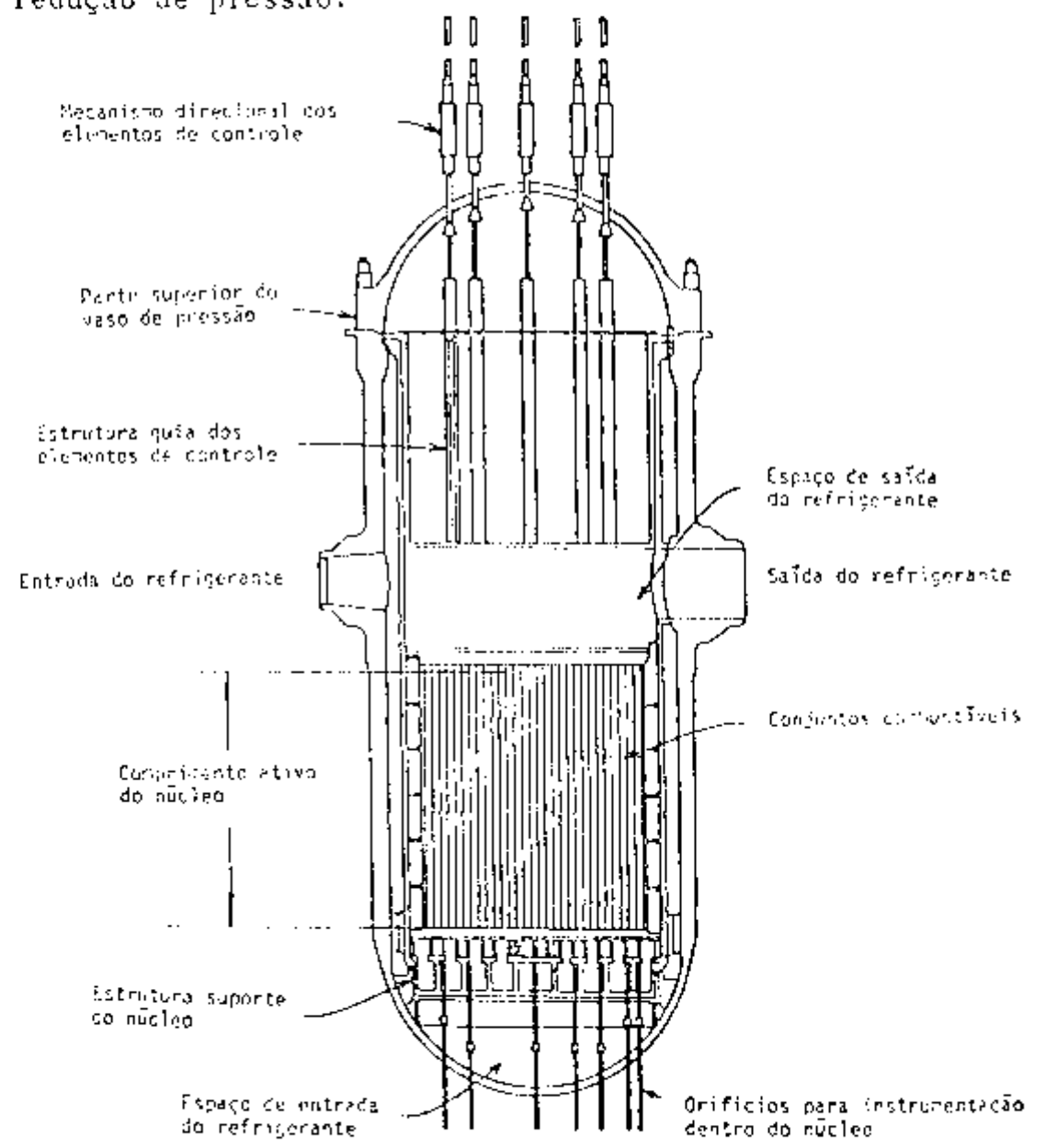


Figura 3.2 - Esquema do vaso de pressão de um PWR⁽³⁷⁾

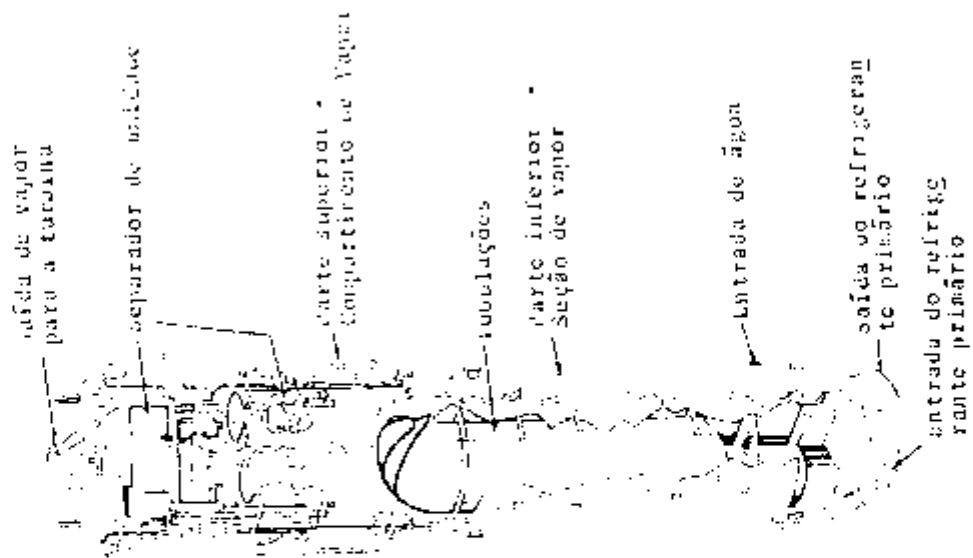


FIGURA 5.3 — GERADOR DE VAPOR DE UM PWR/37/

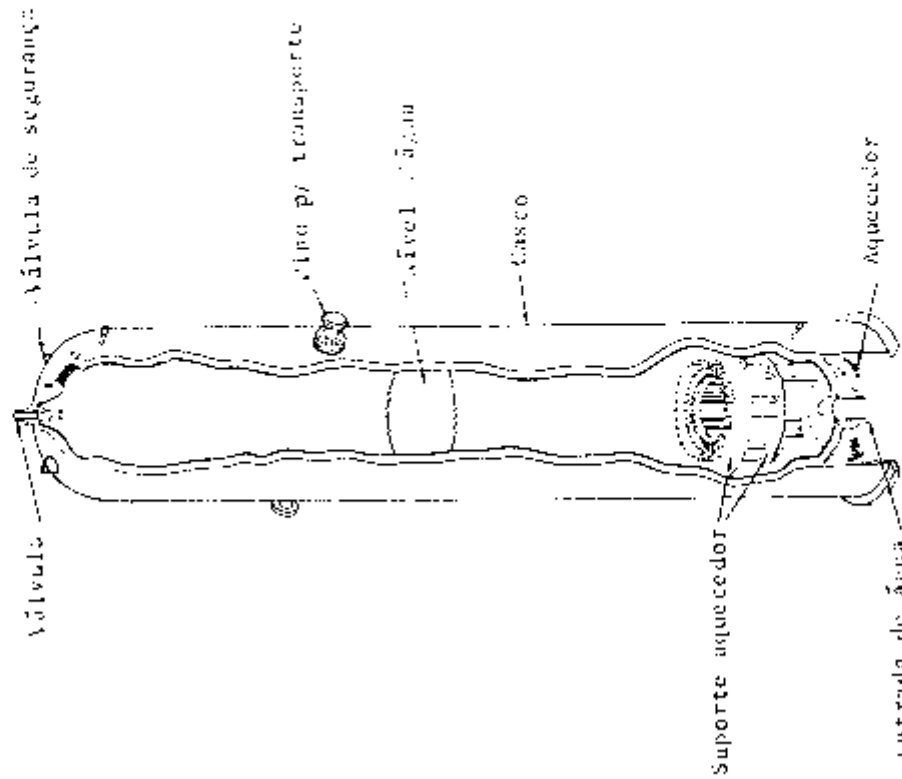


FIGURA 5.4 — PRESSURIZADOR DE UM PWR/37/

O combustível no PWR constitui-se de UO_2 ligeiramente enriquecido (de 2 a 4%), sob a forma de um material de cerâmica escura (pastilhas cilíndricas). Estas pequenas pastilhas são encerradas em tubos selados de aço inoxidável ou zircaloy de aproximadamente 3,5m de comprimento. (Zircaloy é uma liga de Zircônio, um material pouco absorvedor de neutrons, contendo pequenas partes de estanho, ferro, cromo e níquel)

Um conjunto de elementos combustíveis com seção quadrada é visto na figura 5.5 . As barras de combustível são mantidas isoladas uma das outras por vários espaçadores, com a finalidade de evitar um contato entre elas, que poderiam se superaquecer e liberar produtos de fissão.

O controle do PWR é realizado através de um sistema de barras de controle que normalmente entram no cerne pelo alto e por um sistema químico (introdução de ácido bórico no refrigerante primário).

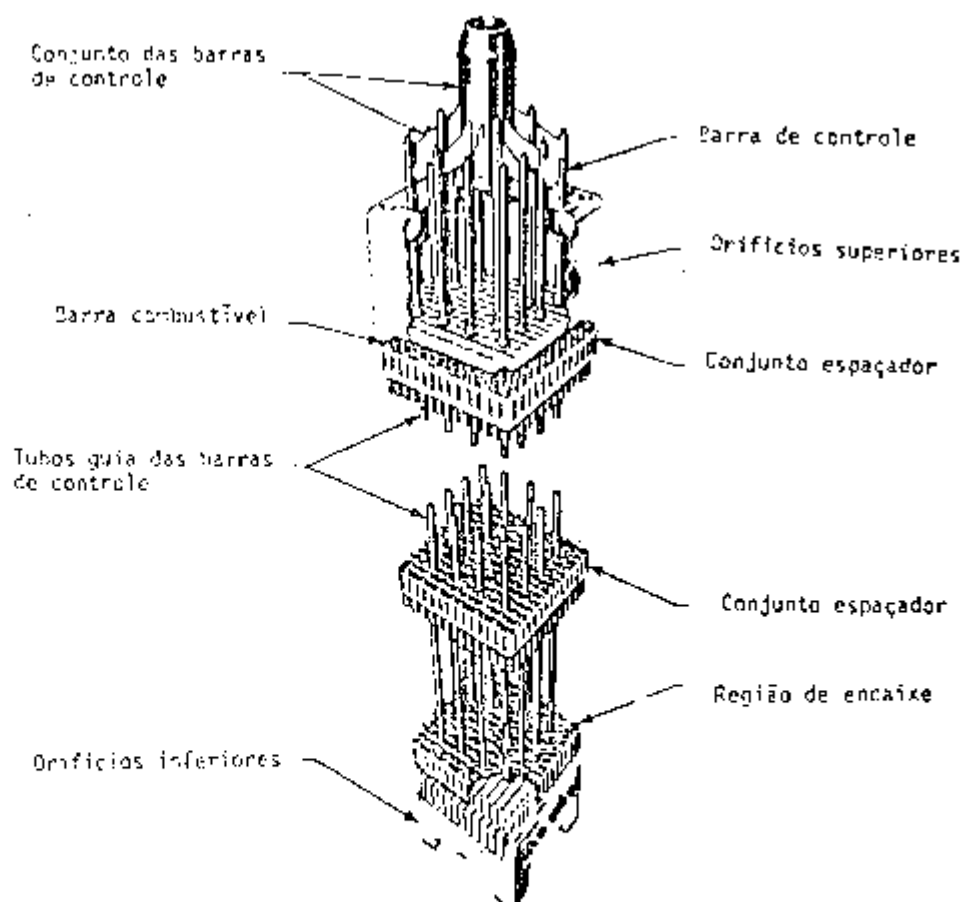


Figura 5.5 - Esquema do conjunto combustível do PWR⁽³⁷⁾

PWRs de 1000 MW_e podem conter cerca de 200 conjuntos com 40.000 ou 50.000 barras ou varetas de combustível, acomodando 110t (100 toneladas métricas) de UO₂ (e plutônio, se houver reciclagem). (45)

Na tabela 5.1 estão listadas as principais características de um PWR de 1.100 MW_e.

Potência térmica do cerne	3.411MW _t
eficiência da usina	32%
Potência elétrica da usina	1.100MW _e
Diâmetro do cerne	3,4m
Comprimento efetivo da barra de combustível	3,7m
Massa do cerne	125t
Densidade de potência	98kW/1
Material do encamisamento	ZIRCALOY-4
Diâmetro	1,07cm
espessura	0,06cm
Material combustível	UO ₂
Diâmetro das pastilhas	0,9cm
Espessura das pastilhas	1,5cm
Arranjos dos conj. combustíveis	15x15
Número de conjuntos	193
Número total de elem. como.	39.571
Tipo de barra de controle	B ₄ C ou Ag-In-Cd
Número de conj. de barra de controle	60
Massa total de combustível (UO ₂)	98t
Densidade de potência	38kW/te
Taxa combustível/refrigerante	1/4,1
Refrigerante	água
Pressão	2.250psi
Temperatura de entrada	552°F
Temperatura de saída	617°F
burnup	52.000MW/Te
Recarregamento	1/3 do combustível por ano.

Tabela 5.1 - Características representativas de PWRs (45)

Uma série de importantes aspectos de segurança é somada ao sistema básico do reator com a finalidade de minimizar o perigo de acidentes em reatores. A função imediata a qualquer anormalidade consiste em paralizar rapidamente a reação em cadeia, realizada pelas barras de controle. No caso em que a anormalidade continuar até o ponto de romper o sistema primário, ou, por outro lado, reduzir o estoque do refrigerante, sistemas de emergências estão disponíveis para fornecer para o cerne do reator. Finalmente, no caso de ocorrer fusão do combustível, o vaso de contenção e seus sistemas auxiliares são projetados para minimizar a quantidade de radioatividade que escapa para o ambiente.

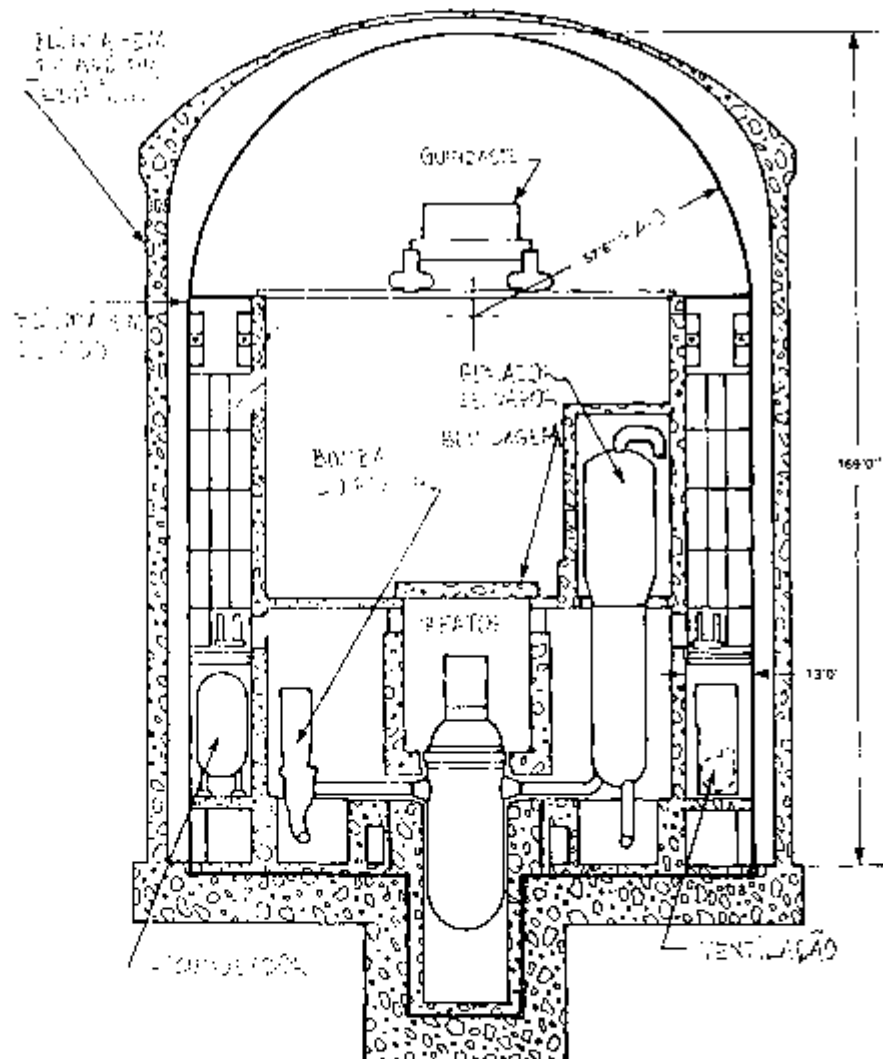


Figura 3.6 - Corte do vaso de contenção de um PWR (45)

O edifício de contenção abrange todo o sistema primário, (ver figura 5.6), bem como vários sistemas de segurança, em seu interior. O edifício é de concreto, com uma blindagem de aço em seu interior. Os sistemas de segurança dentro do edifício incluem sistemas de emergência para a refrigeração do cerne, sistemas de controle de pressão e equipamento de ventilação.

5.2 O Ciclo do Combustível Nuclear para o PWR

Os processos sofridos por materiais, em seu aproveitamento como combustível de reatores nucleares, compreendem o ciclo de combustível nuclear. Cada um desses processos afeta potencialmente a saúde humana, a segurança, o meio ambiente, a proliferação e o roubo. Este ciclo representa um importante aspecto de projeto do reator em virtude de sua influência na operação do reator e custo do combustível por kWh gerado.

O ciclo de combustível do PWR (vide figuras 5.7 e 5.8) começa com minério de urânio, um recurso natural que precisa ser descoberto, minerado e processado para formar um concentrado (U_3O_8) que é chamado "yellow cake" ou torta amarela. As técnicas de mineração de urânio assemelham-se às aplicadas na mineração do carvão. (Nos Estados Unidos, cerca de 70% das fontes de urânio em exploração estão em minas subterrâneas, 20% em minas a céu aberto, e os restantes 10% em estoques de baixo teor ou subprodutos). (61)

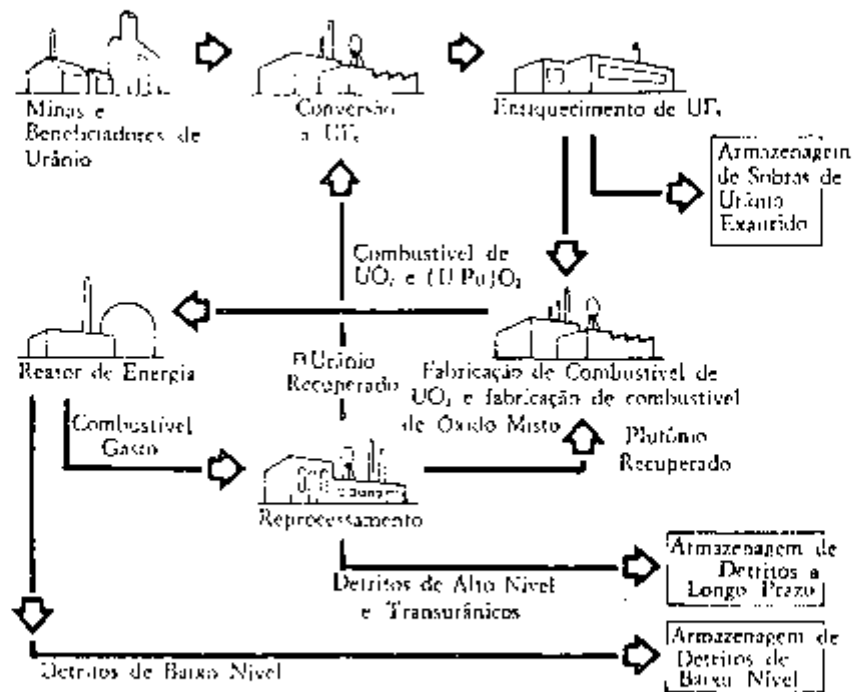


Figura 5.7 Ciclo de Combustível de Reator a Água Leve. Com Reciclo de Urânio e Plutônio (27)

Depois de sua remoção da mina, o minério de urânio é mecânica e quimicamente processado, ou beneficiado, para produzir a torta amarela, contendo 80% de óxido de urânio (U_3O_8). É típico do minério conter mais ou menos 0,1% de U_3O_8 ; o restante é rejeitado como sobras.

O concentrado de urânio (U_3O_8) é então transformado em um gás (hexafluoreto de urânio, ou UF_6), que vai para a usina de enriquecimento. Nesta usina, a concentração característica do U.235 (0,7%) é aumentada para 3%. As sobras da usina, que consistem em urânio empobrecido, contendo apenas 0,2 a 0,3% de U.235, são um subproduto dos processos de enriquecimento e são armazenadas para posterior utilização em reatores rápidos.

Depois de passar pela usina de enriquecimento, o UF_6 é transformado em dióxido de urânio (UO_2), que é o combustível final. O dióxido de urânio é prensado sob a forma de

pastilhas que, por sua vez, são encapsuladas em tubos. Os tubos são montados para formar os elementos combustíveis. Finalmente, esses elementos são introduzidos nos reatores para, mediante calor, produzir o vapor para mover as turbinas.

Os passos descritos anteriormente constituem a parte inicial do ciclo do combustível nuclear. A parte final do ciclo começa quando os elementos combustíveis usados são retirados do reator (antes que todo o material físsil se ja consumido). De acordo com um programa predeterminado, de 20 a 30%, ou melhor, um terço dos elementos combustíveis são substituídos por novos. Essa paralização anual do PWR para a troca de combustível representa um prejuízo econômico. O combustível usado é fortemente radioativo e produz uma quantidade apreciável de calor, por causa da lenta desintegração dos produtos de fissão. Por isso, são armazenados debaixo d'água nas proximidades do reator durante vários meses. A água dissipa o calor e serve de blindagem para a radiação emitida pelos produtos de fissão.

Em seguida, os elementos combustíveis usados podem ser transportados em recipientes blindados para uma usina de reprocessamento. Na usina, eles são partidos em pequenos pedaços, dissolvidos em ácido e submetidos a um processo químico que separa três componentes: 1) o urânio restante, 2) o plutônio e 3) os produtos radioativos de fissão. As usinas de reprocessamento são complexas, porque os elementos a serem recuperados (urânio e plutônio) estão misturados com produtos de fissão altamente radioativas. Embora estes cheguem eventualmente ao ponto de serem manipuladas sem blindagem, muitas operações tem que ser executadas por controle remoto, por operadores protegidos por grossas paredes de blindagem.

Neste estágio existem varias opções. O urânio recuperado pode ser convertido em UF_6 e enviado para novo enriqueci

mento ou pode ser armazenado. O urânio do combustível usado no RWR geralmente é mais rico em U-235 (0,8%) do que o urânio natural. O plutônio pode ser misturado com urânio, formado um óxido misto, e usado como combustível para LWRs; pode ser armazenado; pode ser empregado como combustível em reatores rápidos regeneradores. Os resíduos têm que ser armazenados em instalações permanentes e à prova de vazamento. Outra opção consiste em não reprocessar os elementos combustíveis usados, mas armazená-los como saíram do reator. Este é o sistema de ciclo aberto, ilustrado na figura 5.8.

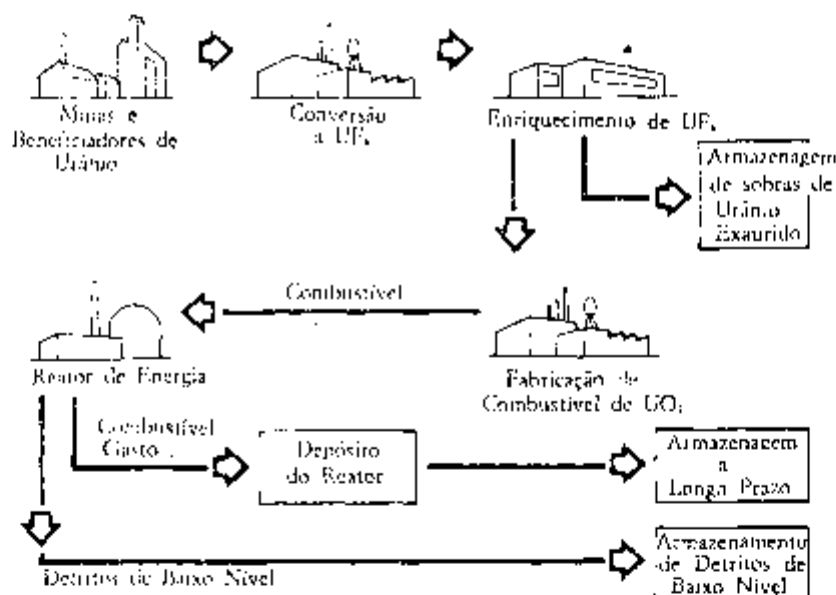


Figura 5.8 Ciclo de Combustível de Reator a Água Leve.
Sem Reciclagem de Urânio ou Plutônio (27)

Se o plutônio e o urânio recuperados forem utilizados novamente, poderão substituir cerca de 20% do urânio original que seria necessário para abastecer o reator.

5.3 Os Aspectos de Impacto Ambiental

Uma vez que se decide construir uma usina nuclear para abastecer as necessidades presentes e futuras de energia elétrica, é necessário decidir por um tipo de reator de potência e pelo lugar ideal de sua localização. Muitos fatores entram nesta decisão, tais como facilidades de construção e transporte, abastecimento de combustível e custo, terreno e custo, densidade de população na vizinhança, cidades próximas, isolamento e sombra sobre o edifício produzida por montanhas, abastecimento de água, etc. (53)

É de extrema importância para as companhias construtoras de usinas nucleares e autoridades de saúde pública o completo conhecimento do meio ambiente de uma instalação nuclear. Um conhecimento da hidrologia superficial define a drenagem, a existência e direção dos lençóis subterrâneos e, em caso de acidente, permitem tomar as medidas mais adequadas.

O conhecimento do regime de temperatura de lagos, rios ou estuários é alcançado mediante cuidadosos experimentos, pois esses dados são essenciais no planejamento das propriedades de eficiência e segurança durante a operação do reator.

As informações do solo são imprescindíveis aos engenheiros da usina, que necessitam calcular a eficiência ou produção de energia elétrica durante as várias estações do ano, também para os ecologistas, que precisam avaliar o efeito do calor para o ecossistema e estimar a interação e difusão dos radionuclídeos nos corpos d'água.

Uma das matérias mais importantes na questão ambiental é a meteorologia do lugar e seus arredores.

O conhecimento do ecossistema local é relevante por várias razões:

- Tornar possível o estudo dos efeitos dos efluentes da usina sobre as plantas e animais da região,
- obter informações sobre os indicadores biológicos e o sistema que contém certos radionuclídeos e, assim, permitir aos ecologistas examinar o meio ambiente com detectores para a determinação das operações e métodos que satisfaçam as medidas de segurança. Antes do início da operação da usina, faz-se um registro exato das diferentes espécies de animais, mamíferos, anfíbios, invertebrados e outros, na área em questão, ao lado de pássaros, peixos, crustáceos etc, por serem as mais importantes, dado que estas espécies concentram ou dispersam certos radionuclídeos.

Toda usina nuclear geradora de eletricidade descarrega no meio ambiente uma grande fração do calor produzido pelo material combustível. Sob as várias condições de descarga de água da usina nuclear, é valioso conhecer a carta térmica de um lago, rio ou estuário. O gradiente de temperatura do fluxo da corrente em um leito aquoso varia com as estações do ano e isto influi largamente na eficiência da usina nuclear e na forma e dimensão da carta térmica. Deste modo, os projetistas tem que empregar sistemas dissipativos de calor, tais como torres de resfriamento.

A resposta dos organismos marinhos às mudanças de temperatura é sensível, influenciada pelo estado de outros parâmetros ambientais, Por exemplo, salinidade e oxigênio dissolvido, e fatores como sexo, idade, estação do ano, estado fisiológico e químico da água podem ocasionar temperaturas letais. Uma elevada alteração na temperatura da água poderá matar os organismos marinhos ou modificar a reprodução.

A poluição térmica, em geral, afeta ecossistemas aquáticos: altera hábitos de alimentação e taxas de reprodução dos peixes; aumenta os níveis de nutrientes, a fotossíntese, as taxas de decomposição e a eutroficação. Além dos níveis de oxigênio poderem decrescer, novas correntes de circulação podem ser induzidas. Quando uma usina elétrica paralisa, os peixes que já se haviam acostumado à água quente sofrem um choque ^{repentino} e morrem, ao ficarem sujeitos repentinamente à água fria.

Esse problema de poluição é decorrente do acúmulo de calor residual por parte das usinas termoelétricas. Nos reatores a água leve, 67% da energia são retidos na forma de vapor condensado (um fator de 50% maior do que nas usinas a carvão). Esta última forma de calor residual prossegue em um corpo hídrico por um trajeto único. O rio, o lago ou o oceano em questão age como um reservatório de calor que em seguida o transmite para a atmosfera. É crescente a preocupação relativa à possibilidade da ecologia aquática ser afetada desfavoravelmente pelo aumento de temperatura que resulta desta prática. (5)

Alguns aspectos não diretamente relacionados com aquecimento, mas intimamente ligados à operação dos sistemas de refrigeração de condensadores, merecem* pelo que são esquecidos em estudos gerais da localização de centrais.

O cloro é algumas vezes adicionado à água de refrigeração para prevenir danos aos condensadores. Seu uso tem a finalidade de proteção tanto contra peixes quanto contra organismos da cadeia alimentar que circulam pelo sistema de refrigeração. (55)

Uma quantidade de químicos (ácido sulfúrico, sulfato de cálcio, cloro, fosfatos, cromatos e outros inibidores corrosivos) é usada para tratar a água que circula pela torre de refrigeração. Os efeitos desses químicos, espe

* atenção

cialmente com respeito a possíveis efeitos sinérgicos, ou aumento de calor, carecem de maior consideração.

Os metais são responsáveis por afetarem a vida aquática. Mesmo após a substituição de parte da tubulação corroída dos condensadores por uma liga metálica mais resistente, pode-se notar a presença de moluscos na periferia da área atraídos pelas concentrações residuais de cobre.

Os efeitos mecânicos e hidráulicos também podem ser nocivos ao ambiente e devem receber consideração na seleção do local e no projeto de instalações de geração e de refrigeração.

Uma preocupação frequentemente expressa por ecologistas no processo de licenciamento de reatores, é a ameaça potencial ao ambiente resultante do ciclo do combustível nuclear. Inevitavelmente, este ciclo libera no meio ambiente efluentes radioativos.

O reprocessamento de elementos combustíveis gastos é certamente um aspecto do ciclo do combustível nuclear que, potencialmente, pode ter o maior efeito nos níveis ambientais de radiação.

As mais significantes liberações de radioatividade das operações de rotina do ciclo do combustível ocorrem nos locais de mineração e tratamento do minério de urânio, na própria usina nuclear e na usina de reprocessamento do combustível. Porém, a fonte mais importante de liberações acidentais reside na usina nuclear. (45)

Já nos referimos anteriormente a duas das emissões ambientais de usinas nucleares: radioatividade e calor. Contudo, uma visão mais geral identifica um grupo de "substâncias" que passam por dentro e por fora dos sistemas do reator. Muitas delas são vistas na figura 5.9.

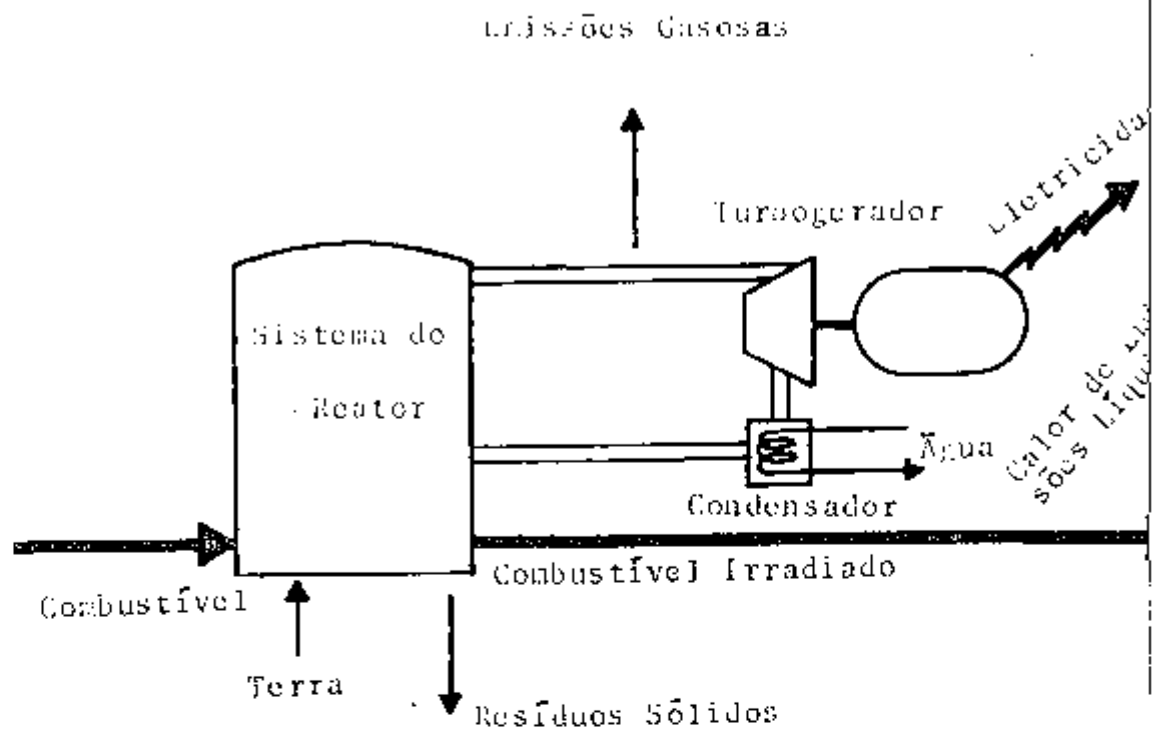


Figura 3.9 - Esquema das características de entrada-saída de uma usina nuclear⁽⁴⁵⁾

5.4 Os Aspectos de Saúde Pública

O uso da energia nuclear para gerar eletricidade resulta inevitavelmente em riscos para a saúde humana. A extensão desses riscos é incerta e assunto de muita controvérsia. Para serem expressivos, em conexão com decisões de ordem pública, esses riscos não podem ser considerados isoladamente mas em comparação com riscos associados a centrais elétricas a carvão, que são a principal alternativa para a geração de força elétrica pelo restante deste século (vide capítulo VI).

A avaliação de riscos sanitários por conta da energia nuclear envolve a análise de taxas de acidente ocupacional, exposição de trabalhadores e populações sob condições normais de atividade a efeitos radioativos e as probabilidades e conseqüências para a saúde pública de acidentes com reatores. Os possíveis efeitos nocivos são registrados como mortes e danos prematuros; mortes e doenças prolongadas na presente geração ou nas subsequentes; mortes e doenças produzidas em gerações mais distantes; danos à propriedade ou meios de produção; impacto ambiental (ecossistema, clima) e dano social. (44)

Em quase todas as fases do ciclo do combustível nuclear registra-se radioatividade: na mineração e no beneficiamento do urânio e nas operações de tratamento e destinação dos resíduos. Pequenas frações de radioatividade são normalmente liberadas em todas as fases, afetando os trabalhadores ou se espalhando além das instalações para alcançar o público em nível local ou mesmo global. A exposição dos trabalhadores à radioatividade pode chegar a nível tão alto quanto cinquenta vezes os níveis normais de radiação ambiental, ao passo que a dose que afeta a população equivale, via de regra, a uma fração extremamente pequena do normal. Todavia, os materiais radioativos liberados tanto podem alojar-se nos tecidos orgânicos

como podem permanecer no meio ambiente durante séculos como uma fonte contínua de exposição. Sobras de beneficiamento de urânio e outras formas de resíduo radioativo, por exemplo, dependendo das medidas consideradas, podem continuar por muito tempo a jogar materiais radioativos no meio ambiente. Em consequência, apesar das taxas de exposição serem pequenas, os efeitos cumulativos da atual geração de energia podem ser de vulto quando totalizadas sobre muitas gerações.

Todavia, certas fontes de radiação do ciclo do combustível ainda não foram determinadas com precisão, nem os diversos caminhos biológicos e ecológicos até atingir o homem estão bem esclarecidos. Mesmo que as resultantes da dose de radiação, causadas por certas operações do ciclo do combustível, pudessem ser determinadas com exatidão, ainda haveria muita dúvida sobre a relação entre radiação e efeitos biológicos, tais como a incidência do câncer e de moléstias genéticas. Entretanto, tais dúvidas são pequenas quando comparadas àquelas associadas aos prognósticos de probabilidades e consequências de acidentes em reatores e outras instalações do ciclo do combustível.⁽²⁷⁾

A principal consequência não-hereditária e de ação retardada da radiação é o câncer. Dá-se geralmente um retardamento de anos ou até mesmo de décadas entre a irradiação e o aparecimento do câncer fora das incidências normais. Esse longo período de latência costuma tornar impossível a identificação de um câncer particular como sendo devido à radiação. Mas existem danos substanciais que provam uma elevada incidência de certos tipos de câncer, em seres humanos, como resultantes de irradiação.

O fato de a radiação poder induzir mutações e, portanto, poder causar efeitos genéticos foi descoberto há cinquenta anos. Mas apesar dessa radiação ter sido estudada em amplitude noutras espécies, a relação dose-reação, ou do

se-resposta, em seres humanos, não é bem conhecida em virtude da raridade de mutações num determinado ponto qualquer e, em consequência, da necessidade de se estudar um número muito grande de indivíduos para se obter informações estatísticas dignas de expressão.

Os riscos sanitários, como potenciais causadores de morte, ferimentos e enfermidades, surgem em todas as etapas do ciclo do combustível nuclear, desde a mineração do urânio até sua ^{UTILIZAÇÃO} ~~destinação~~ industrial. Tais riscos dependem também do tipo do ciclo de combustível empregado. Convencionou-se dividir as avaliações de impactos sobre a saúde em categorias ocupacionais e públicas, designáveis como atribuíveis ao funcionamento por ano de uma central de 1.000 MW operando à pressuposta capacidade de 70%.

Na construção de uma central nuclear, deve-se considerar cuidadosamente todas as cidades, vilas e centros urbanos dentro de um raio de 100 km e especial reconhecimento deve ser dado a lugares privados, escolas, granjas, fábricas etc. que estejam dentro de um raio de 10 km. O acúmulo de populações a distâncias radiais de 50 km é outro fator que requer avaliações e projeções para uma prazo de 50 anos. Analogamente, todos os usos públicos e industriais, como abastecimento urbano, irrigação, refrigeração e outros, são estudados cuidadosamente antes do início da construção da usina nuclear, com o objetivo de estimar os riscos ao público do efeito das descargas térmicas, de radionuclídeos e produtos químicos da usina.(55)

Antes da usina nuclear iniciar sua operação, é de extrema importância a determinação da radioatividade de fundo ambiental, de natureza química e biológica.

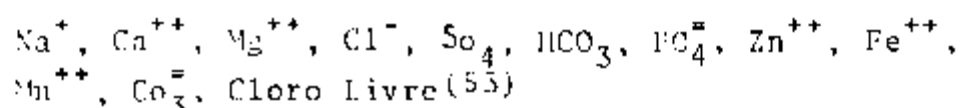
Todos os critérios de proteção radiológica hoje utilizados no mundo derivam de normas desenvolvidas pelo "Natio

nal Council of Radiation Protection and Measurement"(NCRP). O critério mais discutível é aquele que estipula que a dose de radiação recebida pela população em geral não devia ultrapassar uma média de 170 mrem/ano por pessoa, excluindo as exposições médicas e radiação natural de fundo. Este é o padrão que tem sido usado em cálculos dos números de mortes que supostamente resultariam se o público em geral atualmente recebesse a dose permissível.

Em muitas indústrias, riscos de saúde têm sido tradicionalmente medidos em termos de taxa de acidentes ocupacionais. Nos últimos anos, entretanto, tem havido maior consciência dos possíveis impactos ~~ambientais~~ de efluentes sobre os trabalhadores e o público em geral. Essa consciência tem caracterizado as avaliações da energia nuclear desde seus primários, mesmo porque a radiação não tardou em ser mensurável e seus efeitos até certo ponto compreendidos. De resto, é grande a preocupação popular com a radiação, aguçada sobretudo pelo emprego e testes de armas nucleares, nos-
sa herança da Segunda Guerra Mundial.

5.5 Análise dos Problemas Ambientais

Em condições normais de operação, uma usina nuclear requer a descarga de substâncias químicas das turbinas, do sistema de refrigeração, do sistema de resíduos radioativos, dos desmineralizadores, do sistema sanitário e de outros mais. O teor químico da descarga destes sistemas varia de usina para usina, por exemplo: o cloro e outros bioácidos podem ser associados intermitentemente para o resfriamento da água, logo que é renovada a matéria orgânica dentro do condensador; compostos de fósforo e zinco podem ser usados para inibir a corrosão; ácido sulfúrico pode ser empregado para ajustar a alcalinidade da água recirculada; e desmineralizadores podem ser associados periodicamente com ácido sulfúrico e hidróxido de sódio e os regeneradores serão neutralizados antes da descarga. O conteúdo químico destas liberações apresenta os seguintes ions e radicais:



Usualmente pensa-se que o pH não tende a ser fortemente alterado e a máxima concentração de algumas destas descargas químicas frequentemente excederá os níveis que são tóxicos à vida aquática. Assim, a conclusão que nos vem é que a temperatura é o fator que mais afeta a todas as funções metabólicas, podendo também influir na velocidade com a qual as substâncias tóxicas exercem seu efeito e, alguns casos, permite que se alcancem concentrações limites de toxicidade.

Além das emissões de alguns radioisótopos de longa vida no reator, reconhecimento deve ser dado à questão do "build-up" a longo prazo no ambiente. Posto que os isótopos envolvidos são criados na mesma proporção em que a energia é produzida, estas observações se aplicam igual-

mente para PWR e BWR.

quando o combustível nuclear completou sua função na usina nuclear, é embarcado para uma usina de reprocessamento químico onde é quimicamente dissolvido e separado em material combustível e produtos de fissão. A usina de reprocessamento do combustível fornece tratamento extensivo dos efluentes gasosos e líquidos, removendo grandes frações de todos os radioisótopos, exceto trítio e os gases nobres criptônio e xenônio. Atualmente, estes dois isótopos (representando 3000 ppm de todos os isótopos radioativos produzidos) são liberados para o ambiente durante o reprocessamento. Esta é cerca de 1000 vezes a quantidade liberada pelo reator.

Dois desses isótopos, criptônio e xenônio, possuem meia-vidas em torno de 10 anos (vide tabela 5.2); contudo, não existe um mecanismo conhecido ou concebível para a possível reconcentração destes isótopos radioativos acima dos níveis de liberação. Parece que tais radioisótopos tendem, com o tempo, a ser distribuídos mais ou menos uniformemente ao longo da biosfera. Enquanto a formação de materiais radioativos no planeta não constitui problema a curto prazo, é indispensável avaliar a situação a longo prazo de modo a determinar se, quando e que espécie de sistemas de retenção de resíduos podem ser requeridos.

A formação de trítio resultante de subprodutos do reator aumenta até que se atinja o nível ambiental de trítio produzido por raios cósmicos no final da presente década e, por volta do século, será igual ao trítio residual dos testes de bombas das últimas duas décadas. Após o ano 2.000 o trítio produzido em reatores pode tornar-se a fonte dominante de trítio no ambiente se não for retido e confinado até aí. No ano 2000, a exposição da população mundial a todas as fontes de trítio estaria em tor

no de 0,002 mrem. (59)

NUCLÍDEO	MÉDIA-VIDA	CURIES/ANO
H-3	12,3 anos	11.000
Kr-85	10,5 anos	320.000
Sr-90	28 anos	3.200.000
Cs-135	30 anos	2.900.000

Tabela 5.2 - Produtos de Fissão de Longa Vida (LWR de 1000M²) (6)

O criptônio - 85 é do ponto de vista biológico o de maior importância. A dose esperada de uma liberação não controlada de criptônio eleva-se rapidamente à medida que a indústria nuclear se desenvolve. Parece que essas descargas na atmosfera são, técnica e economicamente, susceptíveis de eliminação ou redução. Um processo em desenvolvimento (no laboratório de Oak Ridge) utiliza a solubilidade dos gases nobres nos refrigerantes halogenados. Consiste em fazer passar os efluentes gasosos de certos estágios do reprocessamento por uma coluna envolta em refrigerante liquefeito fluindo em contra-corrente. (1)

O trítio também apresenta um grande problema técnico na sua recuperação, porém de menor consequência biológica. Os atuais métodos disponíveis para separar o trítio do hidrogênio normal são extremamente complexos e dispendiosos e não seriam praticáveis para a utilização na usina de reprocessamento para a recuperação do trítio. Contudo, as propriedades do trítio são tais que as consequências biológicas de sua liberação no ambiente parecem ser desprezíveis.

Segundo se sabe, os atuais reatores emitem entre zero e 100.000 curies de criptônio por 1.000 MW, dependendo do

modelo; com reprocessamento, essa quantidade poderá aumentar para 500.000 curies. Nos próximos trinta anos, se a geração elétrica nuclear em escala mundial, elevada para 1.000 GW, e o criptônio-85 produzido forem desprendidos livremente, isso poderá aumentar os atuais níveis de ionização atmosférica na ordem de 10% sobre os oceanos e na ordem de uns poucos por cento sobre o continente.

Dois diferentes sistemas são usados para promover o esfriamento a água e dissipar o calor. O método de "uma passada", ou "once-through", faz circular a água de um rio ou de um lago através do reator e a devolve à sua fonte. Numa típica usina nuclear de 1.000 MW, esse método geralmente aquece 405 hectares de superfície de água em 10°C, por segundo. O outro método usa um sistema evaporador recirculante que transfere o calor da água para o ar por meio de grandes torres de esfriamento. A água pode ser reciclada através do reator ou descarregada na massa original de água. Embora reduza o efeito térmico sobre a água, esse método introduz novos problemas como flutuação de sal (onde se aproveita a água do mar para resfriamento), vapor de água, ruído e evaporação por volta de 2% do volume da água, em contraste com seu desvio temporário. Quando este método é usado, a atmosfera atua como um reservatório de calor, evitando o dano aquático direto. Por outro lado, as torres tendem a exigir grandes estruturas particularmente se não são mecânicas, por exemplo: uma estrutura de 180m na base e 150m de altura é requerida por uma usina de 1.000 MW.(27)

Se a última limitação para o armazenamento do calor residual de usinas termoeletricas é a disponibilidade de água fresca, os sistemas de ciclo fechado não fornecem a última solução. Uma típica central nuclear de 1.000 MW usando uma torre de refrigeração a água poderia requerer 120 milhões de litros por dia. A torre de refrigeração direta, usando água do oceano ou de grandes lagos, represen

ta um amplo reservatório de calor.

Do ponto de vista ecológico, os estuários são lugares extremamente desfavoráveis para usinas termoeletricas. São locais altamente produtivos e vulneráveis do ecossistema oceânico. Como são rasos, os peixes não podem escapar para profundidades mais frias quando a água se aquece. E os organismos que vivem no fundo também são destruídos pela temperatura aumentada.

Tem-se sugerido a colocação de 10 a 40 unidades geradoras, isto é, centrais nucleares de 1.000 MW, juntamente com a possível anexação de ciclo de combustíveis, num chando parque nuclear, como um meio de reduzir custos e perigos de sabotagem, desvio de combustível e outros problemas sociais de pontos nucleares dispersos. Com essa prática, sérios problemas ambientais poderão surgir. Por exemplo, embora o total de energia liberada de um parque nuclear seja diminuto em comparação com o total de equilíbrio de radiação, as grandes quantidade de calor poderão causar sérias perturbações atmosféricas numa base local ou regional.

Parques nucleares exigem dos rios uma substancial capacidade de fluxo, visto que cada usina de 1.000MW precisa de um fluxo de $27 \text{ m}^3/\text{s}$, se empregar o esfriamento "once-through", e cerca de 81 l/s se o sistema for de evaporação. Como o máximo de retirada permitida é de 10 % do fluxo do rio, então uma instalação de quarenta unidades exigirá uma capacidade de pelo menos $10.800 \text{ m}^3/\text{s}$ em baixo fluxo para esfriamento "once-through", e $324 \text{ m}^3/\text{s}$ para um sistema de evaporação. As taxas médias de fluxo dos maiores rios dos EUA são as seguintes: Arkansas ($1.215 \text{ m}^3/\text{s}$), São Lourenço ($6.650 \text{ m}^3/\text{s}$), Colúmbia ($7.074 \text{ m}^3/\text{s}$) e Mississipi ($17.280 \text{ m}^3/\text{s}$). No Brasil, o rio Paraná $27.000 \text{ m}^3/\text{s}$ e o Amazonas $80.000 \text{ m}^3/\text{s}$.

Mas um outro problema ambiental peculiar à energia nuclear - o controle dos resíduos radioativos - tornou-se uma importante questão política.

Na indústria nuclear são produzidos resíduos radioativos nas formas sólida, líquida e gasosa, as quais variam em composição química, volumes e níveis de radioatividade, conforme as operações envolvidas em sua produção. Esses resíduos são usualmente classificados como altos, médios ou baixos, segundo a concentração e toxicidade dos constituintes radioativos presentes. Contudo, não existem definições quantitativas destas categorias, talvez pelas muitas complicações que apresentam e em algumas vezes devidas a fatores desconhecidos que devem ser levados em conta para satisfazer uma classificação rigorosa. Cada usina classifica seus efluentes baseada nas próprias necessidades de manejo e tratamento. (53)

O manejo de resíduos é governado pela aplicação de três princípios fundamentais.

- a - diluição e dispersão de resíduos gasosos e líquidos de baixa atividade
- b - decantamento e confinamento de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, de baixa atividade (sólidos); média e alta atividade (líquidos e gasosos)
- c - concentração e confinamento de resíduos sólidos, líquidos e gasosos de atividades média e alta.

a) Aplicações do Princípio de Diluição-Dispersão

As aplicações deste princípio requerem um entendimento da conduta dos materiais radioativos no meio ambiente e da maneira como afetam o homem. Existe uma ampla faixa de conhecimento utilizados em sua aplicação, como meteorologia, geologia, geografia, hidrologia, oceanografia etc., os quais nos possibilitam determinar quantitativa e qualitativamente os efei-

tos de diluição e dispersão do material gasoso radioativo.

b) Aplicações do Princípio de Decaimento e Confinamento

Este princípio é importante nas técnicas de manejo, armazenamento e destino final de resíduos líquidos e gasosos, de atividades média e alta. Em algumas circunstâncias este método é usado para manejar material radioativo sólido de baixa atividade. Essas técnicas empregam o princípio de que os materiais radiativos decaem com uma vida média bem definida, possibilitando reduzir os riscos no manejo do material radioativo.

c) Aplicações do Princípio de Concentração e Confinamento

* Esta aplicação destina-se ao tratamento dos resíduos líquidos por precipitação, troca de íons e evaporação; ao tratamento de sólidos de baixa atividade, por meio de incineração e empacotamento; ao tratamento de sólidos e líquidos com um nível médio de atividade através de insolubilidade em asfalto; conversão de resíduos líquidos de alta atividade em sólidos insolúveis através de calcinação a alta temperatura ou incorporação em vidro; armazenamento em tanques de resíduos com atividades média e alta; armazenamento de resíduos sólidos de alta atividades em cavernas ou minas desativadas.

De uma forma mais específica ou detalhada, a figura 5.9, na qual estão mostrados os elementos que transitam por dentro e por fora do reator, realiza-se na figura 5.10, ilustrando com propriedade o assunto de efluentes e resíduos potencialmente provocadores de impactos ambientais.

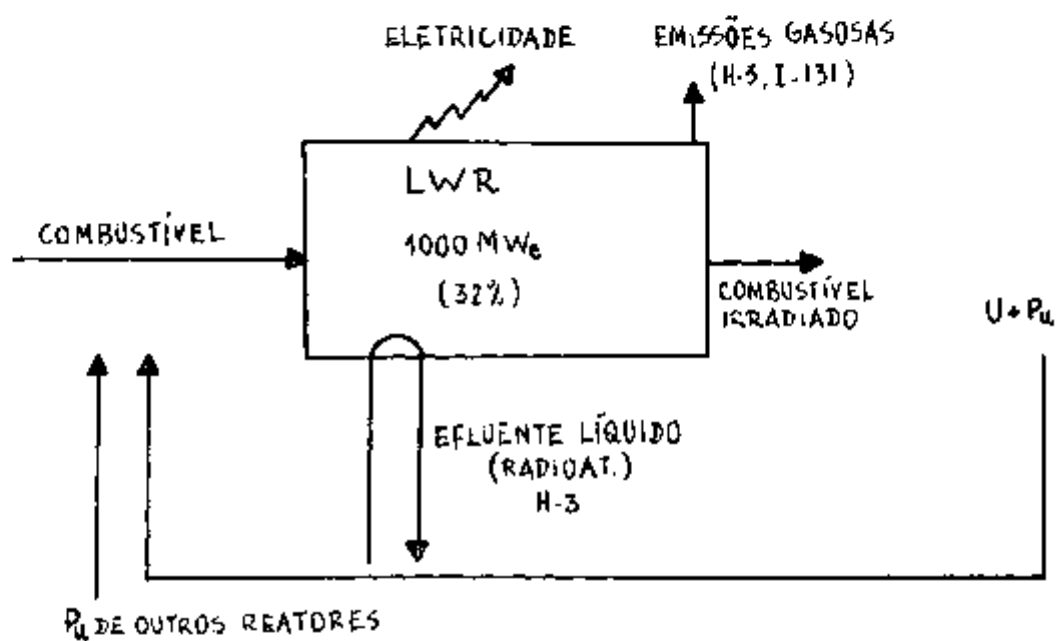


Figura 5.10 - Fluxo de material e liberação de material para reatores LWR (1.000MWe) (45)

Durante o curso de operação de um reator de potência, pequenas quantidades de produtos radioativos de fissão contidos dentro dos elementos combustíveis escapam mediante defeitos que não podem ser completamente eliminados no encamisamento do material combustível.

Em consequência disto, os reatores de potência são planejados para operar com uma certa quantidade de radioatividade circulante no refrigerante, como resultado da operação com uma pequena fração de combustível defeituoso, isto é, cerca de 1/100 dos produtos de fissão escapando do combustível. Esta radioatividade não é liberada diretamente no meio ambiente, mas permanece contida dentro do sistema de refrigeração do reator. Outros sistemas são instalados para remover a maior radioatividade possível, de modo que apenas uma pequena fração da radioatividade circulante escape para o ambiente.⁽¹⁾

O principal impacto do ciclo do combustível nuclear sobre o solo resulta da mineração e do tratamento do minério de urânio. O volume de terra utilizado na mineração e no tratamento depende da concentração de urânio do minério. Tem-se calculado que, com a concentração do minério na ordem dos 0,2% atualmente lavrados, de 8 a 20 hectares de terra tenham de ser explorados anualmente para produzir urânio em quantidade suficiente para manter uma usina nuclear de 1.000 MW. Além disso, a quantidade de terra necessária para operações de trituração e armazenamento das sobras, que em essência compreende todo o urânio minerado, pode se estender anualmente por cerca de 12 a 28 hectares por usina de 1.000 MW, para urânio com concentração de 0,2%.

A água que se usa nas escavações ^{de mineração} a céu aberto ~~para~~ ~~mineração de urânio~~ pode tornar-se contaminada por urânio, tório e rádio. Se bombeada da mina, essa água pode então contaminar correntes locais, e já se tem registro de incidentes de tal contaminação. Na década de 1950, os resíduos líquidos da trituração do urânio eram descarregados diretamente na Bacia do Rio Colorado. No Rio Animas, algumas milhas abaixo

de uma usina de trituração, em Durango, Colorado, a fauna aquática ficou seriamente afetada pelos efluentes radioativos. Procurou-se evitar que tal situação se repetisse com a construção de tanques para os efluentes, mas o nível de radiação não voltou ao normal senão dez anos depois. Embora tais problemas possam ser evitados por melhor administração, sempre persiste o risco potencial.⁽²⁷⁾

Deve-se ressaltar que todas as liberações de rotina já mencionadas são produtos gasosos ou isótopos (trítio) que são quimicamente idênticos ao principal constituinte volátil do sistema do reator. Liberações acidentais, contudo, podem envolver uma faixa mais ampla de elementos simplesmente porque as condições de acidente podem tornar disponíveis outros caminhos de liberação.

Os materiais combustíveis ocorrem ao longo do ciclo do combustível, em seu final e continuam até a usina de reprocessamento. O processo de fabricação, o reator, o transporte e o reprocessamento devem todos ser considerados como prováveis locais de liberação de plutônio, inclusive a probabilidade de liberação sequencial.

A taxa de formação e o inventário dos radionuclídeos considerados importantes nas liberações no ambiente estão relacionados em uma tabela do apêndice deste capítulo.

A título de uma melhor apreciação, passaremos agora a uma recapitulação dos efluentes ou elementos liberados no ambiente de cada etapa do ciclo do combustível nuclear.

A - Mineração

A carnotita é extraída de minas a céu aberto, contendo 2% em urânio. A quantidade em urânio de 171,4t, extraídas anualmente do minério, para um PWR de 1.000 MW, é baseada na composição anual de urânio para o reator, de 34,53t, no material da planta de separação isotópica (produto enriquecido e sobras) e no urânio reciclado, excluídas as perdas do processamento. O requerimento anual de urânio está contido em 85,700t de minério, que requerem o consumo de 1,4 hectares, de reservas minerais, a remoção de $2,54 \times 10^6$ t de sobrecarga e a descarga 500.000 litros de água drenada da mina.(27)

B - Tratamento e Concentração do Minério de Urânio

Uma planta produz, dessa maneira, 960t de U_3O_8 por ano. A área de terra atribuída à produção de 171,4t por ano compreende 0,24 hectares, usada na maior parte para armazenamento permanente das sobras. O tratamento* gasta 250×10^6 litros de água e produz 267000 t de rejeitos líquidos, com as seguintes concentrações de urânio e seus filhos de decaimento, rádio e tório:

U	$5,10^7$ μ ci/ml
Ra-226	$1,9 \times 10^7$ μ ci/ml
Th-230	$1,2 \times 10^5$ μ ci/ml

As liberações gasosas incluem Rn-222 (56,7Ci), um subproduto radioativo do U-238, fuligem de urânio e seus filhos de decaimento. A radioatividade dessas liberações corresponde a 56,7 Ci (Rn-222), acompanhada do mesmo valor de curies para cada filho do decaimento do U-238.

* O tratamento

A maior parte da radioatividade no tratamento, excetuando o urânio natural, provém dos resíduos sólidos. Considera-se o Ra-226 como o seu integrante mais destacado, principalmente devido à lixívia de seus compostos químicos em águas subterrâneas e superfícies próximas ao local de estocagem do tratamento.

A estocagem dos resíduos sólidos utiliza anualmente 0,8 hectares de terra por TM de urânio processado.

C - Conversão de U_3O_8 em UF_6

Os principais efluentes deste processo aparecem como gases e sólidos. Estes são representados por cinza (37,7 t), urânio e tório (0,26 Ci) estocados em 155 kg de cinza. Os rejeitos gasosos, por sua vez, contêm NO_x (9,43 t), fluoretos (0,11t), SO_2 (25,7 t) e 0,0132 Ci de urânio.

D - Enriquecimento do Urânio

As 172t anuais de trabalho separativo produzem resíduos líquidos (0,029 Ci de urânio, 24,4t de NaCl, 7,91 t de Ca^+ , 7,91 t de SO_4^- , 0,52 t de Fe e 3,96 t de NO_3^-) e gasosos (12,21 t de NO_x , 0,69 t de fluoretos, 22,4 t de SO_x e 0,002 Ci de urânio).

E - Conversão e Fabricação do Combustível

Os efluentes químicos mais significantes são fluor e seus compostos e compostos de nitrogênio. O volume de fluor liberado do UF_6 aparece como CaF_2 sólido (33,8t) resultante da neutralização com óxido de cálcio, contendo 0,059 Ci de urânio. Os compostos de nitrogênio são os efluentes gasosos NO_3 (5,18t) e NH_3 (8,29t).

F. Operação do Reator

As fontes de efluentes gasosos radiativos residem na extração de gases não-condensáveis do circuito primário de refrigeração. As fontes secundárias são os gases originados no refrigerante primário durante as operações de purificação do mesmo, gases resultantes das operações de recarregamento do combustível, gases derivados do sistema secundário de vapor contendo radionuclídeos que escaparam do sistema primário e gases produzidos no tratamento de rejeitos líquidos. Os radionuclídeos liberados como efluentes gasosos são Criptônio e Xenônio (7.000 Ci), Trítio (10 a 50 Ci), Iodo (0,3 a 0,8 Ci) e particulados (0,057 Ci/ano).

A grande liberação de Trítio, como efluente líquido de PWR, resulta do uso de Boro como absorvedor nas barras de controle, na taxa de 450 Ci/ano. Uma usina de 1.000 MW, utilizando o sistema de refrigeração "once-through", pode descarregar 9.600 Ci/ano de Trítio dentro da concentração estipulada pelo projeto de 5.10^{-6} μ Ci/ml para o Trítio. A descarga de Trítio pode ser 100 vezes mais alta sem exceder o limite MW, conforme a tabela 5.3(50).

Com o sistema de torres de evaporação a taxa de descarga de água no ambiente é cerca de 100 vezes menor, ou seja, 30.000 litros por minuto. Se o rejeito (Trítio) é injetado diretamente na água refrigerante que circula entre o condensador e a torre, grande parte dela aparecerá como vapor d'água tritiado no ar umedecido à saída da torre. Para uma taxa de composição de 80.000l/min de água-refrigerante, uma liberação de Trítio de 190 Ci/ano resulta na concentração determinada pelo projeto. Para concentrações maiores é necessário aumentar o volume do corpo hídrico para diluir mais o trítio na água de descarga.

	Trítio	Outros RNs
Concentração máxima permissível na descarga de refrigerante, anterior à diluição no corpo hídrico, em $\mu\text{Ci/ml}$	3×10^{-5}	1×10^{-7}
Liberação admissível		
Ciclo aberto, Ci/ano	$5,8 \times 10^6$	190
Ciclo fechado, Ci/ano	$1,2 \times 10^5$	3,8
Concentração projetada na descarga de refrigerante, anterior à diluição no corpo hídrico, em $\mu\text{Ci/ml}$	5×10^{-6}	2×10^{-8}
Liberação admissível		
Ciclo aberto, Ci/ano	$9,6 \times 10^3$	5
Ciclo fechado, Ci/ano	$1,9 \times 10^2$	0,76

Tabela 5.3 - Liberações permissíveis estimadas para radionuclídeos em efluentes líquidos de um reator a água de 1.000MW. (50)

Anterior ao embarque para a planta de reprocessamento, a estocagem do combustível irradiado, removido anualmente do reator, é feita durante 150 dias em canais profundos, de modo a permitir o decaimento dos produtos de fissão. Nesse período a radioatividade dos produtos decresce de $5 \cdot 10^9$ Ci para $135 \cdot 10^6$ Ci.

G. Reprocessamento do Combustível

Quando o combustível é dissolvido, todos os gases nobres (produtos de fissão), contendo 373.000 Ci/ano de Kr-85, são descarregados na atmosfera através de chaminés com al

turas e suficiente para promover a adequada dispersão atmosférica, de forma que as concentrações de radionuclídeos estarão abaixo dos níveis MCP antes que a descarga de gás alcance a fronteira do sítio.

O trítio forma, na dissolução do combustível, cerca de 80% de vapor d'água tritiado. O restante do trítio (14%) é descarregado junto com os efluentes líquidos da usina na superfície de corpos hídricos.

Os resíduos sólidos de baixa atividade resultam da filtração de gases, lavagens com solventes e outros tipos de limpeza e operações de descontaminação. Estes resíduos aparecem como soluções de nitratos e nitritos, contendo plutônio, urânio e outros produtos de fissão cujas taxas são, respectivamente, 3000 Ci, 0,002 Ci e 13.000 Ci.

A usina de reprocessamento de combustível representa de longe a maior fonte de liberação ambiental, em operação normal. Essencialmente, todo o Kr-85 e o H³ formados pelas fissões de muitos reatores são liberados no ambiente da usina de reprocessamento.

A radioatividade associada com os produtos de fissão gerados por uma usina nuclear de tipo LWR de 1.000MW em um ano de operação, como função do tempo decorrido uma vez descarregado o combustível do reator, está indicada na figura 5.11.

Para períodos de estocagem de mais de algumas centenas de anos, a radioatividade restante é devida a isótopos de Am, Cm, Pu, Tc-99 e I-129. Após uma estocagem de centenas de anos, aparecem quantidades significantes de radioatividade residual, por esta razão o programa de gerenciamento de resíduos deve manter os resíduos permanentemente isolados do meio ambiente.

hectares são designados para um módulo inicial capaz de estocar anualmente resíduos de alta atividade provenientes de usinas de até 1.000MW.

O primeiro desses casos conta com uma planta capaz de controlar anualmente 21.500 tambores de resíduo solidificado de alta atividade, cujo prazo inicial alcança o ano 2.000. Os efluentes radioativos dessa instalação, por estimativa emitem menos de 1 Ci por ano de ^{135}I , ^{85}Kr , ^{220}Rn e ^{222}Rn .

Uma série de estudos teóricos tem produzido razoáveis métodos para estudar a história dos contaminantes introduzidos na atmosfera. Para a aplicação desses métodos é necessário, antes de mais nada, medir certas propriedades da atmosfera de modo que valores numéricos possam ser introduzidos nas equações que avaliam a difusão e, quando apropriado, a deposição. Uma adequada apreciação dos problemas meteorológicos dos efluentes de chaminé portanto auxilia na determinação dos parâmetros necessários ao estudo, na precisão requerida e na área de validade ou aplicação das medidas. (60)

O transporte horizontal de efluentes aparece como um problema fundamental e, dado que são gases ou ^{se}constituem de partículas de velocidade de queda desprezível, considera-se que se movem contidos num volume de ar atmosférico. O transporte é medido por meio de cataventos e anemômetros e em outras ocasiões por balões se alturas de várias centenas de metros estão envolvidas. A localização geográfica do sítio do reator, o tipo de terreno e outras peculiaridades devem ser estudadas a fim de determinar o nº dos instrumentos de medida, sua distribuição e também a frequência de observações. Assim a trajetória do efluente deve ser conhecida por todas as possíveis variações das condições atmosféricas.

A mistura de partículas ou gases com a atmosfera é causada quase que inteiramente por movimentos de redemoinhos que podem ser de origem mecânica ou térmica ou devidos à combinação de ambas. Registros de anemômetros mostram que em geral e especialmente nas camadas mais baixas da atmosfera, o vento é altamente turbulento, a velocidade oscila com períodos variando de uma fração de segundo a vários minutos e com uma amplitude que é frequentemente uma fração substancial da velocidade média. De maneira análoga, os indicadores de direção apresentam oscilações irregulares de modo que a velocidade do vento está constantemente mudando não apenas de um instante para outro mas também de um ponto para outro. Os redemoinhos que dão origem a essas flutuações de velocidade cobrem quase uma faixa infinita de tamanhos e a ação difusiva de um redemoinho isolado depende principalmente de seu tamanho. Uma pequena parcela de um contaminante pode ser meramente transportada como um todo por um grande redemoinho ao passo que um de pequeno tamanho seria um efetivo agente difusivo. No caso de descargas contínuas de efluente, alguns redemoinhos promovem a difusão da pluma e por isso misturando-se com a atmosfera vizinha enquanto outros redemoinhos movem a pluma à maneira de uma serpentina, horizontal ou verticalmente.

Os meteorologistas devem estar preparados para estimar os efeitos de um nº de outros fatores, como efeitos periódicos e sua variação com a radiação solar, presença de nuvens ou nevoeiro, a incidência de precipitação e mudanças de massas de ar. Outra preocupação relaciona-se com as prováveis concentrações no nível do solo resultantes de contínuas emissões de chaminé, além daquela ligada ao efeito de uma simples liberação de produtos de fissão na atmosfera. Tal espécie de liberação pode ocorrer em consequência de um superaquecimento do reator. Em virtude de sua importância, tem-se estimado os limites superiores de possíveis deposições de substâncias radioativas no solo, em várias distâncias.

A capacidade da atmosfera de dispersar e difundir os efluentes varia largamente com as condições do tempo. Normalmente a capacidade de diluição da atmosfera é tão vasta que uma chaminé bem projetada é um método fácil e seguro de liberar os resíduos gasosos. Contudo, se a quantidade de efluentes é abundante ou particularmente nociva, ou se a diluição natural da atmosfera diminui além do limite, a liberação incontrolada e indiscriminada de contaminantes no ar produz sérias consequências ambientais.

A quantidade de um particular efluente passível de liberação na atmosfera depende da natureza do material poluente, dos efeitos específicos que ele produz no receptor e do local de sua emissão. Com alguns materiais efluentes o risco origina-se na inalação em uma simples exposição, enquanto, com outros, o risco surge da acumulação de materiais no receptor. Esse tipo de risco - exposição crônica - pode ser controlado pela limitação de exposições nos arredores a níveis que irão impedir a acumulação de quantidades nocivas de material no receptor além de uma certa faixa de tempo. O risco agudo controla-se pela limitação de concentrações máximas a níveis toleráveis, dado que a exposição média está dentro dos limites aceitáveis.

A dispersão de efluentes de chaminé na atmosfera é um processo extremamente complexo no qual estão envolvidos uma variedade de fatores.

O primeiro é o problema aerodinâmico. Estão entre os mais importantes fatores as formas estruturais, a direção e a velocidade do vento. O segundo problema está relacionado com o poder de flutuação dos efluentes gasosos. Os fatores importantes são os parâmetros de velocidade de emissão, densidade e volume da emissão, velocidade do vento e turbulência atmosférica. O terceiro problema, dispersão

meteorológica ou diluição, envolve a difusão de contami
nantes por meio da turbulência natural da atmosfera. E
aqui os fatores são o balanço de energia e de calor da
parte mais baixa da atmosfera e certas características to
pográficas.

Os poluentes são dispersos na atmosfera por difusão tur
bulenta e transporte. Quanto maior a turbulência, mais rã
pida é a dispersão. Quanto mais variável o fenômeno do
transporte, maior é a dispersão. A turbulência pode ser
considerada como o mecanismo de difusão do poluente de
forma que a concentração da pluma é reduzida ao longo do
processo. O transporte, por outro lado, pode ser pensado
como o mecanismo pelo qual o poluente é levado a um lugar
específico. Assim, a concentração da pluma em um particu
lar instante é o resultado da difusão, enquanto a concen
tração produzida em um extenso período de tempo envolven
do várias passagens da pluma em um sítio de interesse é
o resultado tanto na turbulência como do fenômeno de trans
porte.

Os fenômenos meteorológicos, como precipitação, mudanças
em massas de ar, turbulência e movimentos verticais, são
responsáveis pela distribuição irregular de aerossol nu
clear, pelo menos na troposfera mais baixa. É a conclu
são que se obtém, baseada em investigações, é que não há
conexão entre o aerossol nuclear nas camadas de ar próxi
mas do solo e aquele verificado nas precipitações.

5.6 Análise dos Problemas de Saúde

A radioatividade contida numa usina nuclear constitui uma
ameaça para o homem, principalmente pela sua capacidade de
liberar radiação. Esta radiação pode tomar um número de
formas, incluindo partículas energéticas como raios β (a
tualmente elétrons ou positrons) e partículas α (núcleos
de Hélio) e radiação eletromagnética como raios γ (gama)

e raios-X. Essas formas compartilham a característica de serem energéticas o bastante para causar a formação de pares de íons no material pelo qual eles passam. Tal ionização é o mecanismo por meio do qual a radiação pode danificar organismos vivos. (27)

A quantidade de radiação absorvida no tecido é expressa em unidade rad (um rad é a quantidade de radiação que deposita 100 ergs de energia por grama de tecido). O dano biológico causado por diferentes tipos de radiação, entretanto, só aproximadamente se relaciona com a energia depositada, uma vez que as partículas alfa e os neutrons, por exemplo, de um modo geral causam mais dano por rad do que o fazem a radiação beta ou a radiação gama. Para responder por essa diferença, outra unidade, o rem (dose de radiação equivalente ao homem), é usada para determinar padrões de proteção radiológica; embora se ressaltasse a precisão, essa unidade possibilita que todos os efeitos de radiação sejam relacionados a uma única medida de dose. Por definição, um rad de radiação beta ou gama tem cerca de um rem de eficácia biológica. Exposições à radiação tanto podem ocorrer num curto período de tempo como podem ser acumuladas paulatinamente. A dose total é medida em rems e a taxa de dose em rems por unidade de tempo (por exemplo, padrões de proteção radiológica quase sempre enumeram limites permissíveis de dose em termos da quantidade de rems por ano que pode ser recebida). Uma dose de radiação pode ser desferida externamente sobre todo o corpo, sobre órgãos específicos ou tecidos através da ingestão, inalação ou outras vias. Uma dose recebida por tecidos específicos pode traduzir-se numa dose comparável para todo o corpo.

As taxas médias de dose para todo o corpo, advindas de radiação natural ou artificial, estão reunidas na tabela 5.4. As fontes naturais respondem por cerca de 0,130 mili rem (mrem) por ano. Desse total, cerca de 25mrem provêm

de potássio-40 e outros radioisótopos ingeridos na ali-
mentação. As exposições à radiação artificial foram cal-
culadas como totalizando 80 mrem, dos quais 73 mrem. ^{DE AVALIAÇÃO}
~~de fontes médicas.~~ Normas americanas exigem que a
média de exposição da população, proveniente de todas as
fontes não-médicas, seja mantida abaixo de 170 mrem por
ano, e que os indivíduos da população em geral não rece-
bam mais de 500 mrem por ano. Os limites ocupacionais são
fixados em 5 rem por ano.

A atual taxa de dose, entretanto, não é uma medida abran-
gente dos eventuais efeitos da presente atividade da ener-
gia nuclear sobre a saúde. As liberações de materiais ra-
diativos nas atividades do ciclo do combustível nuclear
podem continuar, por anos e anos, acumulando-se gradual-
mente no meio ambiente ou nos tecidos humanos. As sobras
decorrentes das atividades de mineração e beneficiamento
de urânio, por exemplo, continuam a emitir ^{RADIOATIVIDADE}
~~radioatividade~~ por milhares e milhares de anos a uma taxa qua-
se constante. De mais a mais, materiais radioativos podem
permanecer tanto no corpo humano como no meio ambiente,
desferindo doses de radiação a indivíduos durante al-
guns anos, durante a vida inteira e até pelas gerações
subsequentes. As atividades do ciclo do combustível, as-
sociadas com a geração elétrica de um reator-ano, podem
ser responsáveis, portanto, pela exposição à radiação du-
rante muitos anos. Esse acometimento a respeito de futu-
ras exposições à radiação, atribuíveis às atividades pre-
sentes, é conhecido como acometimento de dose; seu cálcu-
lo para cada radioisótopo e para cada etapa do ciclo do
combustível exige a análise de cursos ecológicos e orgâ-
nicos, bem como de períodos de residência no meio ambien-
te e no corpo. Como alguns radioisótopos têm uma vida ex-
tremamente longa ou podem ser emitidos por extensíssimos
períodos, é necessário prescrever um determinado período
de tempo durante o qual seus efeitos deverão ser incluídos

no acometimento de dose. Um período de trinta ou cinquenta anos, correspondente ao tempo durante o qual um indivíduo poderá receber radiação proveniente das atuais atividades da energia nuclear, é convencional. Para certas emissões persistentes (sobras, por exemplo) ou para radioisótopos com períodos de residência relativamente longos, é necessário avaliar os impactos potenciais sobre a saúde durante períodos mais longos e decidir qual o peso que deverá ser dado nas atuais decisões.

Se bem que a radiação possa danificar todas as moléculas presentes nas células, as macromoléculas de DNA, portadoras de informações genéticas necessárias ao desenvolvimento, à manutenção e divisão da célula, é que constituem o alvo biológico mais importante. A radiação pode romper uma ou ambas as fibras do DNA, em um ou muitos lugares, destruindo ou alterando parte das informações nela contidas. Grande parte desse dano é reparável, se bem que numa pequena proporção de células o DNA danifica-se definitivamente. As consequências desse estrago tanto podem ser a morte como a disfunção da célula afetada, cuja transformação a um outro estado poderá manifestar-se, em última análise, como câncer, no organismo, ou, no caso das células embrionárias, como distúrbios genéticos em gerações posteriores. O grau do dano permanente depende do tipo da radiação e de sua intensidade e duração.

Doses muito altas de qualquer radiação resultam em danos orgânicos graves: tecidos vitais, como a medula óssea, podem ser avariados a ponto de registrar-se morte. Doses no organismo superiores a 500 rem costumam ser fatais ^{em} ~~uma~~ questão de semanas. Mesmo a 100 rem muitas células são destruídas, indivíduos podem contrair mal de radiação e fetos morrem ou têm seu desenvolvimento prejudicado.

As doses mais baixas e a baixas taxas de dose, os efeitos da radiação são mais sutis e difíceis de serem previstos

Tabela 5.4 Estimativas de Taxas Anuais de Dose ao Organismo Humano nos EUA, 1970¹

Fonte de Radiação	Taxas médias de Dose (mrem/ano)
<i>Natural</i>	
Radiação Cósmica no Meio Ambiente	45 (30-130) ²
Radiação Terrestre	60 (30-115) ²
Isótopos Radioativos Internos	25
Subtotal	130
<i>Artificial</i>	
Queda Global no Meio Ambiente	4
Energia Nuclear	0,003 ⁴
Médicas	
Diagnóstico	72
Radiofarmacêuticas	1
Ocupacionais	0,8
Diversas	2
Subtotal	80
TOTAL	210

¹ Segundo a Academia Nacional de Ciências, "The Effects on Population of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation", Relatório da Comissão Consultiva sobre os Efeitos Biológicos da Ionização, BEIR, 1972; e Klement *et al.*, "Estimates of Ionizing Radiation Doses in the United States, 1960-2000", Agência de Proteção ao Meio Ambiente dos EUA, 1972.

² Os valores entre parênteses indicam a faixa na qual os níveis médios para diferentes estados variam com elevação.

³ Faixa de variação (mostrada entre parênteses) atribuível em grande parte a diferenças geográficas no índice de potássio-40, rádio, tório e urânio na crosta da Terra.

⁴ Este índice elevou-se para cerca de 0,023 milirem por ano em 1975; veja a seguir o exame do ciclo do combustível por magnitude de acometimento.

com base na experiência de altas doses. As doses altas, as regiões sensíveis de uma determinada célula são submetidas a muitos milhares de bombardeios por radiação. Se isso ocorrer num pequeno lapso de tempo, a morte da célula é provável. As doses mais baixas, particularmente se espaçadas no tempo, os efeitos biológicos dependem de como ocorre o dano e das possibilidades de reparação. A ní

veis de fundo, a região sensível de uma determinada célula só é bombardeada por radiação cerca de uma vez por ano; a níveis ocupacionais de exposição, os bombardeios podem ocorrer uma vez por mês; e sob condições de acidente, até várias vezes por dia.

Os efeitos da radiação dependem muito do tecido envolvido e dos cursos biológicos através dos quais os materiais radioativos penetram e se concentram no corpo. Tecidos com células que se dividem com rapidez, como os embriões, são particularmente sensíveis à radiação procedente de fontes externas ou internas. Alguns órgãos são vulneráveis porque determinados radioisótopos concentram-se neles; a concentração de iodo na tiróide e estrôncio-90 nos ossos são exemplos. Por isso, com relação a certos tecidos, doses locais de radiação podem ser mais altas. Finalmente, os radioisótopos têm períodos de residência muito diferentes no corpo. Trítio tem uma residência semi vital de apenas oito dias no organismo, ao passo que estrôncio-90, que é quimicamente semelhante ao cálcio, é incorporado à estrutura óssea, onde permanece por muitos anos, em média. O curso de penetração no corpo também é importante. Plutônio, por exemplo, é extremamente radotóxico se inalado como pequenas partículas ou se penetrar na corrente sanguínea; mas é muito menos perigoso quando ingerido, já que não é facilmente absorvido pelas paredes intestinais. Como os efeitos biológicos da radiação dependem de um grande número de variáveis, eles só podem ser parcialmente caracterizados pela simplificação dos modelos, tal como a relação linear de reação à dose, isto é, a relação linear dose-resposta.

A maior fonte individual de dados é o estudo dos sobreviventes japoneses da bomba atômica; dentre cerca de 24.000 pessoas que ficaram expostas a uma dose média de mais ou menos 50 rem, mais de uma centena de óbitos ocorreram até hoje por câncer adquirido. Na Grã Bretanha, dentre 15.000

pessoas que se trataram com raio-X para artrite da espi
nha, correspondendo a uma dose média em todo o organismo
 de 250-600 rem, mais de uma centena de mortes por câncer
 adquirido registrou-se até agora. Outros grupos que passa
 ram a apresentar elevado índice de morte por câncer in
cluem-se os habitantes das Ilhas Marshall, que foram sub
metidos em 1954 a uma explosão-teste de bomba nuclear, os
gêneradores de urânio que se expõem a emanações de radô
nio na atmosfera das minas, os trabalhadores pioneiros da
 radiação e vários grupos de pacientes de radioterapia. En
tre os animais também existem provas concludentes em coe
rência com as observações feitas em seres humanos.

Uma relação estatística entre dose e morte por câncer foi
 traçada por comissões especializadas (BEIR, UNSCEAR, NCRP
 e ICRP), embora envolvendo incertezas muito grandes. En
tretanto, algumas implicações são merecedoras de atenção.

Uma das implicações é que o excesso de óbitos por câncer
 pode persistir por todo o período de vida de uma popula
ção exposta, considerando-se que os dados existentes são
se baseiam nos primeiros vinte a quarenta anos posteriores
à radiação.

A segunda implicação: se o excesso de câncer resultante de
 uma determinada dose de radiação causa ou não um número
 constante de casos adicionais em todos os grupos etários
adultos - isto é, um risco constante "absoluto" por rem -
 ou um aumento percentual constante acima do risco natural
 em todos os grupos etários adultos - isto é, um risco "re
lativo" constante por rem. Como o risco natural de câncer
 aumenta pronunciadamente com a idade durante a vida adul
ta, por exemplo: a possibilidade de se morrer de câncer
 aos 61 anos é 100 vezes maior do que aos 26, a projeção
 de um aumento relativo constante nos riscos ao longo da
 vida adulta prognosticaria, nos que se expõem durante
 a juventude, um excesso cumulativo de câncer bem maior do

que o faria a projeção de um aumento absoluto constante.

Uma terceira implicação está em extrapolar a relação de incidência de dose a partir da região avaliada de dose de 20-400rem descendo a doses mil ou mais vezes menores. O processo usual tem sido ajustar os dados a uma linha reta passando por zero - uma relação linear não-linear. Esse processo tende a superestimar os efeitos de doses baixas, se os ôbitos subirem mais aguda que linearmente com dose gem crescente. Por outro lado, é possível que os efeitos de prolongada dose de baixo nível sejam menores do que a mesma dose recebida a altas taxas de dose em períodos curtos. Ambas essas conjecturas podem ser válidas para a radição de baixa LET*, isto é, radiações beta e gama; mas é provável que sejam menos válidas para a radiação de alta LET (nêutrons e partículas alfa), da qual se espera que cause mais ou menos a mesma quantidade de dano por rad.

Tem-se estimado que uma população de 6.000.000 teria de ser observada anualmente a fim de se demonstrar o efeito de 5 rads na incidência de leucemia. () Como um resultado, não há uma maneira direta que determina precisamente as consequências para a humanidade da irradiação nos níveis crônicos aos quais estamos expostos constantemente. As estimativas dos efeitos nestes níveis ou em níveis menores devem ser feitas pela observação dos efeitos produzidos por altas doses ministradas em altas taxas em animais ou grupos humanos, e então extrapolar para doses e taxas baixas segundo uma certa relação matemática adotada.

Em altas doses existem dois tipos de efeitos diferentes. Há os efeitos genéticos que aparecem somente em descendentes das pessoas irradiadas e os efeitos somáticos que ocorrem nos indivíduos irradiados mas que não são transmitidos aos seus descendentes. As informações quantitativas de efei

* "Linear Energy Transfer" é equivalente a transferência linear de energia.

tos genéticos de irradiação em mamíferos são apenas conhecidas de experimentos em animais. Quanto aos efeitos somáticos, elas provêm de exposições em humanos e de experimentos em animais. Experimentos genéticos em ratos conduzidos por W.L. Russel e seus auxiliares a respeito de incidências no homem de doenças genéticas levaram a uma estimativa de uma duplicação da dose de cerca de 50 rem em seres humanos.

Os efeitos somáticos da radiação tem sido extensivamente estudados em seres humanos. Os principais grupos envolvidos foram pessoas expostas ao rádio em virtude da pintura de rostradores de relógio ou de práticas médicas; sobreviventes do bombardeio de Hiroxima e Nagasaki; radiologistas e pacientes que foram tratados terapeuticamente com raios X.

No grupo dos radiologistas, as maiores causas de morte tiveram uma incidência de idade específica muito alta. Portanto, a maioria das mortes contribuiu para o encurtamento da extensão média de vida. Somente os casos de leucemia contribuíram de certo modo muito mais do que sua parte de influência sobre a idade média das mortes. Se isto é verdade, pode-se dizer que a medida mais adequada dos efeitos somáticos de pequenas doses de radiação ionizante em uma população é o seu efeito na extensão de vida.

A análise do caso dos radiologistas é importante para ressaltar que o maior efeito cancerígeno de pequenas exposições significativas de uma população à radiação ionizante provavelmente não são os casos extraordinários de câncer, mas aproximadamente o mesmo número de ocorrências de câncer em poucos dias ou semanas anteriormente diferentes daquelas que teriam ocorrido de qualquer maneira.

As avaliações da energia nuclear exigem proteção não só do risco apresentado por possíveis acréscimos no fundo com

tínuo de baixa radiação como também do risco resultante de acidentes, em que a exposição além de ser maior poderá ser recebida num período mais curto. Considerando os efeitos de uma dose contínua de radiação (sobre todo o organismo) de 0,1 rem por ano para a população (1967) dos EUA, a análise BEIR calcula que os óbitos por câncer poderão aumentar de 1.700 para 9.000 por ano, como resultado de tal adição ao nível de fundo. Deve-se nessa larga faixa a dificuldade de se saber se o risco é absoluto ou relativo, e se a duração do risco (o período-platô) estende-se ou não por trinta anos ou pela vida inteira. Segundo a BEIR, o modelo de risco absoluto dá 1.726 mortes anuais por câncer para um platô de trinta anos e 2.001 para um platô de vida inteira; o modelo de risco relativo dá 3.174 para um platô de trinta e 9.078 para um platô de vida inteira.

Esses números podem ser traduzidos numa estimativa de risco de vida inteira por média de pessoas que recebam uma dose de radiação de uma só vez; isto é, num milhão de pessoas uma exposição a 1 rem acabaria resultando, de acordo com as estimativas acima, em 90 a 470 mortes por câncer, dependendo do modelo e do platô de risco. Cita-se frequentemente a cifra de 180 mortes por milhão de nome-rem como uma média. Esse esperado efeito de exposição de 1 rem poderá ser comparado com as 200.000 pessoas num milhão que morrerão naturalmente de câncer provocado por outras causas.

O estudo dos efeitos genéticos da radiação é complicado, não só por força da variedade de diferentes tipos de mutação como pela vasta gama de manifestações de doenças genéticas. A radiação pode alterar uma pequena região da molécula DNA, como um gene, portadora de instruções para formar uma proteína individual; pode alterar genes em dois ou mais pontos; e pode também resultar em aberrações cromossômicas que se traduzem em redistribuição (inclusive perda) de substâncias nos cromossomos ou em alteração do

número dos cromossomos. Extremamente difícil fixar-lhes a magnitude da contribuição genética e até que ponto o componente genético será influenciado por um acréscimo na taxa de mutação.

Os resultados desses efeitos genéticos variam dos invisíveis aos notórios, dos triviais aos letais; uns ocorrem predominantemente na primeira geração, outros surgem mais tarde, e outros ainda persistem por dezenas de gerações.

Os efeitos genéticos globais da radiação podem ser comparados com as taxas de indução de câncer. A incidência de moléstias genéticas nos EUA, em seu total anual de três milhões de natos vivos, atribuível à radioatividade contínua de 170 milirem/ano para uma única geração, é calculada variadamente a contar de 360-3.240 (BEIR), 534-804 (WASH-1400) e 642-15.600 (possíveis revisões). O acréscimo anual de óbitos por câncer, provocado pela mesma dose de radiação contínua (170 mrem por ano) seria de 1.500 a 8.000 (NCRP). Portanto, para as mesmas exposições, as deficiências genéticas que surgem na primeira geração, por causa da exposição à radioatividade, podem ser a grosso modo comparáveis à incidência de morte por câncer em termos de números de pessoas afetadas.

Passemos em revista os impactos de operações normais sobre a saúde e também os impactos advindos de acidentes, nos diversos estágios do ciclo do combustível nuclear. Para cada estágio, o impacto ocupacional e o impacto público são tratados separadamente, distinguindo-se os acidentes que não envolvem radiação da exposição à radiação. Para dar uma medida bruta do efeito de doses de radiação recebidas, usamos a relação linear dose-reação, com um fator de risco (taxa média) de 180 mortes por câncer por milhão de homem-rem (equivalente a todo o organismo). A menos que indicado ao contrário, exposições à radiação são expressas como acontecimentos de dose de cinquenta anos por reator -

ano, recebidas por pessoa num período de cinquenta anos e devidos à geração de energia de um reator durante um ano .
(27)

A. Mineração

A mineração é o primeiro lugar de risco ocupacional. Na mineração subterrânea os acidentes resultam em cerca de 15 mortes por 10.000 mineradores, ou seja, 0,2 mortes por reator-ano. As estimativas para minas a céu aberto apresentam índices menores. Quanto aos acidentes não fatais, equivalem a mais ou menos 1.100 dias de incapacidade por reator-ano.

Além dos acidentes, os mineradores estão expostos à radiação externa e a inalação de pó que absorve produtos da de composição das emanações de radônio. Inaladas dessa maneira, as emanações de radônio podem alojar-se em tecido do trato respiratório inferior onde se tornam cancerígenas.

As emissões de radônio durante a mineração também podem exercer um impacto sobre a saúde pública, embora as estimativas de sua magnitude variem grandemente. Exemplificando, o destino ambiental do desprendimento do Radônio-222, cerca de 5.000 Curies do qual são liberados por reator-ano de minério explorado.

B. Beneficiamento

Existe pouca documentação sobre acidentes ocupacionais no estágio de beneficiamento do minério de urânio. Ao que parece, eles são relativamente baixos (da ordem de 0,001 rêm por reator-ano). Os acometimentos de dose pulmonar em operários atingem 700 homem-rem, segundo a GESMO. Lançando mão da mesma relação proporcional dose-reação, espera-se que tal exposição resulte num total de

aproximadamente 0,05 fatalidades cancerosas por reator-ano.

As emissões de radônio provenientes de operações de beneficiamento foram citadas pela AEC como sendo cerca de 75 curies por reator-ano. A GESMO, por sua vez, obteve os seguintes cálculos: liberação de 900 curies, mas incluiu aquelas provenientes de montões de resíduos, isto é, processados de minério que não foram estabilizados; a dose para a população em geral, 100 homem-rem por reator - ano (o equivalente a uma dose para todo o organismo); e óbitos de câncer latente por reator-ano da ordem de 0,02.

As operações de beneficiamento resultam na criação de enormes montões de resíduos junto aos moinhos. Essas pilhas continuam a emitir radônio-222 por muitos milhares de anos e são, portanto, uma fonte esperada de exposição a longo prazo. A GESMO calcula acometimentos de dose anuais a toda a população, por conta dos resíduos de um reator - ano, em mais ou menos 100 homem-rem. Numa base anual, essa taxa de exposição não é grande; todavia, ela contribui para um acometimento da ordem de 1.000 homem-rem por século; resultando de acordo com as estimativas proporcionais de dose-reação, em aproximadamente 0,2 óbitos de câncer latente por século, por reator em operação.

C. Transporte, Conversão e Industrialização

A Agência de Proteção ao Meio Ambiente dos EUA calcula cerca de 0,01 fatalidades em ambas as exposições, ocupacional e pública. E os riscos podem variar segundo a escolha do ciclo de combustível: a presença de plutônio no ciclo de combustível aumentará os riscos no transporte e na industrialização. No Brasil, estudos nesse sentido foram realizados por Meldonian no IPEN. (43)

D. Construção de Instalações do Reator

Não poucos estudos têm negligenciado os acidentes fatais que acompanhar a construção de instalações para reatores. É típico dessa construção envolver fatalidades de 248 mortes por 10.000 homens-ano, sendo que o algarismo mais alto é típico da construção pesada exigida para instalações de reatores. Ratando num período de vida industrial de vinte a trinta anos, isso leva a uma taxa de perda ocupacional da ordem de 0,07 a 0,1 mortes por reator-ano, observada pelo Conselho de Segurança Nacional (Chicago).

E. Operação Normal do Reator

Entre os gases efluentes, cerca de 500 curies de criptônio-85 têm sido liberados anualmente de cada reator. O desprendimento desse gás, que se difunde mundialmente pela atmosfera, parece ter efeitos muito limitados sobre a saúde, antes de tudo pela exposição da pele à radiação beta e gama. Seu risco global é da ordem de 7×10^{-5} mortes por reator-ano.

Além dos gases radioativos, emitidos na operação do reator, as descargas líquidas incluem liberações contendo trítio e liberações isentas de trítio, que migram do combustível para o refrigerante, sendo ambas fontes de exposição interna por meio da ingestão de alimentos aquáticos e de água potável.

F. Impacto de Acidentes de Fusão de Cerne sobre Avaliações de Riscos de Saúde

Os tipos de radiação resultantes do desprendimento de certas substâncias radioativas num grande reator variam largamente. A dose no raio das imediações pode ser bastante al

ta para rapidamente causar enfermidade letal, ao passo que a dose a maiores distâncias diminuindo a níveis de fundo, na medida em que a radioatividade gradativamente se dilui por dispersão, por precipitação e por decomposição. Por sua vez, as conseqüências para uma população exposta dependerão do tipo e da quantidade de produto de fissão liberados, das condições meteorológicas predominantes; da densidade meteorológica a variadas distâncias na trajetória da nuvem radioativa; e de fatores que influenciam o grau em que indivíduos potencialmente expostos estão protegidos contra a irradiação por prévia evacuação, abrigos, blindagens e outras providências que minimizem a inalação, a ingestão ou o contato com material radioativo.

Os riscos de enfermidade e morte por radiação são calculados em wash-1400 como confinados à área num raio de 10-15 milhas do reator, mas dependem pronunciadamente dos parâmetros acima referidos. Calcula-se que velocidades e eficiências de evacuação, que excedam a 57 milhas por hora, reduzam a zero o risco de mortalidade prematura na ausência de forte contaminação local devido à chuva.

Além de calcular os efeitos imediatos sobre populações expostas, o wash-1400 também fez a projeção de efeitos carcinogênicos e genéticos de ocorrência mais recente, utilizando-se de vários modelos de dose-efeito. Os modelos de dose-efeito, aplicados a uma população hipotética de 10 milhões de pessoas que residam sob a coluna de radiação num raio de 500 milhas do tipo mais sério de acidente com reator, levaram a estimativas de 3.500 fatalidades imediatas, 45.000 cânceres fatais, 240.000 nódulos de tiróide e 30.000 distúrbios genéticos como conseqüências a longo prazo da exposição (30 anos).

A integração na gama completa de probabilidades e conseqüências analisadas em wash-1400 leva à conclusão de que, numa base proporcional de taxa de perda, haverá cerca de

0,023 fatalidades por reator-ano (0,002 fatalidades prematuras e 0,021 mortes por câncer latente por ano). Considerados a partir de uma perspectiva estritamente sanitária, esses números mostram-se muito incertos e não representam uma avaliação moderada.

G. Tratamento e Destinação dos Resíduos

Doses públicas e ocupacionais que resultam do tratamento e da destinação dos resíduos são consideradas, via de regra, como insignificantes (GESMO, 1976). É possível que se venha a constatar que as sobras da trituração, conforme tratadas presentemente, exerçam maiores efeitos sobre a saúde do que outros resíduos largados em depósitos geológicos. Os riscos para a saúde provenientes do tratamento do resíduo, antes de sua destinação final, é que talvez tenham de depender da ocorrência ou não de reprocessamento e reciclo.

H. Reprocessamento e Reciclo

O reprocessamento envolve a dissolução do combustível gasto com o conseqüente desprendimento de radioisótopos gasosos e voláteis, e também a separação de urânio e plutônio de outras substâncias radioativas residuais.

Os riscos ocupacionais do reprocessamento e do reciclo são quase que inteiramente de natureza radiológica e surgem do manuseio de substâncias radioativas residuais nas operações de reprocessamento, de subsequentes etapas no tratamento dos resíduos com vistas à destinação, e da grande variedade de operações químicas e mecânicas envolvendo plutônio.

As exposições da população como resultado do reprocessamento parecem dever-se predominantemente a carbono-14, cript

tônio-85 e outras substâncias radioativas emitidas durante esse processo. O desprendimento de dióxido de carbono (CO_2) resulta num acometimento de dose à população de cerca de 100 homem-rem para cada reator-ano, ou menos de 0,02 fatalidades latentes.

A partir do reprocessamento, cerca de 500.000 curies de criptônio-85 seriam liberados por reator-ano, resultando num acometimento de dose à população norte-americana por volta de 20% inferior àquela atribuída ao carbono-14.

1. Riscos do Plutônio à Saúde

Os riscos que o plutônio acarreta para a saúde dependem das possibilidades de sua propagação no meio ambiente, do seu subsequente comportamento nos cursos ecológicos e alimentícios do homem, de sua modalidade de inserção e translocação a órgãos diversos, e de seus peculiares efeitos tóxicos.

O maior perigo do plutônio advém pela inalação de pequenas partículas que se alojam no trato respiratório inferior. Presente nos pulmões, o plutônio pode induzir câncer; e também pode translocar-se com o mesmo efeito para outros tecidos através de absorção e transpote na corrente sanguínea e linfática. As consequências orgânicas dessa translocação são tidas como da maior gravidade no fígado, nos ossos, nessa ordem. Num grau mais limitado, o plutônio também se concentra nas gônadas humanas. Ingerido, o plutônio apresenta risco menor, já que a absorção no trato gastrointestinal é pequena.

A ICRP e ACRP estabeleceram padrões para a carga máxima permissível de plutônio no organismo: 40 nano curies de atividade alfa para os que trabalham com o material e 4 nanocuries para o público em geral. Cálculos bem mais gros

seiros sugerem que ao 40 nanocuries podem aumentar o risco de câncer fatal de ação retardada em 0,2%, se bem que se ja grande a incerteza sobre o valor preciso.

VI. Análise Comparativa : Carvão Versus Nuclear.

A comparação dos impactos ambientais ^{e dos riscos à Saúde} decorrentes da utilização do carvão mineral e energia nuclear, merece considerações à parte, tendo em vista as suas similaridades termodinâmicas e potenciais impactos de grande significância para o ambiente. ^{e da Saúde} Esta é a razão do tratamento especial que se denota neste capítulo.

6.1 Aspectos Ambientais

Para comparar o impacto ambiental do ciclo do combustível nuclear com o ciclo do carvão é valioso considerar as quantidades de materiais envolvidos na conversão de energia. Nesse caso, a quantidade de energia considerada é da ordem de 5.000kWh (elétricos) por ano e por pessoa-típica de países europeus, Japão, e Austrália. E as descargas por ano de SO_2 , NO_2 e Ra-226 e Ra-225 no material particulado do carvão com as emissões de Kr-85 e I-131 de usinas nucleares são comparadas.

Para obter-se uma perspectiva razoável dos riscos das liberações normais de radioatividade de usinas nucleares e de usinas a carvão, é instrutivo seguir a avaliação de Okamoto⁽³³⁾ que usa a equação

$$V = \sum_i Q_i / MPC_i$$

onde Q é a liberação de radioatividade em Bq (Becquerel) e MPC_i é a máxima concentração permissível em (Bq/m^3) . Portanto, corresponde ao volume de ar necessário para diluir a radioatividade emitida aos máximos níveis permissíveis, e sua magnitude pode ser usada para a compara

ção de riscos radioativos relativos a diferentes usinas. Os resultados dessa avaliação, mostrando os riscos radioativos de usinas nucleares e usinas a carvão de 1.000Mwe (isto é, os valores de V da equação acima em unidades de $10^9 m^3$, considerando um fator de carga de 70%), são dados na tabela 0.1. (35)

Tabela 0.1 - Volume de ar para dispersão ($10^9 m^3$)

Tipo de Usina	Risco Radioativo Subst. Solúvel	Risco Radioativo Subst. Insolúvel
Carvão (a)	320	110
(b)	700	450
Óleo	7	2,5
Gás Natural	9*	9*
Nuclear	0,3-40	0,3-40

(a) 1% de liberação de todos os nuclídeos radioativos

(b) 100% de liberação de radônio e seus filhos junto com 1% de liberação de outros nuclídeos.

* O valor real é superior a estes números.

O teor de urânio e tório no carvão foi tomado como 2ppm e 2,7ppm, baseados nos valores médios do carvão betuminoso de Queensland. As taxas de liberação da usina nuclear foram retiradas de dados recentes de LWR construídos na Europa após 1970. Os valores de MPC foram extraídos do ICRP (1959).

Uma vez que o Radônio é um gás inerte, ele provavelmente

é liberado de maneira abundante. Alguns de seus produtos de decaimento, Pb-210 e Po-210, são muito voláteis e são provavelmente liberados em taxas maiores do que 1%. Assim, as duas taxas de liberação aqui consideradas, a saber, 1% (liberação de todos os radionuclídeos) e 100% (liberação de Radônio e seus filhos e 1% de liberação para o resto) são adotadas como os limites máximo e mínimo.

Visto que as substâncias radioativas se apresentam nas formas químicas tanto solúvel como insolúvel, a avaliação é feita para ambos os casos exceto para a usina nuclear, na qual os principais efluentes são gases nobres. Como pode ser visto na tabela de resultados, o carvão em geral apresenta-se mais nocivo do que uma usina nuclear, de acordo com Eisenbud e Petrow (1964).

Segundo Niehaus ("The problem of carbon dioxide"), o uso contínuo de combustíveis fósseis para a geração de energia, em escala global, pode levar a sérias consequências que ele resumiu como sendo as seguintes⁽²⁷⁾:

(a) Impacto na produção mundial de comida

Tem-se estimado que uma variação de 1°C na temperatura pode levar, em uma média global, a uma diminuição de 1,3% na produção mundial de comida.

(b) Fusão da camada de gelo do Atlântico Norte

Como esta cobertura de gelo não é muito grossa, sua fusão devido ao aumento de temperatura pode ocorrer dentro de poucas décadas. As regiões polares estariam mais sensíveis a mudanças na concentração atmosférica de dióxido de carbono. Tal fusão mudaria o albedo (poder de re

flexão da terra) de uma maneira significativa e provavelmente levaria a uma mudança das zonas climáticas setentrionais.

(c) Desintegração da cobertura de gelo do Antártico Oeste

Esta desintegração elevaria o nível do oceano por volta de 4m. Contudo, a constante de tempo estaria na ordem de 1.000 anos.

(d) Fusão das calotas polares

Esta elevaria o nível do oceano em torno de 60m. E neste caso a constante de tempo seria algo de 10.000 anos.

Estas avaliações demonstram o alto potencial de risco de um aumento na concentração de CO₂ atmosférico, além dos possíveis impactos de mudanças climáticas.

Os poluentes, conforme "U.S. Department of Health, Education and Welfare", são criados pelas fontes nas seguintes proporções :

40%	transporte
12%	manufatura e processamento
11%	geração de energia elétrica
4%	aquecimento de ambientes
<u>3%</u>	resíduos
76%	Total, fontes humanas
<u>24%</u>	Total, fontes naturais (poeira, pólen, etc)
100%	

Ovviamente eles variam de área para área, dependendo da densidade de população, tipos de indústria e condições atmosféricas predominantes.

Uma medida do impacto ecológico na terra é o volume de material movimentado e embora isto seja normalmente uma função da técnica particular de mineração usada (minas abertas versus minas subterrâneas), uma comparação dos volumes dos minérios removidos pode ser feita.

A tabela 6.2 apresenta os requerimentos anuais de minério e transporte para dois tipos de usinas de energia elétrica : usina nuclear e usina termoeletrica a carvão. O reator a água requer 130t/ano de U_3O_8 . Para os minerais médios lavrados nos EUA com cerca de 0,25% de urânio, sua demanda por parte do reator a água é de 52.000t de minério, ao passo que as termoeletricas requerem 3.000.000t de carvão.

O reator a água movimenta material 86 vezes a menos que uma usina a carvão. Usando carros grandes de 100t de capacidade, isto representa 30.000 carros de carvão anuais para a termoeletrica, enquanto que para a usina de processamento do reator a água são necessários 2.000 caminhões (20t cada um) de minério de urânio. O movimento de combustível para a usina oferece um caso mais perigoso, uma vez que o urânio encontra-se mais concentrado. O transporte final para a usina demanda 6 caminhões. A radioatividade liberada da usina nuclear procede principalmente do Criptônio-85, e o volume total deste gás varia de 500 a 1200ft³/ano. Os efluentes radioativos dariam uma taxa de dose equivalente de radiação para uma pessoa vivendo imediatamente próxima da usina de

Smrem/ano⁽²³⁾).

A tabela 6.2 mostra os respectivos efluentes das usinas ora consideradas. (23)

	Usina Termoeletrica	Reator a Agua
Carvão		
Massa (t/ano)*	3.000.000	
Volume (ft ³ /ano)	120.000.000	
Transp. Rodoviário (carros por ano)	30.000	
Urânio		
Massa de U ₃ O ₈ (t/ano)		150
Volume (ft ³ /ano)		1.390.000
Transporte para o processamento (caminhões por ano)		2.000
Transp. de Combustível para a Usina (caminhões por ano)		6
Massa a 0,25% (t/ano)		52.000

Tabela 6.2 - Requerimentos anuais de minério e transporte para usinas de 1.000MWe (fator de capacidade das usinas=0,8). (23)

* Para uma taxa líquida de calor de 8.950 BTU/kWh e 10.400 BTU/lb de carvão.

	Remoções (90%) a cargo	Reator a água (30%)
Resíduos Líquidos e Gasosos		
H_2O (t/dia/10 ⁶ t ³)	2-8	
CO_2 (t/dia/10 ⁶ t ³)	21.000-32000	
SO_2 (t/dia/10 ⁶ t ³)		
enxofre a 1%	140-220	
enxofre a 2,5%	320-812	
NO_x (t/dia/10 ⁶ t ³)	6.8-11,0	
Particulado (t/dia)	62.300	
base equiv. de líquidos ou gases radioativos	0,4	
Resíduos Sólidos		
Particulado		
massa (t/ano)	200-300	
volume (t ³ /ano)	2.350-2000	
carros de carga/ano	2.300	
Resíduos Inerentes para a Planta de Aproveitamento		
concreto/ano		160
carros de carga/ano		5
Resíduo Térmico		
rescaldo p/ torre refrigeração (t/h)	1.170	1.970
descarga para atmosfera (t/h)	100	150
Armazenamento de Resíduo Sólido		
em planta de reprocessamento (t/ano)		100
em usina nuclear (t ³ /ano)		25.000
Total	1.170	2.120

Tabela 6.3 - Efluentes resultantes do uso de 2 usinas diferentes de 1.000MWe (fator de capacidade das usinas = 0,8) ⁽²³⁾

Nas usinas, as chaminés servem a duas finalidades muito diferentes. Para a usina a carvão, é essencial para a geração de eletricidade; para a usina nuclear não é. Na usina a carvão a chaminé é ligada à fornalha, na qual o carvão é queimado. No caso da usina nuclear, a chaminé não está ligada ao cerne do reator, local onde se queima o combustível; a chaminé serve a finalidades de ventilação. Este fato, após uma análise quantitativa da tabela 6.3, sugere que a chaminé de usinas nucleares é mais segura em termos de liberação de efluentes.

Na usina a carvão, cerca de 90% do combustível queimado sobe pela chaminé; na usina nuclear, uma fração relativamente pequena é liberada.

Outros fatores entram na comparação entre usinas nucleares e usinas termoelétricas a carvão. 1) a massa de combustível fóssil para obter a mesma potência elétrica é algo de 10.000 vezes maior que a do Urânio. 2) Ao contrário da usina nuclear, a termoelétrica a carvão está diretamente em contato com o exterior. 3) A radioatividade liberada de um reator nuclear constitui-se principalmente de partículas β ou γ , ao passo que a radioatividade de combustíveis fósseis deve-se às partículas α , toxicamente superior. Esta radioatividade, convertida em toxicidade, não é desprezível e, especialmente no caso de uma usina a carvão, é mais nociva do que a de usinas nucleares.

Após as considerações traçadas neste item, relacionadas com os principais problemas acarretados ao ambiente pelos ciclos do carvão e nuclear, passamos ao resumo dos principais impactos e danos decorrentes dos mesmos, em

termos quantitativos. A tabela 6.4 reúne algumas características das usinas assim como os principais impactos ambientais derivados dos respectivos ciclos.

	Carvão	Nuclear
Produção Energética (TWh)	6,57	6,57
Rendimento Térmico (%)	38	32
Consumo de Combustível (t/a)	$2,3 \times 10^6$	135
Inventário de Terreno (ha)	9070	405
Uso de Terreno (ha/a)	300	5
Emissão de SO ₂ (t/a)	$1,2 \times 10^5$	0
Emissão de NO _x (t/a)	$2,4 \times 10^4$	0
Emissão de Partículas (t/a)	2.000	0
Emissão de Metais (t/a)		despr.
Descarga Térmica no Ar (TWh/a)	164	0
Água de Refrigeração (10 ⁹ l/a)	995	1605
Água de Processo (10 ⁹ l/a)	5,5	0,5
Descarga Térmica na água (TWh/a)	9	14

Tabela 6.4 - Comparação do impacto ambiental causado por centrais nucleares e térmicas à carvão base 1000MWe

Fonte: Agência de Estatística do Trabalho dos EUA.

6.2 Aspectos de Saúde Pública

Um grande número de possíveis modos do homem ser exposto à radiação deve ser levado em conta na avaliação de dose ao corpo humano resultante da operação de uma central nuclear. O homem pode sofrer exposição à radiação por muitos caminhos. Esses caminhos incluem a exposição à radiação em virtude do decaimento radioativo de materiais liberados das centrais na atmosfera ou em corpos hídricos, bem como a exposição à radiação diretamente da usina ou, mais provavelmente, do transporte do combustível irradiado.

Ultimamente, as exposições podem provir de três fontes: efluentes gasosos, efluentes líquidos e irradiação indireta. Esses e outros modos de exposição à radiação estão indicados na figura 6.1, que inclui os caminhos biológicos da radiação ao homem⁽⁴⁵⁾.

Um dos problemas da energia nuclear é o I-131, radioativo, que pode ser liberado na atmosfera e aumentar a dose humana de radiação. O problema se agrava porque o Iodo é essencial à vida mas sua concentração é extremamente baixa. A quantidade de Iodo no corpo humano é cerca de 0,03g para o homem-padrão (70kg), fornecendo uma concentração de 45ppm por peso. No ambiente, a concentração de Iodo em geral é muito escassa e por isso muitas vezes necessita ser aumentada em nossa alimentação. A abundância de Iodo na crosta terrestre é apenas da ordem de 0,3ppm. Por comparação, temos Tório (12ppm), Urânio (4ppm), prata (0,1ppm) e ouro (0,005ppm).

O combustível nuclear é selado em "barras de combustível", mas por meio de vários mecanismos, uma quantidade de Iodo escapa do core do reator para o meio externo. A chaminé deixa escapar alguns dos materiais radioativos, como o I-131, que é liberado do edifício das turbinas e de outras estruturas. O Iodo-131 é disperso no ar, mas, enquanto se espalha, parte dele deposita-se na terra. Considere-se o caso em que parte do Iodo está depositada em terras de uma fazenda, digamos, em uma pastagem. As vacas presentes neste local irão reconcentrar o I-131 radioativo, porque o Iodo é um mineral substancial. Uma quantidade do Iodo reconcentrado aparecerá no leite. Se ingerido por uma criança, o Iodo radioativo pode novamente ser mais reconcentrado. (34)

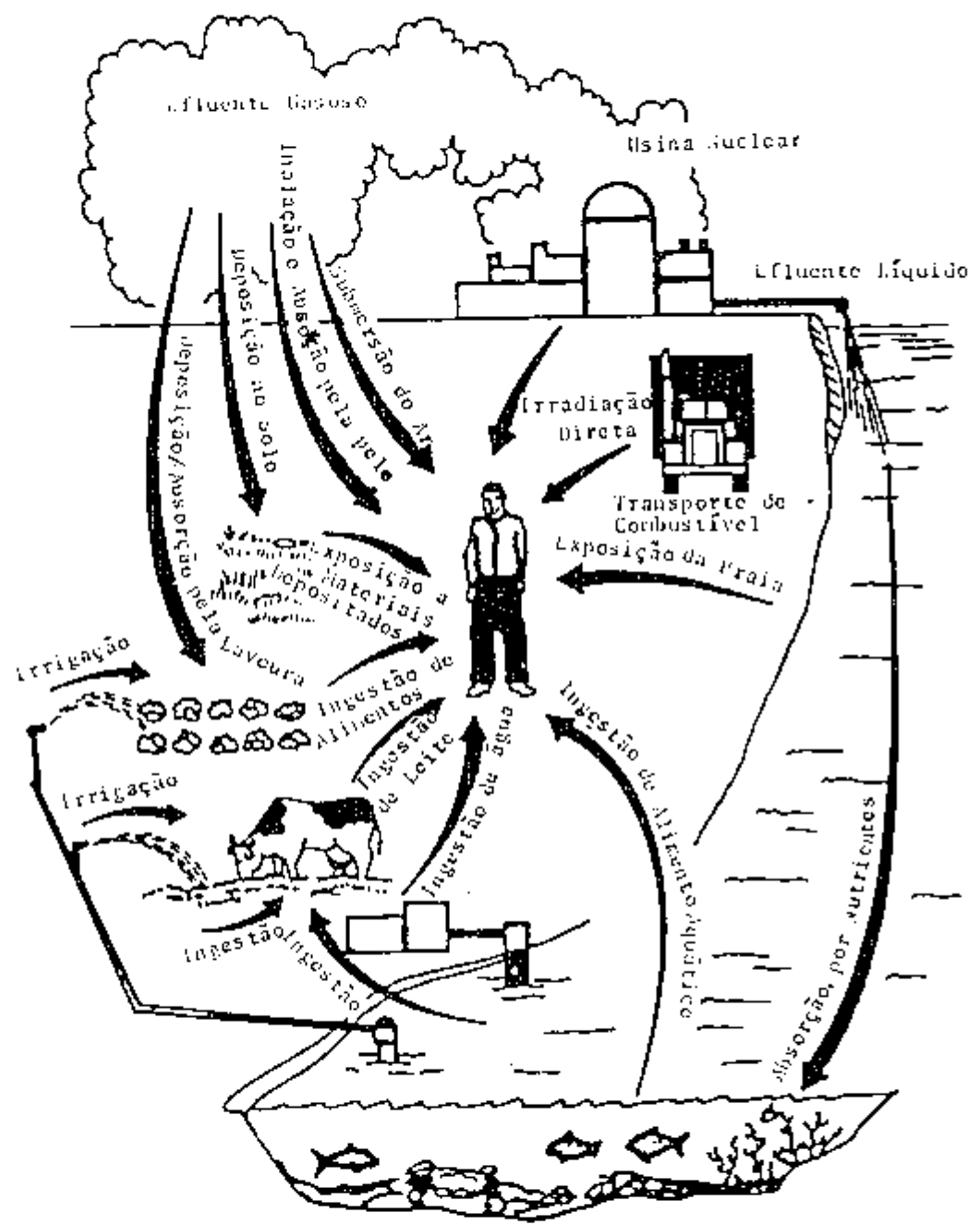


Figura 6.1 - Modos de exposição à radiação. (45)

dos vários caminhos possíveis, esse da pastagem-vaca-leite é considerado ser o mais crítico, de modo que deve ser analisado detalhadamente. Observação: o diagrama a baixo (fig. 6.2) não inclui os efeitos da radiação externa, como os raios gama da nuvem radioativa passando por cima, ou aqueles de uma atmosfera radioativa.

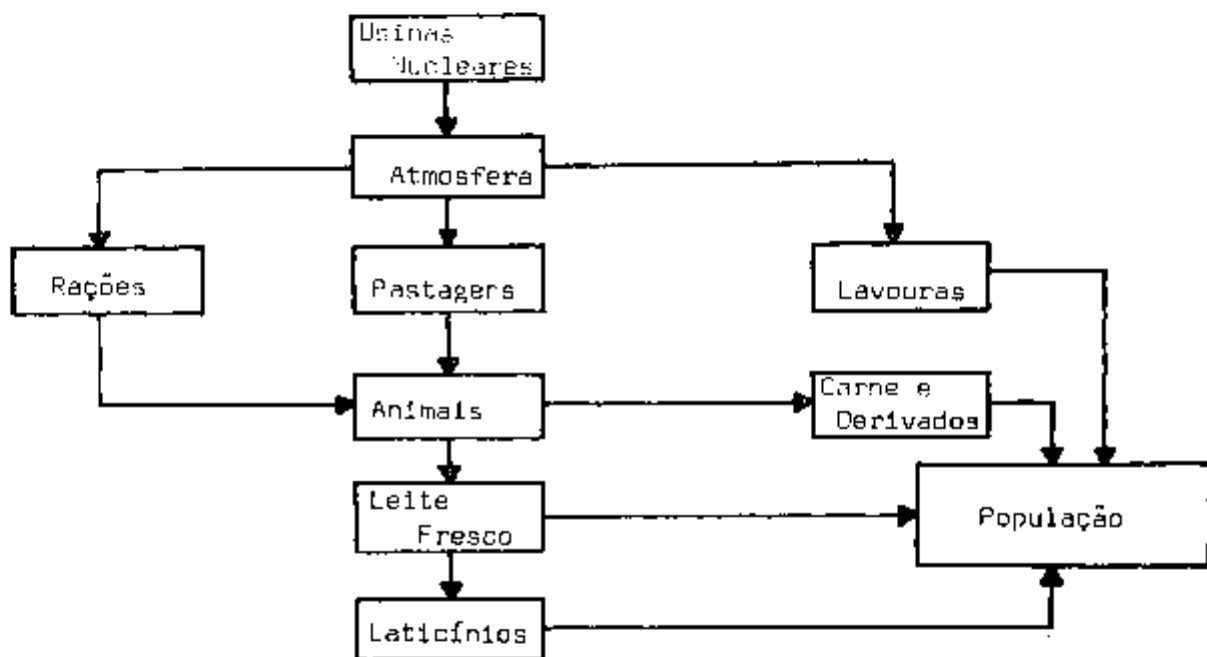


Figura 6.2 - Diagrama do caminho biológico pastagem-vaca-leite. (54)

Na consideração do efeito à saúde devido à radioatividade de usinas termoeletricas, a inalação é considerada como o risco mais importante, visto que esta é o caminho significativo de exposição da população à radioatividade das usinas. O material particulado depositado ou descarregado no ambiente vizinho das usinas termoeletricas não

contribui com uma dose expressiva de radiação dado que sua atividade específica é da mesma ordem da atividade do solo. Devido à insolubilidade do particulado (cinza), o Rádio inalado pode alcançar concentrações muito altas nos pulmões. Por esta razão, a atmosfera é considerada como o principal caminho pelo qual a população residente nos arredores de usinas a carvão estão expostas a acentuados níveis de radioatividade. A partir do conhecimento da radioatividade no particulado e de sua taxa de descarga, pode-se calcular a liberação de Ra-226, e Ra-228 na atmosfera por unidade de potência gerada por usinas térmicas a carvão. Considera-se a radioatividade predominantemente dispersa na atmosfera dentro de um raio de 80Km da usina. Na avaliação dos efeitos à saúde, o cancer do pulmão foi considerado o dano predominante para usinas a carvão(36).

É difícil estimar a contribuição da queima do carvão nos efeitos à saúde, mas, das informações disponíveis ela é provavelmente da ordem de 10% do total das substâncias inaladas pelo homem, ou seja, 5pci/dia. As doses em mrad/ano correspondentes a essa inalação são fornecidas pela UNSCEAR. Convertidas em mrem/ano, elas aparecem junto com as doses calculadas a partir dos dados de Parfenov (1974) na tabela 0.5, embora muito menores que a radioatividade de fundo (- 100mrem/ano), de modo que algumas delas são desprezíveis comparadas com as da energia nuclear. Devido às incertezas, ainda não se pode ser tirada uma conclusão definitiva, mas as doses radioativas resultantes da queima do carvão não devem ser omitidas quando se procura estabelecer uma comparação entre carvão e urânio, em matéria de efeitos à saúde(48).

Órgão	Dose (mrem/ano)	
	Órgão Individual	Dose Equivalente-Corpo Inteiro
Gônadas	8,4	2,1
Pulmão	4,2	0,5
Fígado	10	1,0
Sangue	2	0,1
Ossos	32	2,0
Medula Óssea	9,8	1,2
Revest. dos Ossos	42	1,5
Total		8,2

Tabela 6.5 - Doses de radioatividade devidas à queima de carvão.

Fonte: Para população média japonesa.(48)

Com esse propósito, L.P. O'Donnell e J.J. Mauro apresentam uma metodologia custo-benefício relativa a segurança nuclear e aplicada às usinas nucleares existentes. Com o intuito de alcançar reduções nas taxas de mortalidade, são feitas comparações, em termos de investimento, entre as características de segurança de usinas nucleares e as médias de proteção e prescrições associadas com riscos não nucleares, particularmente usinas termelétricas a carvão. Essas comparações revelam uma inconsistência observada na eficiência dos custos de programas de saúde e segurança, nos quais uma política reguladora nuclear requer investimentos muito maiores para reduzir o risco de mortalidade pública mais do que se requer em áreas não nucleares onde as reduções

nas taxas de mortalidade poderiam ser alcançadas com custos muito menores. O'Donnel e Mauro também incluem um exemplo específico da disparidade reguladora com respeito aos limites de efluentes gasosos para usinas nucleares e termoeletricas. E terminam por concluir que uma política reguladora de saúde e segurança, baseada em critérios uniformes de risco e custo-benefício, deveria ser adotada e os requisitos futuros de regulamentos propostos pela NRC devem ser avaliados criticamente de um ponto de vista custo-benefício(40).

A comparação é limitada aos contaminantes presentes no ar e prescrições a eles associadas, visto que os efluentes tanto de usinas nucleares quanto de usinas termoeletricas representam, sob condições normais de operação, o maior risco potencial à saúde pública e, se as prescrições forem inconsistentes, têm o maior potencial para causar sérias implicações econômicas.

Os limites estabelecidos nessas prescrições são 5mrem/ano para uma exposição de corpo inteiro e 15mrem/ano para uma exposição de um órgão a efluentes radiológicos e 20 mg/m³ de SO₂ e 19mg/m³ de material particulado para exposições a longo prazo e efluentes de usinas termoeletricas(41).

Para desenvolver uma comparação das implicações à saúde pública das prescrições limitadoras de efluentes rotineiros de usinas nucleares e térmicas, os coeficientes de risco devem ser similares qualitativamente em termos biológicos. Para exposição a efluentes de usinas térmicas, os coeficientes de risco usados por Lave e Freeburg foram selecionados para esta análise. Os coefi

cientos de risco são $5,9 \times 10^{-6}$ mortes/ano por $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de SO_2 e $8,5 \times 10^{-6}$ mortes/ano por $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de particulados. Para efluentes radiológicos, o risco de câncer de uma exposição de corpo inteiro e da tireóide, é cerca de $2,5 \times 10^{-4}$ e $1,3 \times 10^{-4}$ por homem-rem, respectivamente, segundo um artigo de Neir (1972). Metade dos cânceres associados com exposição de corpo inteiro e 10% dos cânceres de tireóide são considerados fatais (Wasa-1400, 1975).

Usando os coeficientes de risco apresentados acima, uma comparação de riscos para um indivíduo decorrentes de operações de usinas nucleares e termoeletricas é mostrada na tabela 6.6.

Os resultados indicam uma notória diferença, em magnitude, nas implicações potenciais de saúde dos limites a longo prazo de efluentes gasosos em ambos os tipos de usina. A diferença pode ser ainda maior quando se leva em consideração que foram observados efeitos adversos à saúde associados com concentrações ambientais de SO_2 , ao passo que este fato não ocorreu com as exposições radiológicas em níveis associados com a operação de usinas nucleares comerciais.

A análise custo-benefício tem sido baseada no risco para a população. Uma vez que os efeitos de doses de radiação resultantes de acidentes geralmente diminuem com a distância da usina, o risco para os indivíduos evidentemente não é uniforme em relação à população como um todo. Um indivíduo situado imediatamente próximo à fronteira do sítio da usina pode portanto questionar a validade dos critérios de custo-benefício que repousam nas

medidas de benefício que, por sua vez, se baseiam somente no risco para a população.

Índice de risco de morte*	
Radiológicos	
Corpo inteiro	$6,51 \times 10^{-7}$ /ano
Tiróide	$2,0 \times 10^{-7}$ /ano
Total	$8,5 \times 10^{-7}$ /ano
Poluição do ar	
SO ₂	$7,8 \times 10^{-5}$ /ano
Particulados	$1,6 \times 10^{-4}$ /ano
Total	$2,4 \times 10^{-4}$ /ano

Tabela 6.6 - Riscos a longo prazo de exposição a efluentes gasosos. (41)

* Os valores apresentados devem ser vistos como um índice de risco, não se apresentando como uma expressão absoluta de risco.

Uma estimativa do risco máximo para um indivíduo próximo ao sítio de uma usina foi feita para atestar a garantia de tais critérios. O risco de acidente para um indivíduo próximo ao sítio é dominado pela probabilidade daqueles acidentes que poderiam resultar em fusão do núcleo e rápida liberação de produtos de fissão para a atmosfera. Tais acidentes poderiam resultar em fatalidade precoce (morte dentro de um ano) de qualquer indivíduo

diretamente exposto à pluma dentro de poucas milhas do sítio.

O máximo risco para um indivíduo foi calculado considerando sua localização próxima do sítio e que, no caso de sério acidente, existe uma probabilidade de 50% de que a pluma atravessasse este local (isto é, o indivíduo está na direção do vento). Essas considerações são ~~com~~ ^{com} ~~considerações~~, uma vez que não foram levados em conta a duração, o volume da pluma e o efeito mitigador de um intenso tratamento médico, os quais serviriam para reduzir o risco individual.

Com respeito às comparações entre os combustíveis (Urânio e Carvão) a serem usados na produção de eletricidade, o nuclear parece causar menores efeitos adversos à saúde do que o carvão, embora ambos se comparem com outros riscos admitidos. (12)

Os efeitos adversos à saúde, em termos de mortes e danos não fatais, obtidos de estudos comparativos de riscos de diferentes fontes de energia, são mostrados na tabela 6.7.

Os números apresentados nesta tabela representam a soma dos danos ao público e a pessoas ocupacionalmente envolvidas, danos estes decorrentes de acidentes, doenças ocupacionais ou não, incluindo os efeitos da radiação e de acidentes catastróficos.

risco em termos de mortes, feridos ou ocorrências de acidentes, porque para produzir uma mesma quantidade de energia, necessitam maior quantidade de material. Neste aspecto a energia nuclear apresenta um risco substancialmente mais baixo do que as centrais térmicas a carvão ou óleo e as usinas hidrelétricas.

O resultado desse estudo em termos de número de mortes por unidade de energia produzida é mostrado na figura 6.3.

Com base nos resultados estampados, pode-se concluir que as centrais a carvão apresentam maiores danos à vida humana do que as centrais nucleares, ~~mas as centrais nucleares são muito mais caras.~~
~~caras.~~

VII. Avaliação do caso brasileiro

7.1 - O caso do carvão mineral brasileiro

A procura de fontes alternativas de energia tem recebido alto grau de prioridade, cabendo lembrar que o problema não é exclusivamente brasileiro e que também as grandes nações industriais se defrontam atualmente com essa questão. A energia dos ventos, das marés, da biomassa, solar e nuclear, entre outras, seriam algumas das fontes alternativas propostas e estudadas.

À luz da realidade brasileira, boas soluções obtidas em outros países podem ser inadequadas ou irrelevantes ao nosso meio. O problema reside, então, em entender quais são as alternativas disponíveis e decidir quais as mais adequadas. Estas opções poderão afetar os padrões de consumo locais, requerendo portanto um maior esforço de conscientização. Por outro lado, o aumento dos preços dos combustíveis convencionais ~~convencionais~~ (petróleo, carvão e gás) e o esgotamento de suas reservas, numa escala mundial, se encarregarão de forçar essa mudança dos padrões de consumo. / 25/.

Não são apenas novas formas de energia que precisamos buscar para substituir a nossa dependência do petróleo (e, em consequência, de decisões externas ao País), mas, igualmente, correspondentes mutações na forma de utilização de energia. Pois não é apenas um tipo de combustível que está se tornando escasso e/ou economicamente inviável; é o estilo de vida que dele decorre que também está chegando ao fim. Nossa economia, nossas cidades, todo um modo de viver estava estruturado na idéia de que não ape

nas o petróleo, mas qualquer outra matéria prima não renovável era abundante, barata e inesgotável.

Contudo, o Brasil ainda dispõe de muitas fontes alternativas de substituição da energia do petróleo. Sem qualquer sombra de dúvida, uma das mais importantes é representada pelo nosso carvão e, outra, pela alternativa proporcionada pela implantação do nosso programa nuclear a longo prazo.

Pelo fato de Santa Catarina - e particularmente Criciúma - ser um grande produtor de carvão, esse estado assume, no momento, significativo papel no contexto energético brasileiro.

Mesmo antes da crise do petróleo, a bacia carbonífera de Santa Catarina - à qual as jazidas de Criciúma estão integradas - mereceu atenção especial dos pesquisadores por ser a única onde se confirmara a existência de carvão do tipo metalúrgico). Hoje, a perspectiva de substituição do óleo combustível por carvão vapor fez com que o interesse pelo nosso potencial não mais se limitasse ao índice de aproveitamento do carvão metalúrgico.

Ao privilégio de ser o maior produtor de carvão do Brasil, com perspectivas de ver sua produção aumentar ainda mais, corresponde o ônus potencial da devastadora poluição que isso acarretaria, sem uma adequada contrapartida em política ambiental⁽¹³⁾.

Estudos realizados pela FATMA - Fundação de Amparo e Tecnologia ao Meio Ambiente de Santa Catarina, em con

ma-se que dos rejeitos pode-se extrair 10% de carvão, mediante processos adequados.

Ou seja: os rejeitos da exploração do carvão poderiam ser mais racionalmente aproveitados. É pelo fato de serem jogados fora que se tornam danosos para o meio ambiente.

A própria prefeitura de Criciúma, embora não dispondo de tecnologia adequada e nem meios para o aproveitamento dos rejeitos, tem utilizado o rejeito como base primária para o revestimento asfáltico.

O depósito de resíduos poluentes, afetando mananciais e inutilizando terras, é um exemplo típico de deseconomia externa de produção e consumo quando mananciais e terras ficam inutilizados para fins agropastoris ou para uso doméstico.

Em linhas gerais, a poluição causada por rejeitos piritosos em Santa Catarina, provavelmente ampliada com a intensificação da pré-lavagem nas bocas das minas, tende a diminuir a partir do início ou aproveitamento desses rejeitos.

Quanto ao efeito pernicioso dos gases tóxicos emanados das chaminés das termoelétricas a carvão, estão previstos dispositivos antipoluição nos novos projetos.

A construção e implantação do primeiro complexo carboquímico do Rio Grande do Sul, como todo procedimento industrial, produzirá resíduos de seus processos, em todos os estágios. Da mesma forma, uma ampliação na produção e uso do carvão também agirá sobre o meio ambiente de diversas maneiras. Como é o primeiro a ser instalado no País, podem apenas ser usados como guia dois tipos de informações, nem sempre aplicáveis à nossa realidade, a saber: experiência em outros Países e literatura existente. (17)

vênio com a Universidade Federal do RS - demonstram que tanto a mineração a céu aberto como a de subsolo, constituem causas de forte impacto ambiental: subsidências do solo, motivadas pelo desmoronamento das galerias; depósitos de rejeitos inadequados, causando profundos efeitos negativos em áreas urbanas e rurais; destruição do solo fértil e inutilização dos terrenos explorados; montanhas de rejeito e crateras produzidas pela passagem da frente de mineração a céu aberto, propiciando drenagens de águas acidificadas e resíduos poluentes dos recursos hídricos ao seu redor e mesmo regionais. Uma avaliação efetuada pela FUCRI - Fundação Universitária de Criciúma - da poluição das bacias hidrográficas do sul do estado constatou, aliás, que algumas lagoas da região de Urussanga já estão completamente estóreis, não tendo sido encontradas sequer bactérias. E as águas do rio Araranguá, embora não apresentem situação dramática, mesmo assim estão com altas taxas de ácidos derivados da pirita.

Com isso, mais de 4 mil hectares do sul do estado, produtores de arroz, estão diminuindo de ano para ano a sua produtividade. E as culturas de mandioca, fumo e outros produtos também estão sendo seriamente atingidas. Como é lógico, as perspectivas que agora se anunciam de aumento acelerado da produção de carvão fazem supor que, sem o devido controle do processo polutivo, o ônus a pagar em termos de deterioração do meio ambiente poderá se tornar insustentável.

Dadas as características do nosso minério, ao ser beneficiado, resulta em 30% de carvão e 70% de rejeito (valores médios). Esse rejeito, mais pesado e com maior teor de pirita, fica depositado nas redondezas das minas com todas as conseqüências poluentes já mencionadas. A própria natureza - com a produção de ácidos, gases e com a combustão espontânea desses rejeitos - encarrega-se de demonstrar que naquele material depositado, tão danoso para o meio ambiente, há ainda muita coisa a ser aproveitada, inclusive carvão. Esti

Os reflexos ambientais se farão sentir, em maior ou menor intensidade, em todos os estágios da produção e uso do carvão no estado de Santa Catarina.

A implementação de um complexo carboquímico, considerada em todas as suas etapas, poderá trazer sérios problemas de acidificação do lençol freático, produção de rejeitos do beneficiamento, combustão espontânea, lançamento de cinzas volantes, materiais particulados, metais pesados e outros elementos. Portanto, é indispensável levá-los em consideração e há necessidade de previsão de sistemas de proteção ao meio ambiente, tais como recuperação de resíduos, remoção de pós e poeiras, resfriamento de gás ácido, extração de solventes, retirada das águas ácidas, retenção dos contaminantes, etc.

Entretanto, surge uma das limitações citadas, pois não há estudos que nos permitam estabelecer, com a confiança necessária, quais os resíduos que realmente aparecerão após o uso do carvão. O carvão nacional não é similar ao que se encontra no hemisfério Norte e, portanto uma transposição pura e simples de casos lá ocorridos poderá nos conduzir a equívocos significativos. Devido a falta de análises específicas e extensivas do nosso carvão, a extrapolação desses equívocos se confirmará fatalmente numa situação irreal ou fictícia.

Portanto, esse aspecto deverá ser estudado e aprofundado através de quantificações dos impactos que poderão se produzir devido aos diversos usos do carvão.

Além dos problemas ligados à manipulação do carvão, deverão ser tomados cuidados com os problemas colaterais e derivados, como a água de lavagem de gases, água de refrigeração, odores e outros.

Existem certos efeitos que são comuns a qualquer uso que

se faça do carvão, tais como saúde e recreação; outros, es-
pecíficos como erosão e acidificação, são conseqüências de
determinados usos ou objetivos (extração e depósito).

O efeito direto mais claro ocorre sobre os mineiros que pas-
sam a sofrer no exercício da profissão os maiores reflexos
sobre as vias respiratórias, pele, olhos, etc.

Os depósitos exercem seus reflexos sobre a atmosfera respi-
rada pelos que estão na periferia do mesmo, através de emana-
ções sulfurosas ou das provenientes da autocombustão. O mes-
mo poderá ocorrer no transporte.

A atividade de geração elétrica via uso térmico, gaseificação
e outros poderá diminuir a qualidade do ar e da água,
ocasionando enjões, agressões às vias respiratórias, aos
olhos, problemas gástricos etc.

A exploração carbonífera descontrolada pode conduzir a modi-
ficações significativas no relevo, na regulação do regime
fluvial, no leito dos rios e em suas margens. Grande aten-
ção deve ser dada a curto prazo às cabeceiras do rio Jagua-
rão e a médio prazo às nascentes do rio Gravataí.

Sob a ação do processo de erosão poderemos ter uma certa
área totalmente alterada, isto é, a modificação dos perfis
dos cursos d'água através do transporte de materiais erodi-
dos e elementos químicos.

A sedimentação de partículas lançadas ao ar como na água ;
as alterações de regime hídrico causando inundações (os rios
Jacuí e Gravataí estão sujeitos a esses acontecimentos); a
percolação de líquidos até encontrar o lençol freático, mo-
dificando a qualidade da água subterrânea; a evaporação de
líquidos residuais alterando a salinidade do solo e o aco-
modamento das camadas do solo que, a nível de superfície ,

pode afetar rodovias, ferrovias e aglomerados humanos, entre outros, são efeitos sobre o meio que também devem ser considerados.

Além desses, a estabilidade das minas subterrâneas é uma constante preocupação e necessita uma vigilância permanente para detectar possíveis modificações. Nas minas a céu aberto é preocupação fundamental a estabilidade das escavações, devendo ser motivo de estudos e medidas corretivas de geomorfologia. Outro aspecto importante nesse campo é a estabilidade das pilhas dos depósitos de carvão, principalmente em áreas portuárias onde o lençol freático é alto e a resistência do solo, baixa (por exemplo, no Porto de Rio Grande).

Cuidados muito especiais devem ser dados à água, pois desse recurso se abastecem cidades, áreas produtivas primárias e a própria indústria. A água é utilizada em praticamente todos os estágios do uso do carvão e, por sua vez, sofre agressões também ao longo de todo o conjunto de operações. Na extração, no beneficiamento e na industrialização estão os maiores insumidores/contribuintes de água do sistema.

A zona do baixo/médio Jacuí situa-se a montante da região metropolitana de Porto Alegre, o que coloca o controle dos conteúdos mineral e orgânico do Rio em destaque e em permanente vigília. O mesmo se aplica à área de Candiota e arredores, que se situam nas cabeceiras do rio Jaguarão. Vale ainda a advertência para o rio Gravataí, ^{de onde} ~~de onde~~ se abastecem as populações de Vianão, Gravataí, Cachoeirinha, Alvorada e Canoas.

Outros fatores concorrem para a produção de efeitos adversos ao ambiente dos recursos hídricos, tais como: a elevação de temperatura da água de um corpo hídrico, em consequência de sua utilização como sistema de refrigeração, pode acarretar no meio uma diminuição de oxigênio dissolvido; a

evaporação acentuada em sistemas de refrigeração resultando em mudanças no microclima local, em acréscimo de umidade e aumento de chuvas; modificações físico-químicas gerando alterações de caráter biológico com diminuição de plâncton e bentos do habitat natural do curso d'água; o aumento de salinidade provocado pela introdução de sais minerais e orgânicos, a partir do carvão, além de síltes e particulados na água, através da decomposição de suspensões no ar ou por meio de resíduos líquidos, tende a criar uma camada sobre-nadante que impede a oxigenação da água e evita a entrada de raios solares.

Os efeitos na atmosfera podem manifestar-se como influências sobre o clima, limitada às áreas circunvizinhas e aos locais de uso do carvão, podendo gerar microclimas dependendo das condições locais, fundamentalmente, topográficas e meteorológicas. A ação da mineração a céu aberto modifica as condições das enxurradas ao eliminar áreas cobertas com vegetação, caso não haja reposição, produzindo variações sensíveis nas precipitações pluviométricas e na umidade do ar. A produção de cinzas volantes tem sido a área de maior preocupação ambiental nas atividades relacionadas ao carvão. Devido aos reflexos que produz no meio ambiente (smog, fogs, deposição) tornou-se elemento prioritário de atenção dos anuários do problema e deverão ser observadas atentamente.

A composição do carvão galeño apresenta significativa quantidade de compostos de enxofre que tendem a produzir odores durante a sua queima. A combustão espontânea nos depósitos efetuados sem maiores cuidados, ou a induzida por processos industriais, pode acarretar esse tipo de alteração ambiental, principalmente com carvões oriundos da bacia León/Bu-tiá. Os reflexos sobre a saúde humana como vômitos e mal-estar devem ser discutidos e observados atentamente.

Devido ao frágil equilíbrio em que vive o meio vegetal em

certas áreas do Rio Grande do Sul, os efeitos do uso do carvão sobre a flora podem assumir conotações regionais pecu-
liares e sérias.

Os possíveis efeitos sobre pastagens e plantações nas áreas do Rio Grande do Sul, um estado eminentemente agrícola, assumem importância singular e devem ser considerados em todas as circunstâncias. Outros efeitos expressivos aparecem através da deposição de particulados nas folhas de árvores, arbustos e ervas, diminuindo a ação fotossintética e mesmo causando a morte de certas espécies; resíduos líquidos des-
carregados nos cursos d'água e a deposição de partículas em suspensão no ar atingindo, sensivelmente, as plantas e ervas aquáticas e, de maneira muito especial, outras espécies, como algas, fungos, flagelados, fitoplâncton e a microflora ativa; por outro lado, a acidificação do solo através de compostos sulfurados, ocasionando transformações do conjunto.

Tal como ocorre com a flora, a fauna poderá sofrer problemas sérios caso não sejam tomadas as devidas providências quanto aos possíveis impactos do uso a curto prazo do carvão gaúcho.

Animais terrestres de grande ou pequeno porte, aves, animais domésticos, espécies anfíbias, peixes, crustáceos, espécies raras, insetos ou outros elementos da cadeia biológica poderão sofrer prejuízos significativos chegando mesmo, em casos extremos, a quebrar a cadeia com reflexos importantes na riqueza faunística do Rio Grande do Sul. Algumas espécies de grande consumo pelo homem poderão ser responsáveis pela transmissão de elementos (como metais) inclusive em áreas fora do perímetro carbonífero.

Mas, é preciso destacar que a Grã-Bretanha, país de diminutas dimensões quando comparada ao Brasil, produz cerca de 180 milhões de toneladas de carvão anualmente sem que as

condições ambientais sofram danos intoleráveis. Os Estados Unidos são um outro exemplo, produzindo 800 milhões de toneladas por ano de carvão.

7.2 - O Caso da energia nuclear no Brasil

A primeira usina nuclear brasileira, a central Almirante Álvaro Alberto, cuja concessão foi outorgada a Furnas - Centrais Elétricas S.A., subsidiária da Eletrobrás, iniciou sua operação em 1982, funcionando com 30% de sua capacidade (627MW).

A localização de usinas nucleares envolve uma série de condicionantes e de limitações ligadas a características do sistema elétrico, necessidade de água abundante para refrigeração, facilidade de transporte e manuseio de peças pesadas, proximidade de centros de consumo de energia (a fim de evitar a instalação de longas e dispendiosas linhas de transmissão de grande capacidade), condições de segurança dos operadores e das populações vizinhas, proteção ambiental. A usina de Angra I, por exemplo, tem localização relativamente privilegiada: situada no litoral, a meio caminho entre São Paulo e Rio, coloca-se estrategicamente entre os dois maiores centros consumidores de energia elétrica do País e parece atender a todas as demais condições citadas.

Em face da inexistência de dados nucleares no Brasil, passamos ao registro do aparato de proteção ao meio ambiente da usina nuclear de Angra I.

Estudos ambientais voltados especificamente para o levantamento dos sistemas ecológicos na área da Usina Nuclear de Angra I são realizados permanentemente por Furnas. Esses estudos visam a garantir que o micro-ecossistema mantenha-se químico, físico e biologicamente inalterado. (55)

Os estudos incluem levantamentos sócio-econômicos, meteorológico, hidrológico (terrestre e marinho), da biologia marinha, dos usos da terra e do mar e radiológico, este no Laboratório de Radioecologia, do Departamento de Engenharia Nuclear. O laboratório de radioecologia, localizado na Enseada de Piraquara de Fora, determina os níveis de radioatividade natural e artificial nas diversas fases da usina nuclear (construção e operação), mediante análises de amostras de peixes, algas, plânctons, sedimentos marinhos, areias de praia, leite, frutos, chuva e ar.

As constantes medições da radioatividade no campo complementam as análises, atendendo exigências da CNEB. Outra finalidade do Laboratório de Radioecologia, para estabelecer os níveis de referência para o estudo do efeito da descarga térmica, é a realização do censo de biologia marinha.

Na consideração dos efeitos causados sobre o ambiente aquático resultantes das descargas térmicas, a temperatura é uma variável importante que governa tanto os parâmetros físicos como os biológicos dos processos desses ambientes.

Aumentos elevados de temperatura do ambiente, da ordem de 7 a 8°C, serão experimentados por pequenos organismos, tais como fitoplâncton, zooplâncton, bentos, ovos e larvas de peixes e pequenos peixes, ao passarem através do sistema de refrigeração da Central Nuclear Angra I. Arrastados junto com a água de refrigeração, submetem-se a choques térmicos recebendo uma exposição térmica significativa, sobretudo durante os meses mais

quentes.

Existem determinadas espécies de peixes que preferem campos térmicos que geralmente são superiores àqueles encontrados nos seus habitats, durante os meses mais frios; o resultado é que o peixe é atraído para as proximidades das descargas térmicas nessas épocas. Devido a perda da capacidade de readaptação a temperaturas mais baixas, após aclimatados a temperaturas mais elevadas, uma possível parada do reator poderá ser responsável pela morte de grandes quantidades de peixes.

Os organismos arrastados através da estrutura de captação, e que são pequenos demais para serem impedidos de passar através das grades dessa estrutura, serão bombeados e, ao longo das tubulações, estarão expostos a danos mecânicos, choques térmicos e, algumas vezes, expostos também a descargas químicas que são liberadas na água de refrigeração.

A extensão da turbidez induzida pelas descargas térmicas variará consideravelmente de acordo com as condições de correntes e de marés. A turbidez é extremamente importante para os animais pelágicos, pois ela diminui a quantidade de luz, intensamente, impossibilitando ou limitando dessa forma a fotossíntese. Com isso, os nutrientes diminuem, possivelmente, para a fauna benthica e nectônica. Moluscos, por exemplo, poderão ingerir arcia ou outros sedimentos inertes e ainda terem várias partes do seu sistema filtrante obstruídas.

Uma fonte de mudanças ecológicas é a indução de novos padrões de corrente pelo fluxo de água descarregado pelo sistema de refrigeração sem reciclagem.

As distribuições de organismos marinhos estão intimamen

te relacionadas com a temperatura, correntes e gradientes de concentração. A captação e subsequente liberação de altas taxas de efluentes por dia inquestionavelmente causará uma alteração aos padrões existentes.

Além dos possíveis efeitos ecológicos causados pelas descargas térmicas acima citados, surge o problema trazido pela utilização de produtos químicos. A operação das unidades da CNAAA certamente exigirá a utilização de determinados produtos químicos, os quais serão liberados no sistema de refrigeração durante a operação normal. O cloro deverá ser utilizado frequentemente como agente biocida. O cobre, proveniente da contínua corrosão dos condensadores, também será liberado continuamente. Uma medida atenuadora é o levantamento de todos os produtos químicos liberados no sistema de refrigeração, seguido da monitoração frequente dos padrões da água de refrigeração em relação às percentagens permissíveis desses produtos na água do mar.

A avaliação dos impactos ecológicos provocados por usinas nucleares brasileiras fica restrito, portanto, aos possíveis efeitos das descargas térmicas no ambiente da central nuclear Almirante Álvaro Alberto, em virtude da inexistência de outros dados, conforme mencionamos anteriormente.

7.3 O Caso das Hidroelétricas

A comissão técnica de "Barragens e o Meio Ambiente" do Comitê Brasileiro de Grandes Barragens realizou, no triênio 1977-79, um levantamento, entre as empresas concessionárias de operação de reservatórios e as firmas projetistas de barragens, com relação a planejamento, projeto e operação de barragens e reservatórios, em âmbito nacional. (16)

Como resultado desse levantamento, a Comissão obteve um panorama atualizado da participação da Engenharia Ambiental, ^{RESERVA} solução dos problemas ecológicos e ambientais surgidos ou antecipados na operação de reservatórios no Brasil, e demais atividades que, nesse ramo, se integram na tecnologia de grandes barragens.

Foram recebidos, como resultado do levantamento, informações referentes a 204 barragens, das quais 176 são "grandes barragens" segundo o critério de ICOLD, 140 são barragens em operação, 22 em construção e 42 em projeto (data de referência: agosto de 1977). Essas informações versaram a respeito das seguintes especialidades: piscicultura, limnologia, saneamento, paisagismo e conservacionismo, sismologia, hidrologia e meteorologia, sócio-economia, e outras.

PISCICULTURA E PESCA

Na América do Sul tropical e subtropical (bacia dos rios Paraná e Uruguai) os peixes fluviais, autóctones, são migradores por excelência, atravessando consideráveis distâncias para desovar e para buscar alimentos. Os nossos peixes migradores, sob o ponto de vista da pesca, podem ser destruídos por uma simples barragem. (9)

Não, contudo, em determinados casos e circunstâncias, a possibilidade de construção de escadas de peixe, a fim de que os cardumes possam novamente ganhar o rio, a montante das barragens. Todavia, a principal dificuldade, muitas vezes, não é somente a possibilidade dos peixes adultos galgarem as escadas, rio acima, subsiste o problema da descida dos peixes migradores e dos peixes jovens, rio abaixo através das barragens e, até, das turbinas.

Finalmente, considerando este item, diferentes espécies de peixes (de escamas, de couro, de placas ósseas) re

querem diferentes tipos de escadas, ou requerem adaptações especiais nas escadas, com fluxo de água regular, como fonte de atração para a subida.

Pesquisas intensivas dedicaram-se à investigação do funcionamento de escadas de peixe. Os resultados revelaram sua eficiência até desníveis de 10 a 15m. Exemplos recentes são a barragem de Bom Retiro do Sul, no rio Jaquiri, e as barragens baixas construídas no rio Jacuí para providenciar condições seguras para a navegação. Todas as barragens integrantes do Plano de Desenvolvimento do Transporte Fluvial do Rio Grande do Sul são equipadas com escadas de peixe e o seu funcionamento é considerado satisfatório pela Portobrás.

Para barragens mais altas, e isto se refere à grande maioria das barragens brasileiras, o emprego de escadas de peixes se revelou inadequado. Não apenas existe a dificuldade de atrair-se os peixes à boca da jusante da escada, a não ser mediante a perda de volumes consideráveis de água do reservatório, mas também o fato da inclinação adequada da escada resultar num comprimento tal, que não pode ser vencido pelos peixes não acostumados a nadar saltando por distâncias longas, num canal relativamente estreito. A maioria das barragens brasileiras, especialmente as situadas nas regiões centro, leste e sul, são construídas em escada, isto é, a de Jusante alcança o sopé da barragem de montante formando na mesma bacia, uma sucessão de lagos. Se algumas delas possuem tributários de volume e extensão razoáveis, é possível a reprodução dos peixes nativos reófilos, que exigem águas correntes e velozes (ambiente lótico) para esse ato fisiológico. Caso contrário, o povoamento com espécies que se reproduzem em águas semi-paradas (ambiente lêntico) é a medida indicada, implantando-se estações de hidrobiologia e piscicultura.

Os mais sérios problemas encontrados pelos peixes, com relação às barragens são os seguintes:

1. Na época da "piracema", coincidente com as cheias e o calor, os peixes são atraídos pelo volume e velocidade das águas dos vertedouros, e tentam saltar para a subida; quando ocorre o fechamento das comportas, milhares de exemplares ficam retidos nos lagos e depressões do terreno de jusante, de onde não conseguem sair sozinhos, morrendo em grandes quantidades.
2. Nas proximidades da mesma época, quando dá-se o fechamento das comportas de montante e de jusante da usina, para manutenção, os peixes que foram atraídos pelas águas turbinadas ficam retidos no tubo de sucção, morrendo por asfixia em curto prazo.
3. Mudanças na ictiofauna (supressão ou extinção de algumas espécies e aumento e abundância de outras, assim como o problema e interrelações de novos peixes, num período de 10 anos ou mais, após o represamento). Em represas da CESP, de Furnas e da CEMIG, nos últimos 15-17 anos, já foi observado o desaparecimento de espécies nobres, como o dourado, a piracanjuba, a piapara, o pintado, o jaú e outras, e o incremento de espécies de segunda e terceira classes, mesmo indesejáveis, como lambaris, bagres, acarás e pirambébas e, inclusive, das temíveis piranhas. (Os ovos de piranhas são transportados nas penas dos patos e disseminados por estes ao longo dos rios).

LIMNOLOGIA

Próximo a aglomerações urbanas grandes e pequenas, frequentemente, as margens dos rios são aproveitadas para a descarga clandestina ou descontrolada de lixo, na expect

tativa de que o efeito natural de lavagem das cheias periódicas limpe esses depósitos de detritos. Se os detritos se acumularem em uma represa, os problemas aumentam substancialmente e se somam àqueles normalmente existentes em reservatórios devido à estratificação térmica e ao consumo de oxigênio dissolvido pela decomposição de matéria orgânica.

Em reservatórios grandes, a relação do volume afluyente de água fresca, rica em oxigênio dissolvido, com o volume de água represada, semi-estagnada, é pequena. De outro lado, manifesta-se pelo menos durante os primeiros anos após o enchimento, nesses reservatórios, uma demanda de oxigênio elevada, devido à decomposição da vegetação inundada. Dessa discrepância pode decorrer, facilmente, uma escassez de oxigênio dissolvido, que afetará a qualidade da água.

Com a decomposição progressiva da matéria vegetal e a consequente diminuição do seu volume, a deficiência de oxigênio vai sendo, pouco a pouco, vencida pelo processo natural de substituição do oxigênio consumido, até que o reservatório chegue ao equilíbrio bioquímico que, a partir daí, determinará a qualidade da sua água.

Dissolvidos e carreados pela água pluvial, o excesso dos fertilizantes não absorvidos pelas plantas chega ao reservatório, onde favorece o crescimento exagerado de algas. Se essa superprodução ultrapassa a capacidade consumidora da corrente trófica natural, o excesso das algas proliferadas em abundância começa a deteriorar-se, e se transforma em processo de eutrofização que, no seu estado inicial, favorece a multiplicação da fauna aquática. Quando, porém, avança além do equilíbrio natural, aumenta a demanda de oxigênio, cuja crescente deficiência pode, se o processo continuar por período prolongado, re-

sultar no desaparecimento de qualquer vida do reservatório e na perda de toda capacidade autodepuradora da água.

SANEAMENTO E SAÚDE

Os estudos ambientais prévios, no que se refere à saúde, destinam-se a investigar a existência de focos de doenças endêmicas na região, a ocorrência de vetores, transmissores ou hospedeiros, na área do reservatório, e se existem ou existirão condições favoráveis para sua proliferação. A questão quanto à possível transmissão das doenças só pode ser respondida por investigações locais muito cuidadosas, pela pesquisa do ciclo vital dos vetores e hospedeiros e do ambiente por eles preferido, e pela comparação dos resultados desse estudo com as condições ambientais que oferece ou oferecerá o reservatório. Sabe-se que várias das doenças que se transmitem direta ou indiretamente através da água, se propagam, genericamente falando, no rumo norte-sul, no continente sulamericano. Mesmo onde não são encontrados os vetores ou hospedeiros de uma determinada doença, é suficiente a existência de seu habitat favorável, para existir um perigo latente. É esta a razão pela qual os estudos ecológicos incluem o exame da possível propagação de determinadas doenças endêmicas, mesmo em regiões das quais não há notícia da existência de focos.

Para evitar-se a propagação de doenças cujos vetores vivem ou se multiplicam em ambiente aquático, como a malária, a esquistossomose, a oncocercose e outras, a interrupção do ciclo transmissor é a medida mais promissora, além da eliminação dos focos de doenças propriamente ditos, mediante a cura dos pacientes e a melhoria das condições higiênicas.

O ciclo transmissor pode ser interrompido por meios que

ou eliminam diretamente os vetores e hospedeiros, ou destroem ou alteram o habitat preferido pelos mesmos. Para isto oferece-se, como método natural e mais eficaz a longo prazo, o controle biológico. Normalmente ele é, não apenas o mais barato mas, sobretudo, o procedimento que gera o menor número de efeitos secundários, ecologicamente prejudiciais. O povoamento do reservatório com espécies de peixes e anfíbios que se alimentam de insetos, seus ovos e larvas, de caramujos hospedeiros ou de água-pés, nos quais se proliferam os vetores, é um meio permanente que, uma vez adotado, funciona automaticamente sem custos adicionais posteriores ou necessidades de manutenção, enquadrando-se no equilíbrio ecológico.

Enquanto o controle biológico é um método principalmente adequado para afastar-se ou, pelo menos, reduzir-se o perigo da introdução e propagação de doenças endêmicas em reservatórios situados em regiões não afetadas pelas mesmas, o saneamento de represas já infectadas exige medidas de ação mais rápida. Nesses casos, será necessário o emprego de substâncias químicas para eliminar os vetores ou hospedeiros e destruir o seu habitat.

Contrariando as recomendações de alguns consultores, a favor do emprego de inseticidas e herbicidas, a grande maioria dos estudos realizados chega à conclusão que, sempre que possível, deve-se dar preferência ao controle biológico, sobre o emprego de substâncias químicas. Devido à sua toxicidade e aos seus inevitáveis efeitos secundários, estas sempre devem ser consideradas como o último recurso a ser aplicado, apenas em caso de absoluta necessidade. Seu emprego não apenas exige recursos financeiros e operacionais mas, sobretudo, quando usadas repetidamente, perdem o seu efeito, sucessivamente, devido à seleção natural e desenvolvimento de espécies resistentes.

PAISAGISMO E CONSERVACIONISMO

A inundação de vastas áreas agrícolas, o deslocamento de cidades e pequenas vilas, a necessidade de relocação de rodovias e ferrovias, o desmatamento de bacias, a modificação do ambiente fluvial com a conseqüente intervenção na fauna aquática exigem, em contrapartida, o oferecimento de condições outras que, sob o ponto de vista sócio-econômico, compensem as perdas que o barramento do canal original ocasiona.

O equilíbrio ecológico nas áreas de construção de uma barragem é totalmente destruído pelas escavações, instalação dos canteiros industriais, alojamentos e escritórios, estradas, bota-fora, exploração de pedreiras e de áreas de empréstimos, sem contar a movimentação constante de veículos pesados e da massa humana que ali se instala com todos os seus hábitos predadores conhecidos.

O problema mais sério diz respeito às áreas de empréstimo, nos casos em que se optou pela construção de volumosas barragens de terra. A retirada de argila, normalmente sem a reposição do solo fértil superficial, deixa, durante longos anos após a construção, extensas "áreas queimadas", de difícil recomposição, como é comum verificar-se em usinas hidroelétricas com até mais de dez anos de funcionamento, dada a dificuldade de recuperação natural dessas glebas de superfície desmatada, sujeitas à erosão nas estações chuvosas e formação de ravinas e voçorocas ameaçadoras. O armazenamento de camadas superficiais de solo impróprio para a construção de barragens e sua posterior reposição possibilitará o plantio de gramíneas e/ou leguminosas, que contribuirão para a cobertura vegetal dessas áreas, permitindo o necessário reflorestamento em condições mais apropriadas.

A preservação da mata ciliar da bacia formada pelo reser

vatório é outro ponto de difícil solução, dadas as características de exploração dos proprietários liadeiros, que utilizam o terreno para fins agrícolas ou pecuários até a linha da água, mesmo nas épocas de vazante, prática esta que impede a recomposição natural e dificulta o plantio de mata ciliar protetora.

O cultivo anual dessas áreas ou o seu uso para pastoreio vem se constituindo em grande inconveniente para a preservação do lago formado, não somente pelo arrastamento contínuo das camadas superficiais do solo, tão necessárias como proteção contra erosões, como também pela contaminação de suas águas pelos defensivos agrícolas e fertilizantes aí utilizados, os quais são, nas regiões rurais, os principais responsáveis pela poluição e possível eutrofização dos reservatórios.

Os fenômenos causados pela erosão aparecem, de forma mais visível, logo depois do início da operação dos reservatórios. Com o decorrer do tempo, as superfícies das áreas de empréstimo e de botafora começam a ficar gradativamente protegidas pelo crescimento, embora lento, de uma flora silvestre, e barrancos instáveis das margens do reservatório, depois de erodidas pela ação das ondas, tendem a tornar-se mais estáveis. Este processo é parte da adaptação natural, da área do reservatório, a um novo equilíbrio físico e ecológico. Nos casos de reservatórios mais antigos esse equilíbrio já foi atingido ou, pelo menos, o processo de adaptação avançou tanto que erosão e assoreamento já ficaram menos notáveis. De outro lado houve um acelerado desenvolvimento de atividades agropecuárias, durante as duas últimas décadas. O consequente desmatamento e aproveitamento das terras, com uma certa preferência para áreas marginais de represas novas, que por várias razões estimulam o desenvolvimento agropecuário, aumenta, às vezes consideravelmente, a erosão

ao longo das margens.

Problemas de erosão foram relatados, entre outros, nos reservatórios de Capivari (Usina Parigot de Souza), Copin (Usina Júlio de Mesquita Filho), Jurumirim (Usina Armando A. Laydner), Xavantes, Salto Grande do Paranapanema (Usina Lucas Rogueira Garcez), Capivara, Caconde, Paraiibuna, Furnas, Puni1, Passo Real e Salto Grande do Rio Santo Antonio/Guaanáes.

Este último é um reservatório relativamente pequeno, de apenas 70 milhões de m³ de volume, e de 0,24 km² de superfície máxima. Sua operação foi iniciada em 1958. O volume de areia carreado para o reservatório chegou a valores máximos de cerca de 80.000 m³ por mês, e começou a comprometer o funcionamento da usina. A dragagem então iniciada melhorou as condições de operação da usina, mas o problema de assoreamento continua, devido às características geológicas e de uso da terra da bacia de captação, fora do alcance da empresa concessionária.

Num caso extremo, nas áreas de empréstimo utilizadas para a construção da barragem de Parigot de Souza, o processo de erosão laminar chegou à espessura de 10cm de solo por ano. A solução, aplicada com sucesso, foi a plantação de grama pelo processo de hidrosemeadura e o reflorestamento com espécies rústicas. Com base nessa experiência, o mesmo procedimento está sendo adotado para evitar-se a erosão e o assoreamento resultante no reservatório de Foz de Areia, no rio Iguaçu.

A necessidade ou não de desmatar-se a área de inundação é assunto de discussão, há tempo. Tanto por razões econômicas, quanto por motivos de piscicultura e pesca, navegação e precaução contra a proliferação de doenças endêmicas transmitidas por vetores aquáticos e proteção da usina, prefere-se o "desmatamento zoncado". Esse procedimen

to restringe o desmatamento à remoção completa de todas as árvores e arbustos, de áreas limitadas dentro do reservatório, determinadas em função das necessidades de operação da usina, da navegação, da pesca e da proteção de núcleos habitacionais. Dado que grandes volumes de vegetação permanecem na área a ser inundada, e apodrecerão após o enchimento do reservatório, assim a adoção desse critério depende da possibilidade da operação plena e praticamente contínua dos vertedouros, pelo menos, durante os primeiros anos após o início do represamento, para repor o conteúdo necessário de oxigênio na água descarregada no trecho fluvial de Jusante da barragem. Essa condição é normalmente preenchida, pois as usinas, via de regra, começam a funcionar com poucas unidades, e leva-se bastante tempo para se completar a instalação de toda a sua capacidade geradora. Consequentemente, durante os primeiros anos, o excesso não aproveitável das vazões é descarregado pelos vertedouros.

Onde e quando isso não for possível, existe o perigo sério de uma completa degradação da qualidade da água, tanto dentro do reservatório, quanto a Jusante da barragem, com consequências desastrosas para a vida animal e humana e para o próprio equipamento da usina, pelas substâncias agressivas e venenosas dissolvidas na água.

SISMOLOGIA

Faz cerca de 50 anos que se começou a observar e investigar os fenômenos de atividades sísmicas provocadas pelo represamento de rios. Se as primeiras informações não registraram ocorrências preocupantes, a situação mudou de repente, quando, durante a década dos sessenta, ocorreu uma série de desastres, todos eles presumivelmente vinculados a atividades induzidas pelo enchimento de reservatórios situados em regiões até então consideradas inativas. Desses acontecimentos resultou, em várias partes do

mundo, uma intensificação considerável de observações, investigações e pesquisas ligadas ao fenômeno, com o conseqüente aumento das publicações referentes ao assunto.

As ocorrências mundialmente mais conhecidas, que apresentaram conseqüências desastrosas, são as seguintes:

- Vajont (Itália)

O vale do Vajont situa-se aos pés do Monte Toc, na parte sul dos Alpes. Durante o enchimento inicial do reservatório, em 1960, foram observadas as primeiras atividades sísmicas, vinculadas a um movimento do solo superficial, de alguns metros, numa das margens da represa. Mais tarde, no mesmo ano, a água subindo no reservatório causou o primeiro escorregamento de grande escala de um maciço rochoso, devido à instabilidade da encosta. Logo em seguida abaixou-se o nível do reservatório.

Em 1961, a represa foi enchida pela segunda vez, quando novamente se registraram movimentos superficiais, acompanhados por ligeira atividade sísmica.

Um aumento considerável desses tremores foi observado durante o terceiro enchimento, em 1963. No início de setembro desse ano chegou ao seu máximo. Quando começaram fortes movimentos superficiais nas suas margens. Um mês depois, escorregou um volume de cerca de $250 \times 10^6 \text{ m}^3$ de rocha para dentro da represa, causando um terremoto de magnitude 5,0 (escala Richter) e, em virtude do transbordamento de água sobre a barragem (que ficou em pé), uma enchente catastrófica resultou na morte de centenas de pessoas.

- Koyna (Índia)

A barragem está situada numa das áreas de menor importância sísmica de mundo. O enchimento do reservatório começou em 1962 e no meio do ano o reservatório estava parcialmente cheio. Os primeiros tremores leves foram sentidos alguns meses mais tarde, em 1963.

O nível máximo do reservatório foi atingido em 1965, quando já haviam sido instalados alguns sismógrafos. Dois fortes tremores foram sentidos em setembro de 1967 e um tremor forte de magnitude 6.4, ocorreu no mês de dezembro desse mesmo ano, que resultou na morte de 177 pessoas e no ferimento de outras 2.300, destruindo grande parte da vila de Koyna Naga.

O epicentros do terremoto se situaram nas proximidades do reservatório ou dentro da sua área. Nenhuma falha geológica havia sido mapeada, mas a maioria dos geólogos indianos crê na existência de uma falha naquela região, que não havia sido detectada.

O território brasileiro é geralmente considerado de pouca atividade sísmica. Porém, mesmo assim, vários autores pesquisaram a sismicidade natural do País, que, segundo os resultados publicados, concentra-se principalmente em três regiões: a zona fronteira centro-oeste, localizada na região Andina; o nordeste brasileiro, e uma faixa ao longo da costa centro-sul, desde o sul de Minas Gerais e os Estados do Rio de Janeiro e São Paulo, até o norte do Rio Grande do Sul.

Justamente nesta última existem vários reservatórios, nos quais, durante o enchimento, foram observadas atividades sísmicas aparentemente relacionadas ao seu represamento.

A partir de 1919, 77 casos de sismicidade natural reduzi

da foram notados em todo o território brasileiro. Naquele ano, a mais conhecida e importante atividade sísmica ocorreu na cidade de Bom Sucesso, Minas Gerais, próxima da atual barragem de Cajuru, cuja operação foi iniciada em 1953.

A geologia da região mostra inúmeras falhas geológicas nas vizinhanças, mas muito poucas na área do reservatório de Cajuru. Uma recente pesquisa aeromagnética da região comprovou a existência de anomalias geológicas ao longo de 600km de extensão, bem próximas de Bom Sucesso e Cajuru.

A partir de dezembro de 1970, recomeçaram as atividades sísmicas em Cajuru, com novos tremores que ocorrem todos os meses, e cujos epicentros são localizados num raio de 15km da barragem de Cajuru. As magnitudes têm variado entre 3.0 e 4.0.

Em outubro de 1971, o reservatório esteve no seu nível mais baixo, e em janeiro de 1972, subindo rapidamente, ele ficou apenas a 1,5m abaixo do seu nível máximo.

Em janeiro de 1972 foi registrado o tremor mais forte, atingindo a magnitude de 4.7. Desde então, a atividade sísmica decresceu de intensidade, de fevereiro até setembro, tendo crescido e decrescido novamente em dezembro do mesmo ano. Ainda não foi possível estabelecer-se uma correlação entre os movimentos sísmicos em Cajuru e a variação do nível de água no reservatório.

Na mesma região, tremores locais foram observados desde 1973 até datas recentes, no curso médio-inferior do Rio Grande, na divisa entre Minas Gerais e São Paulo. Nesse trecho, foram construídas as barragens de Porto Colômbia, Volta Grande e Marimondo, concluídas em 1973, 1974 e 1975, respectivamente.

durante o mês de março de 1971, informou-se da ocorrência de tremores na vizinhança do reservatório de Capivari-Cacoeira, cerca de 50km a nordeste de Curitiba, quando o mesmo foi enchido pela primeira vez.

Em 1976, a ocorrência de atividades sísmicas locais foi observada durante o enchimento do reservatório de Capivara, no rio Paranapanema, na divisa entre São Paulo e Paraná, e o mesmo ocorreu em 1977, quando começou o represamento do rio Paraibuna pelas barragens de Paraibuna e Paratinga, situadas a cerca de 100km a nordeste da cidade de São Paulo.

Investigações mediante o processo de auscultação sísmica estão sendo desenvolvidas no Brasil, há poucos anos, por empresas internacionais e brasileiras. Assim é que foram instaladas estações sismológicas em Cajuru, Capivara, Água Vermelha, Piraitinga e Itumbiara, existindo projeto para sua instalação em Itaipu e Sobradinho.

Para os reservatórios de Marimbondo e Porto Colômbia, face a ocorrência de microsismos próximos de Porto Colômbia e Volta Grande, foi instalado, a exemplo de Itumbiara, um sistema sismológico permanente de cinco estações, ao longo dos reservatórios de Marimbondo e Porto Colômbia. A atividade sísmica é captada por sismômetros e registrada em papel.

Um estudo da potencialidade sísmica, como parte de um estudo global do impacto ambiental, para a futura implantação de barragens e reservatório de Porto Primavera, no rio Paraná, a jusante da usina hidrelétrica de Jupia, está sendo realizado por um consórcio de empresas nacionais. Para outros projetos futuros, a CESP contratou serviços semelhantes, também, com consórcios nacionais.

HI DROLOGIA E METEOROLOGIA

Desde a implantação das primeiras barragens, o dimensionamento dos vertedouros, como elemento de segurança, foi considerado um dos itens mais importantes de projeto. Durante muitos anos, porém, toda atenção foi dirigida exclusivamente à descarga segura da cúbica máxima prevista, sem muita ou nenhuma preocupação com as consequências dessas "enchentes artificiais" para o vale, a jusante da barragem. A inclusão do trecho do rio a jusante da barragem nos estudos hidrológicos é prática recente e ganha em importância com os estudos globais de impacto ambiental, que estão se tornando regra no projeto de novas barragens em todo o mundo.

Com o desenvolvimento econômico do País e o aumento do aproveitamento de suas terras, matas virgens estão se transformando em pastos e plantações, e terras cultivadas em regiões urbanas e suburbanas. Essas transformações mudam substancialmente as condições naturais de escoamento superficial e a capacidade de retenção, pelo solo, das águas pluviais. Assim, as modificações introduzidas pelo homem, no aproveitamento das terras, influenciam diretamente as condições de formação das cheias, aumentando o seu volume e diminuindo a sua duração. Por isso, torna-se cada vez mais importante a verificação periódica da suficiência da capacidade dos vertedouros das barragens mais antigas, sob o ponto de vista hidrometeorológico, com consideração especial das alterações ambientais ocorridas na sua bacia hidrológica.

Além de criar o desnível necessário para a geração de energia elétrica, finalidade principal da maioria das barragens brasileiras, o represamento proporciona a possibilidade de adaptar o ciclo hidrológico do rio às necessidades da produção, mediante a manipulação das des

cargas. Qualquer que seja o emprego da água represada, o seu armazenamento temporário, para poder-se dispor dela independentemente da oferta natural do rio, é uma finalidade comum a todos os represamentos.

A interrupção do fluxo natural resulta em vários fenômenos que, dependendo das condições climáticas do local, da utilização da água e do ritmo da operação do reservatório, ganhar maior ou menor destaque nas investigações hidrológicas que antecedem o projeto da barragem.

Nas regiões secas do nordeste brasileiro muita importância deve-se dar à evaporação, já que nessa região um grande número de barragens foi construído com a finalidade única de acumulação de água para fins de irrigação.

Em rios aproveitados para o transporte hidroviário, o assoreamento do reservatório merece uma investigação especial, pois, além da diminuição da capacidade de armazenamento da represa, a acumulação exagerada de matéria sólida no seu fundo pode prejudicar física e economicamente a navegação. Por outro lado, a retenção de matéria sólida em suspensão, no reservatório, pode aumentar a energia de fluxo no trecho a jusante da barragem, provocando erosões no leito e nas margens do rio, que podem afetar as condições de navegabilidade. Se esses fenômenos forem devidamente considerados, porém, o represamento "em escada" proporciona um meio muito eficaz para melhorar as condições de navegabilidade do rio ou, mesmo, torná-lo navegável, se antes não o era.

Algumas barragens foram construídas para diminuir a salinidade de corpos de água superficial ou subterrânea, alimentados por água doce em regiões costeiras. O exemplo, mais conhecido é a barragem de São Gonçalo, no Rio Grande do Sul, que interrompe a comunicação da Lagoa Mirim com a Lagoa dos Patos, impedindo a penetração da língua salina na primeira e proporcionando a sua dessalinização.

Nos casos em que o represamento de um rio possa, de qualquer forma, afetar a ecologia extremamente sensível das águas estuarinas, tornam-se indispensáveis investigações e observações cuidadosas da influência das alterações que ele poderá provocar, e das suas consequências e efeitos. Não há conhecimento de estudos dessa natureza realizados no Brasil; a experiência no exterior, porém (por exemplo no rio Nilo, em consequência da construção da barragem de Assuan), coloca a necessidade desse estudo fora de qualquer dúvida.

SÓCIO-ECONOMIA

As campanhas de assistência social, na relocação dos habitantes da área do reservatório, realizadas pouco antes do seu enchimento, já se tornaram rotina, há muito tempo. Mas os recentes estudos das consequências sócio-econômicas da implantação de grandes reservatórios deixaram bem claro que, com essa assistência e o pagamento das indenizações por propriedades e benfeitorias inundadas, resolve-se apenas uma parte dos problemas que surgem para a população atingida. Mesmo o planejamento e a providência de possibilidades de aquisição de novas terras na região, que permitiram aos pequenos proprietários indenizados a continuidade da vida a que estavam acostumados, atendem, somente, às necessidades de uma determinada categoria das famílias deslocadas.

Os investidores e donos das grandes propriedades inundadas recebem indenizações que, via de regra, os colocam em condições de imediatamente aplicar essas quantias em bens equivalentes, seja dentro ou fora do ramo das atividades econômicas que até então vinham exercendo.

Um aspecto diferente, porém, é a situação dos empregados que trabalhavam nas grandes propriedades rurais atingidas pe

la inundação. Portanto, um dos problemas sérios que ocorrem frequentemente é o reassentamento dos trabalhadores assalariados da agricultura. Normalmente, todos os membros de uma família, em idade ativa, participam dos serviços e, frequentemente, a moradia é gratuita, como parte da remuneração do trabalho familiar. Além disso, essas pessoas, devido a pouca instrução que receberam, dificilmente podem ganhar a sua vida em outras atividades. Elas estão intimamente vinculadas ao tipo e ao local do emprego. Com a inundação das terras em que trabalhavam, essas famílias perdem o emprego, a habitação e o ambiente a que se acostumaram e, com isso, as bases da sua vida. Como não eram proprietários das terras em que moravam, não recebem indenização alguma. O seu reassentamento em povoados novos, mesmo se as coisas forem postas gratuitamente à sua disposição, é inútil, porque falta-lhes qualquer condição de emprego. A sua absorção por outras propriedades rurais da região é extremamente difícil, se não impossível, pois cada uma dessas propriedades já conta, normalmente, com o número necessário de famílias para o seu serviço permanente.

sem assistência efetiva para enquadrar-se numa nova, ^{de trabalho} essas famílias quase que infalivelmente acabam por integrar-se na massa migratória que procura sobrevivência nas cidades grandes, sem lograr, na maioria dos casos, encontrá-la.

Com base na má experiência do passado, e objetivando livrar essas famílias de um destino amargo, de que não têm culpa, foram, formuladas, recentemente, propostas no sentido de proporcionar cursos de treinamento cuidadosamente preparados e adaptados às particularidades regionais. Mediante esse treinamento, pretende-se preparar os indivíduos atingidos para o exercício de outros afazeres, tendo-se em vista, especificamente, as novas atividades que resultarão, direta ou indiretamente, da implantação da

barragem e do reservatório.

Cabe mencionar, finalmente, que os projetos de caráter sócio-econômico não se concluem com a sua implantação. Após o reassentamento da população relocada, continua a necessidade de assistência técnica e social, para facilitar a adaptação às novas condições. A experiência indica que essa adaptação demanda bastante tempo. As alterações bruscas, mesmo com a intenção de introduzir melhorias desejáveis, podem resultar no fracasso do projeto. Por isso, a sua chance de sucesso cresce com a cautela que se adotar na sua elaboração e implantação.

Um significativo exemplo de um programa sócio-econômico dessa natureza, é o projeto de reassentamento de 4.000 famílias do reservatório de Sobradinho, na Bahia. Foram estudadas diversas áreas daquele estado, tendo sido considerados todos os fatores que poderiam influir no sucesso do projeto: características climáticas, capacidade de produção de solos, grau de ocupação das terras, viabilidade de abastecimento, comercialização da produção, infra-estruturas a implantar e existentes, aspectos culturais e educacionais, etc. Todos esses fatores analisados conjuntamente, levaram à opção pela área de Pitubás, localizada no município de Bom Jesus da Lapa, na Bahia, para o reassentamento da população atingida, com amplo programa assistencial, patrocinado pela CUBSF.

Programas semelhantes acham-se em estudos para várias outras grandes barragens, atualmente em projeto ou construção, tais como: Itaipu e Porto Primavera, no rio Paraná, Rosana, no Paranapanema, Nova Avanhandava e Três Irmãos, no Tietê, e Tucuruí, no rio Tocantins. Nesse último projeto, é mais complicado, pelo fato de que parte das terras de duas reservas indígenas será atingida pela inundação. Neste caso, caberá à FUNAI cuidar dos problemas resultantes e da salvaguarda dos interesses das tribos envolvidas.

7.4 Principais Parâmetros de Comparação

Escolha dos Parâmetros

Foram escolhidos parâmetros mais representativos e passíveis de serem usados no estudo comparativo, de modo que as diferenças fundamentais entre as últimas consequências no ambiente, ou melhor, as alterações promovidas na água, no ar, no solo e na saúde pública fossem colocadas em foco.

Dado que as fontes térmicas e hidráulicas afetam o ambiente de maneira totalmente diversa, exceto em termos de riscos à população envolvida, procuramos identificar, entre os vários parâmetros relacionados no item 2.4, aqueles básicos que possibilitassem obter resultados quantitativos no período 1985-2020, a saber:

1. Danos à terra (volume de material movimentado) provocados pela mineração.
2. Liberações rotineiras de usinas termoeletricas (poluentes e radioatividade).
3. Quantidade de resíduos da operação de usinas termoeletricas (carvão e urânio).
4. Alterações ambientais (descarga térmica na água ou na atmosfera) provocadas por usinas termoeletricas.
5. Acidentes (riscos de vida e fatalidades) em usinas termoeletricas e hidroeletricas.
6. Acidentes no transporte de materiais radioativos.

Descrição dos Cálculos

Nesta secção são apresentados os dados de entrada para

os cálculos programados:

1. Danos à terra (volume de material movimentado) provocados pela mineração.

Já sabemos que o prejuízo causado à terra pela extração do minério, seja de Urânio, seja de Carvão, é consequência das técnicas normalmente empregadas (mineração a céu aberto ou mineração subterrânea). Esse impacto é medido através do volume de material movimentado em uma mina a céu aberto ou uma mina subterrânea, ou seja, rochas, contendo o minério mais a camada de estéril, em m^3 /ano, baseado na necessidade anual de minério (combustível) de uma usina de 1.000Mwe. Os dados básicos são:

a) Mineração de Urânio para 1000Mwe de geração nuclear :

- . necessidade anual de U_3O_8 para uma usina (PWR) de 1000Mwe (fator de carga: 0,7; número de horas no ano: 6.132) - 130t
- . densidade média da rocha de Urânio - 1,5t/ m^3
- . teor de Urânio da rocha de Poços de Caldas - MG (mina a céu aberto) - 0,09%
- . necessidade anual de minério de Urânio (contendo 0,09% de U_3O_8) - 144.000t
- . volume de minério (rocha de Urânio) movimentado a céu aberto - 96 m^3 /ano
- . volume de escavação da mina de Poços de Caldas (rocha + estéril) - 85x10⁶ m^3
- . reserva de U_3O_8 da mina de Poços de Caldas - 21800t
- . volume total (rocha + estéril) movimentado - 507 m^3 /ano

Fonte dos dados principais: NUCELEBRÁS, CPMR, IPEA

b) Mineração de carvão

Tornou-se a mineração de Candiota como referência, tendo em vista o fato que ali se encontram as maiores reservas brasileiras de carvão para potencial uso termoeletrico.

. Dados do carvão Candiota-RS :

espessura da camada útil de carvão (duas camadas de 2m cada) - 4m

espessura da camada estéril (uma camada superior de 7m e outra, intermediária às duas de carvão, de 0,8m) - 7,8m

Densidade do carvão - $1,1t/m^3$

Teor de cinzas - 52,0%

Teor de enxofre - 2,9%

. Dados da usina termoeletrica de 1.000MWe :

eficiência do precipitador eletrostático - 99,5%

Consumo de carvão - $1t/u/MWe$

Fator de carga - 0,7

Número de horas de operação anual - 6132 (8760x0,7)

Consumo anual de carvão - 6.150.000t

. Volume de carvão movimentado :

Volume de estéril movimentado - $42.053m^3/ano$

. Volume total (rocha + estéril) movimentado - $47.623m^3/ano$

Fonte dos dados principais : LCN, ELC.

2. Liberações rotineiras de usinas termoeletricas (poluentes e radioatividade).

As liberações rotineiras, ou taxas de descarga de SO₂ e cinzas de carvão, em t/ano, e Kr-85, Xe-133 e I-131, de usinas nucleares, em Ci/ano, são comparadas através dos volumes de ar, em m³, requeridos para a sua diluição -- determinados nos padrões americanos (EPA e NRC) para o ar ambiente, adotados em nossos cálculos.

a) Liberação de poluentes de uma usina termoeletrica de 1.000Mw.

- a1) Emissão de SO₂ da chaminé da usina
 - . Massa de enxofre formada na combustão (por tonelada de carvão queimado) - 29kg/h ou 178t/ano
 - . Massa de SO₂ formada na combustão (massa atômica de SO₂ = 64g) - 350t/ano
 - . Volume de ar requerido para a diluição de SO₂ (padrão adotado : 80µg/m³) - 4,5x10³x10⁹m³

- a2) Emissão de cinzas pela chaminé da usina
 - . Massa total de cinzas formada na combustão (por tonelada de carvão queimado) - 520kg/h ou 5.225t/ano
 - . Emissão de cinzas pela chaminé da usina - 11t/ano
 - . Volume de ar requerido para a diluição das cinzas (padrão adotado : 75µg/m³) - 1,47x10²x10⁹ m³

Fonte: Conselho Estadual de Energia (RS)

b) Liberação de radioatividade de uma usina nuclear (PWR) de 1.000Mw

- b1) Emissão de Kr-85 e Xe-133
 - . Descarga de Kr-85 e Xe-133 - 16Ci/ano

- . Volume de ar requerido para diluição (padrão adotado: $5 \times 10^5 \text{ pCi/m}^3$) - $0,655 \times 10^9 \text{ m}^3$
- 12) emissão de I-131 (inalado) pela chaminé da usina-inalado

- . Descarga de I-131 (inalado) - $0,15 \times 10^{-5} \text{ Ci}$
 $0,15 \times 10^{-5} \text{ Ci/ano}$

- . Volume de ar requerido para diluição (padrão adotado: 100 pCi/m^3) - $1,5 \times 10^{-5} \times 10^9 \text{ m}^3$

- 13) emissão de I-131 pela chaminé da usina - ingerido

- . Descarga de I-131 (ingerido) - $0,15 \times 10^{-5} \text{ Ci/ano}$

- . Volume de ar requerido para diluição (padrão adotado: $0,14 \text{ pCi/m}^3$) - $1,06 \times 10^9 \text{ m}^3$

Obs.: O fator de 700 é aplicado ao padrão para I-131 (inalado), levando-se em conta a reconcentração via ingestão (or-pastagem-leite).

Referência : TEBBIL, JARWARD e LEGGET. (58)

- 3. Quantidade de resíduos de operação de usinas termoeletricas (carvão e urânio)

O resíduo sólido da combustão de carvão, as cinzas retidas no precipitador eletrostático e as depositadas no "cinzeiro" da grelha, é medido em m^3/ano e comparado com o volume de resíduo sólido das usinas nucleares (resíduo da operação do reator e resíduo do reprocessamento).

- a) Resíduo sólido da combustão de carvão (usina de 1.000 MWc)

- al) Volume de cinzas retidas no precipitador -
 $2,013 \text{ m}^3/\text{ano}$

- a2) Volume de cinzas depositadas no "cinzeiro" da grelha - $2000 \text{ m}^3/\text{ano}$

Fontes : Conselho Estadual de Energia (RES)

b) Resíduo sólido de um PWR de 1.000Mwe

- a1) Volume de resíduo sólido da operação do reator
 $141,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{ano}$
- a2) Volume de resíduo sólido do reprocessamento
 $2,63 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{ano}$

Fontes: NUCLEBRÁS, GENERAL ELECTRIC COMPANY

4. Alterações ambientais (descarga térmica na água ou atmosfera) provocadas por usinas termoeletricas.

Essa descarga térmica no ambiente é promovida pelo sistema de resfriamento da usina, seguindo quatro diferentes métodos. Como no Brasil há disponibilidade de água, as usinas nucleares deverão utilizar o ciclo aberto ("once-through") ou a torre de resfriamento, mediante o aproveitamento da água do mar. Em regiões onde a água não se encontra tão disponível, o calor residual da usina é dissipado na atmosfera usando-se o ciclo fechado ("dry-cooling tower") ou uma torre seca do tipo "radiador". As usinas a carvão instaladas no sul do País, por exemplo, as do complexo de Candiota utilizam estes dois sistemas de resfriamento. As descargas térmicas (na água ou na atmosfera) são calculadas em Gcal/h ou GW_t/ano.

- a) Descarga térmica de uma usina a carvão de 1.000Mwe
 1280 Gcal/h ou $9 \text{ GW}_t/\text{ano}$
- b) Descarga térmica de um PWR de 1.000Mwe
 1920 Gcal/h ou $14 \text{ GW}_t/\text{ano}$

Fontes : ELC, SABCOQUE, NUCLEBRÁS, WESTINGHOUSE

5. Acidentes (riscos de vida e fatalidades) em usinas termoeletricas e hidroeletricas.

Com respeito aos possíveis acidentes de usinas (nucleares, convencionais e hidroeletricas), procuramos considerá-las em termos de sua probabilidade de ocorrência. Na comparação das probabilidades de acidentes, foi necessário normalizar as suas consequências, isto é, avaliar as implicações (riscos de vida e fatalidades) e a extensão dos acidentes por MWe.ano instalado, com base na energia produzida por usinas de 1.000MWe.

Consideramos, como exemplos típicos desses acidentes, os seguintes casos:

a) Acidente no transporte de carvão

- . Colisão trem unitário de carvão x trem de passageiros :

Probabilidade anual : 3×10^{-8} (carvão 1)

Fatalidades : 10×10^{-5} - 50×10^{-5} .

- . Colisão trem unitário de carvão x trem unitário de materiais perigosos (em um túnel) :

Probabilidade anual : 10^{-11} (carvão 2)

Fatalidades : 500×10^{-5} - 600×10^{-5}

b) Acidente nuclear

- . Acidente sério em um reator nuclear

Probabilidade anual : 10^{-8} - 10^{-9} (nuclear 1 - nuclear 1')

Fatalidades num período de 30 a 40 anos :

1×10^{-3} - 100×10^{-3}

- . Acidente catastrófico em um reator nuclear

Probabilidade anual : 10^{-10} - 10^{-12} (nuclear 2 - nuclear 2')

Fatalidades (imediatas) : 10×10^{-3} - 500×10^{-3}

Fatalidades (nos 30 a 40 anos seguintes) :

1000×10^{-3} - 10.000×10^{-3}

c) Acidente em uma usina hidroelétrica

. Rompimento repentino de uma barragem

Probabilidade anual : 10^{-6} - 10^{-7} (hidro 1-hidro 1')

Fatalidades : 10×10^{-3} - 2.000×10^{-3}

Obs.: As conseqüências desse tipo de acidente dependem do tipo de barragem (terra ou concreto) e da distribuição de população a jusante da barragem.

Referência (probabilidades e fatalidades):

Dunster, G. J., The environmental aspects of nuclear energy within the frameworks of the environmental problems of other energy sources in: Foraton, VIII, Lausanne, June 1982.

6. Acidentes no transporte de materiais radioativos.

Tendo em mãos o volume de material radioativo movimentado em todas as unidades componentes do ciclo do combustível nuclear e o rejeito produzido em cada uma delas, a capacidade nuclear a ser instalada no país, segundo a Eletrobrás, e os dados obtidos na literatura especializada, podemos calcular o número de veículos exigidos para o transporte dos referidos materiais e rejeitos, até o ano 2020.

O carregamento rodoviário de materiais combustíveis e rejeito de baixa atividade, por proporcionar um modo econômico e flexível de locomoção, e o carregamento ferroviário de rejeitos radioativos de alta atividade, rejeitos contaminados com elementos transurânicos e elementos combustíveis irradiados, por suportar cargas de

100 ou mais toneladas, foram adotados como sendo os principais meios de transporte entre as unidades que compõem o ciclo do combustível nuclear. Para o caso brasileiro utilizou-se a Via Dutra e as Ferrovias Paulistas S.A. (Fe pasa) como fontes de dados de referência.

Já que diversos fatores podem alterar o cronograma da entrada em operação das diversas unidades do ciclo nuclear, admitimos as seguintes datas como ponto de partida, para efeito de cálculo e coerência com o trabalho que aqui serviu de referência⁽⁴⁵⁾ : 1989, ano de início das operações das unidades de conversão do concentrado de Urânio (U_3O_8) em hexafluoreto de Urânio (UF_6), das unidades de enriquecimento isotópico e fabricação dos elementos combustíveis; 1993, início de operação da unidade de reprocessamento. Quaisquer ajustes posteriores nas datas de início dessas operações, devem ser concomitantes com o desenvolvimento da capacidade nuclear instalada, segundo as previsões da eletrobrás.

As probabilidades de acidente rodoviário e ferroviário, utilizadas neste cálculo, são as mesmas deduzidas por Meldonian em seu trabalho, aqui referido.

Baseando-se na previsão de demanda de transporte de materiais radioativos no Brasil, isto é, materiais combustíveis e rejeitos, e na probabilidade de ocorrência de um acidente, rodoviário ou ferroviário, obtivemos, para um percurso médio de 1.000Km, os seguintes parâmetros previstos para os anos 2.000, 2.010 e 2.020, apresentados nas tabelas 7.1 e 7.2.

Parâmetro	2.000		2.010		2.020	
	Rodovia	Ferrovia	Rodovia	Ferrovia	Rodovia	Ferrovia
Veículos ou Vagões	780	52	1.361	158	2.077	511
Probabilidade de Du- tra/FEPSA mantida (pessimista)	1,33	$8,32 \times 10^{-3}$	2,31	$2,53 \times 10^{-2}$	4,55	$4,98 \times 10^{-2}$
Probabilidade de Du- tra/FEPSA adotada (otimista)	0,77	$4,11 \times 10^{-3}$	1,35	$1,25 \times 10^{-2}$	2,65	$2,46 \times 10^{-2}$

Tabela 2.1 - Parâmetros previstos para os anos 2.000, 2.010 e 2.020.
(Veículos rodoviários e vagões ferroviários, acidentes rodoviários e fer-
roviários).

onde, os valores (estimados) das probabilidades de acidente rodoviário ou ferroviário (no futuro) são:

A_R - probabilidade de acidente rodoviário mantida (caso pessimista: somatória das probabilidades para as diversas categorias de severidade) : $1,7 \times 10^{-6}$ acidentes/veículo x km (estatística da via Dutra - calculada por Higdonian (43))

A_R^t - Probabilidade de acidente rodoviário adotada (caso otimista) : $9,9 \times 10^{-7}$ acidentes/veículo x km (Estatística Americana (43))

A_F - Probabilidade de acidente ferroviário mantida (caso pessimista: somatória das probabilidades para as diversas categorias de severidade) : $1,0 \times 10^{-7}$ acidentes/vagão x km (Estatística da FEPSA calculada

por Melconian, (43).

A_F^1 - Probabilidade de acidente ferroviário adotada (caso otimista): $7,9 \times 10^{-9}$ acidentes/vagão x km (Estatística Americana), (43)

Ano	2.000	2.010	2.020
<u>Caso</u>			
Via Dutra (Pessimista)	$5,04 \times 10^{-2}$	$5,51 \times 10^{-2}$	$1,04 \times 10^{-1}$
Americano (Otimista)	$5,01 \times 10^{-8}$	$5,2 \times 10^{-8}$	$1,05 \times 10^{-7}$

Tabela 7.2 - Número de acidentes rodoviários de extrema severidade nos anos 2.000, 2.010 e 2.020.

onde, os valores (estimados) das probabilidades de acidente rodoviário de extrema severidade (no futuro) são:

A_{RS} - Probabilidade de extrema severidade (pessimista)
 $3,9 \times 10^{-2}$ acidentes/veículo x km (via Dutra) (43)

A_{RO}^1 - Probabilidade de extrema severidade (otimista)
 $5,8 \times 10^{-14}$ acidentes/veículo x km (EUA) (43)

Observação :

- Número de acidentes rodoviários ou ferroviários :

$$A = \sum P \times V \times km$$

onde,

A = número de acidentes

$\sum P$ = Somatória das probabilidades de acidentes

V = número de veículos ou vagões utilizados no transporte

km = Percurso médio do transporte.

Os resultados dos cálculos estão expostos nas figuras 1 a 6, anexas a esta seção.

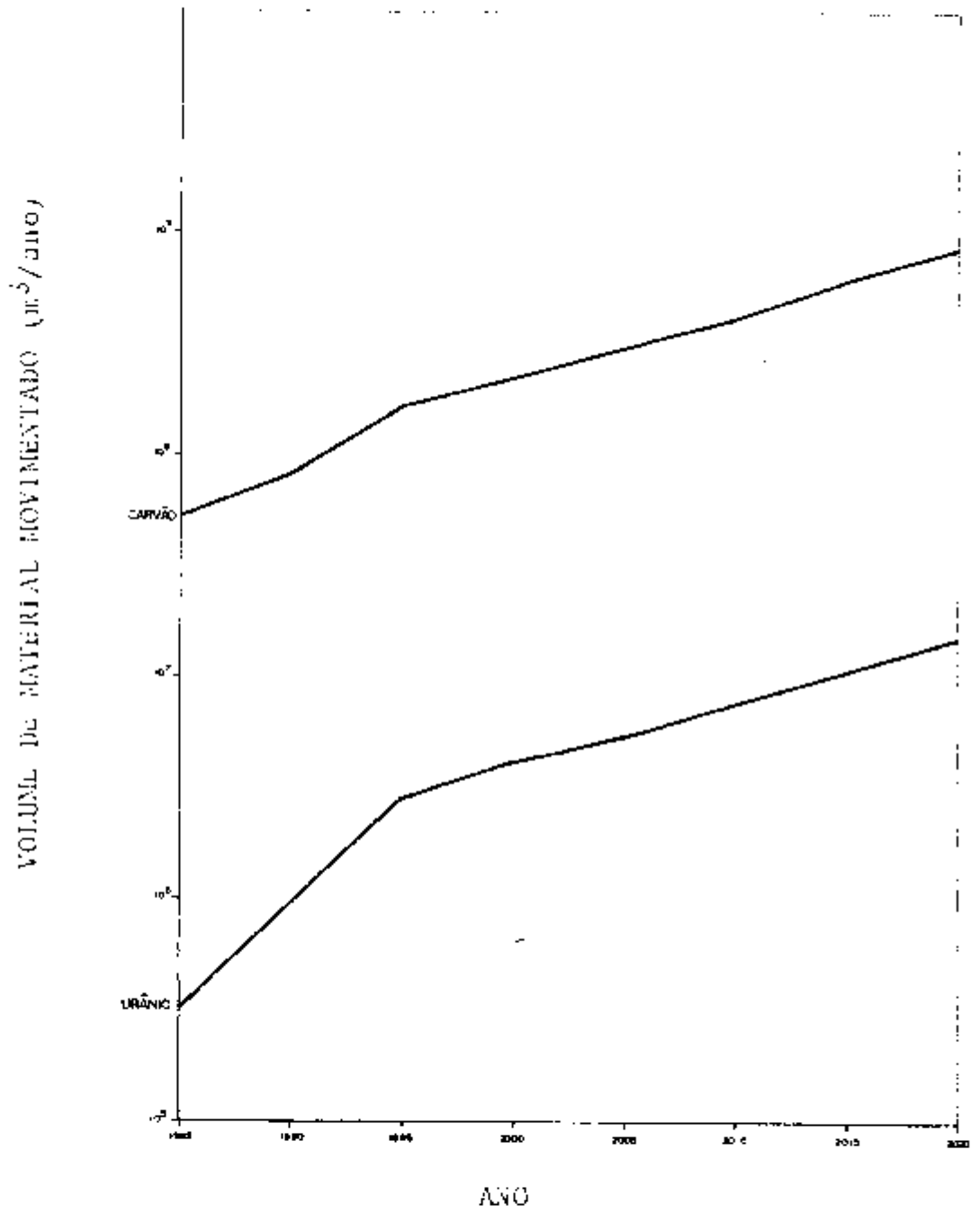


Figura 8.1 - Danos à terra provocados pela mineração para os casos de carvão e urânio.

VOLUMES DE AR PARA A DILUIÇÃO DE POLUENTES E RELACIONCULIDADES (m³)

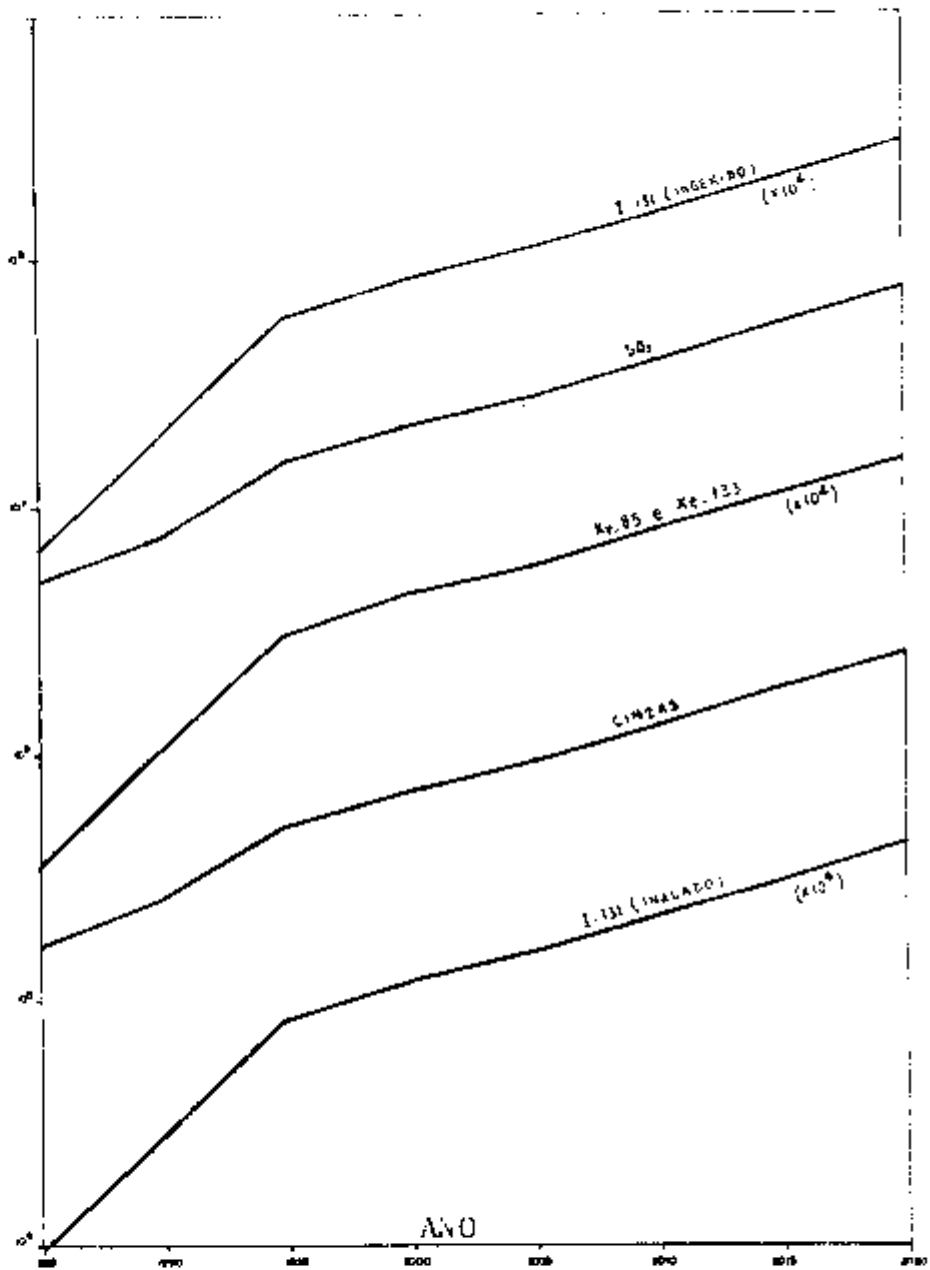


Figura 8.2 - Liberações rotineiras de usinas termoe_ létricas (nuclear e a carvão)

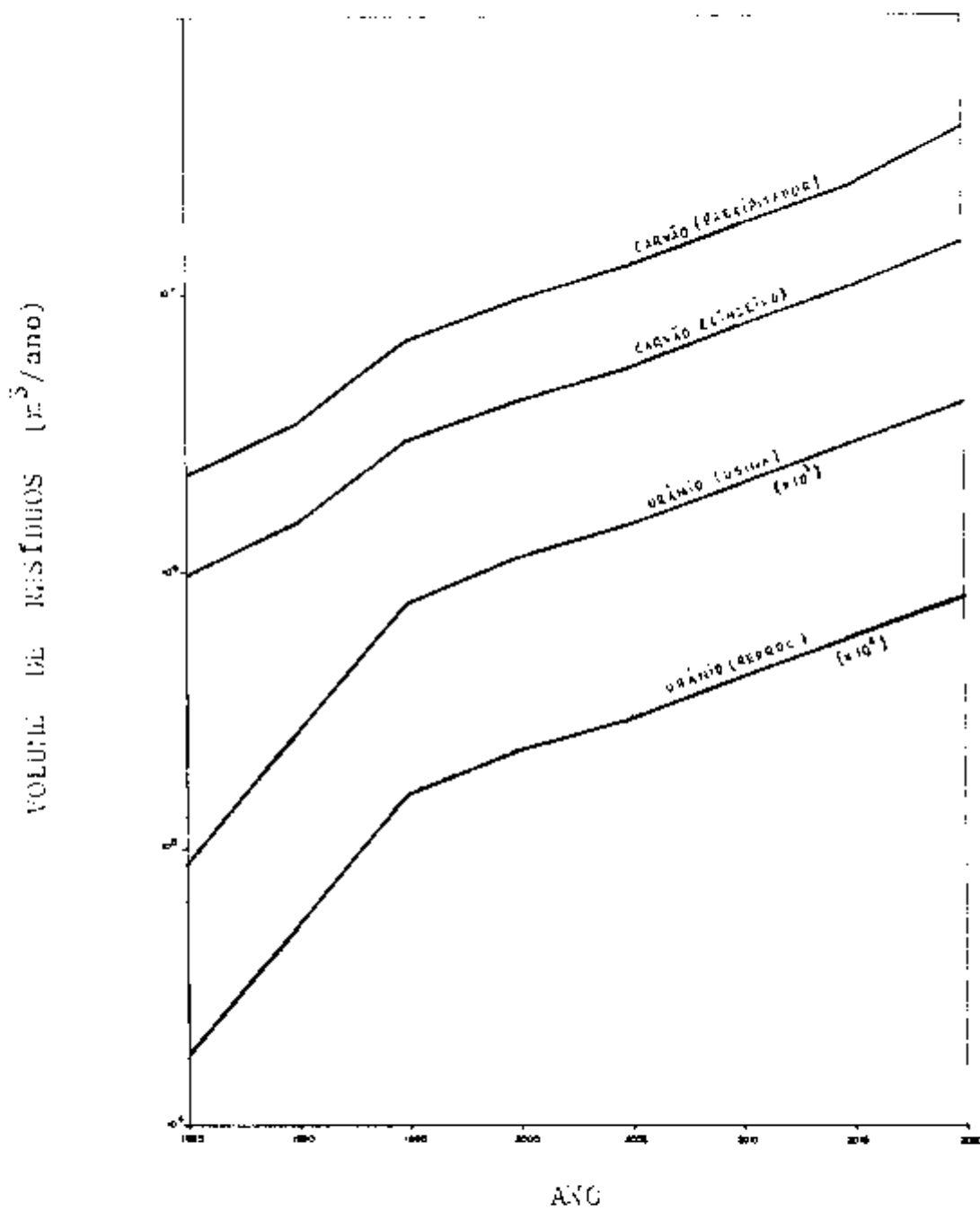


Figura 8.3 - Volume de resíduos da operação de usinas termoeletricas (m³/ano)

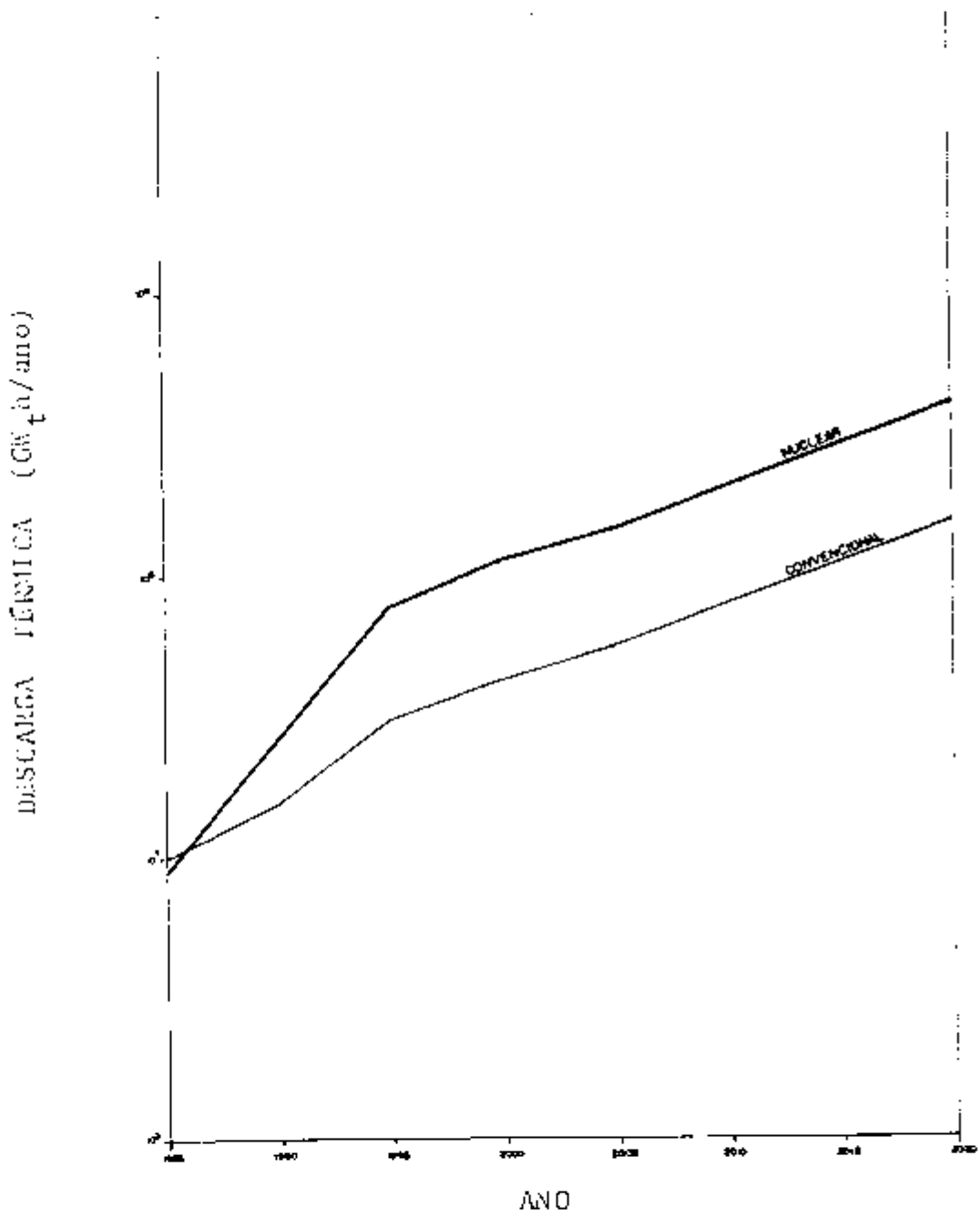


Figura 8.4 - Descarga térmica provocada por usinas termoelétricas (nuclear e carvão).

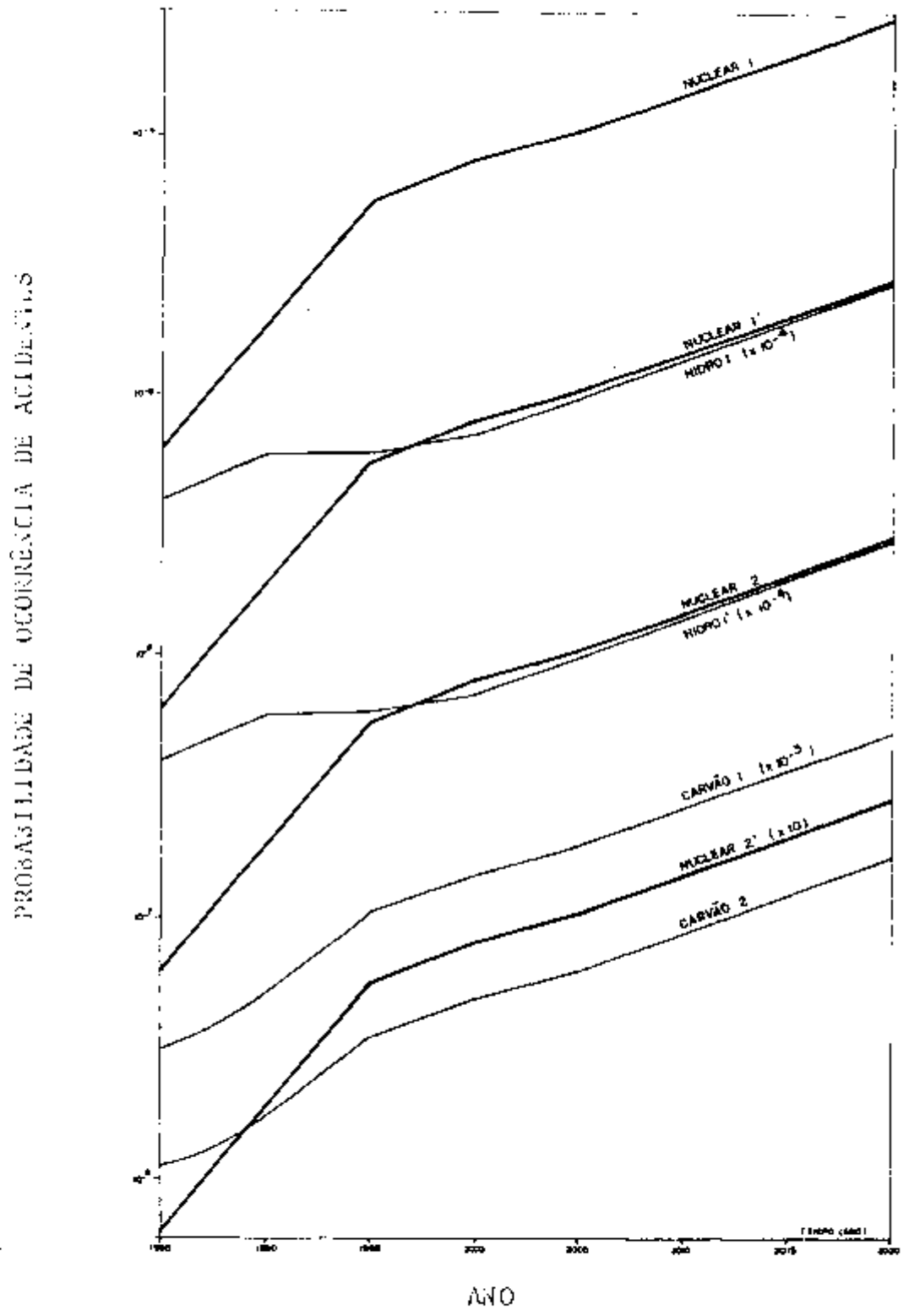


Figura 8.5 - Desenvolvimento da probabilidade de acidentes em usinas nucleares convencionais e hidroelétricas (base: 1.000MWe)

PROBÁBILIDADE DE OCORRÊNCIA DE ACIDENTES

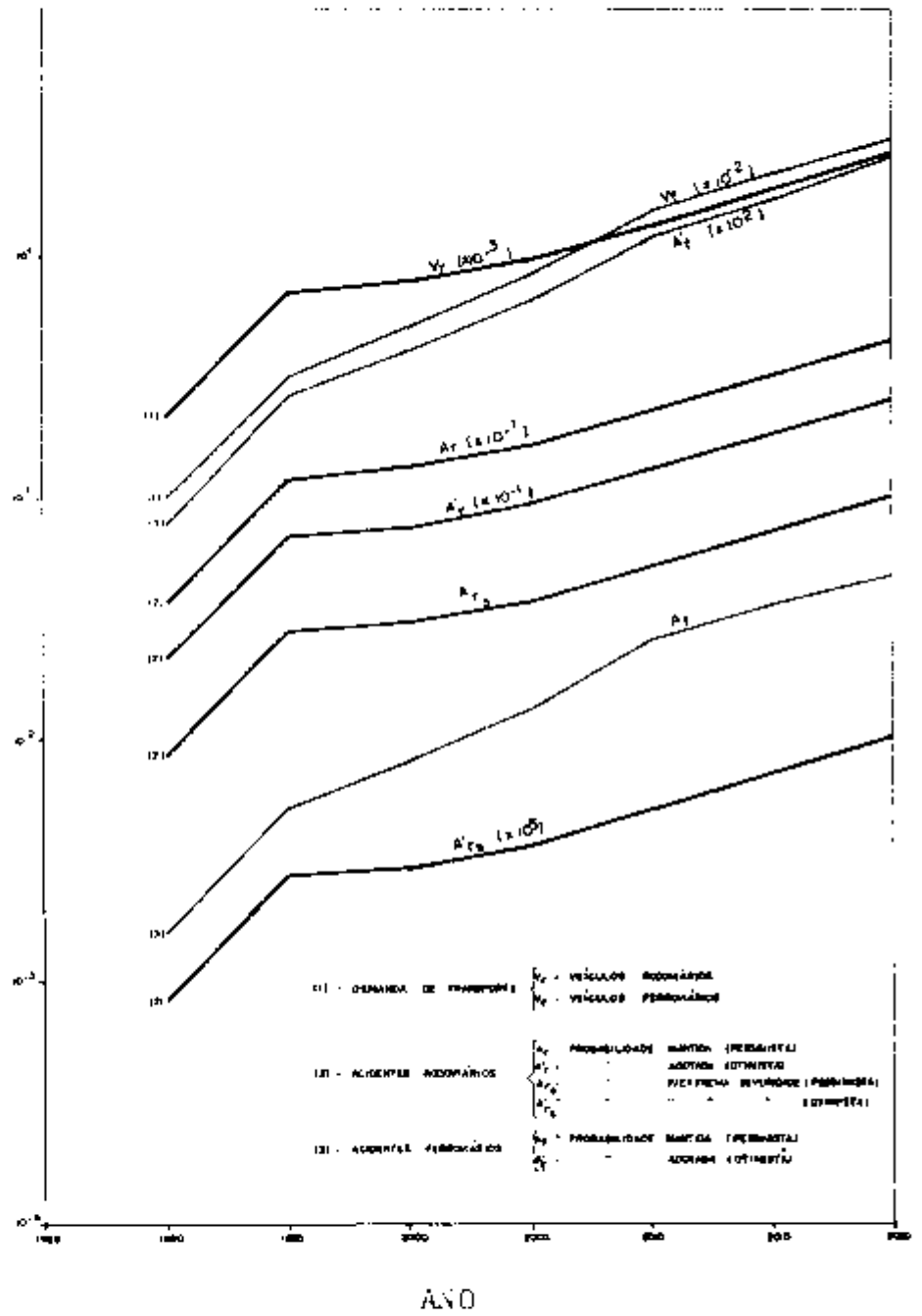


Figura 8.6 - Acidentes rodoviários e ferroviários com base na demanda de transporte de materiais radioativos.

Capítulo VIII - Conclusões e Recomendações

8.1 Danos à Terra pela Mineração

Na comparação dos volumes de materiais removidos (camada útil de minério + camada estéril), como medida do impacto ecológico causado à terra, a mineração a céu aberto do carvão de Candiota (RS) movimentará cerca de 94 vezes mais material que a mineração a céu aberto de urânio de Poços de Caldas, por MWh de energia elétrica produzida por ano. Neste caso, para cada metro cúbico de carvão e de urânio são retirados 7,55 e 4,28m³ de camada estéril, respectivamente.

Deste modo, o dano causado à terra pela mineração do carvão é sensivelmente superior ao provocado pela mineração de Urânio. Entre os anos 1.995 e 2.020 o volume anual movimentado no programa carbocelétrico brasileiro será aproximadamente 60 vezes superior ao do programa nuclear (ver figura 8.1).

8.2 Liberações Rotineiras de Usinas Termoeletricas

A avaliação baseada na comparação de efluentes gasosos - SO₂ e cinzas, da combustão do carvão, e Kr-85, Xe-135 e I-131, produtos da fissão nuclear - mostra que o volume de ar requerido para diluir os poluentes químicos da usina a carvão (4x10⁹ bilhões de m³) é 4.000 vezes maior do que o requerido para diluir a radioatividade emitida pela usina nuclear (10⁵ bilhões de m³ de ar) baseado em usinas de 1.000Mw. Entre os anos 1995 e 2020 as liberações rotineiras para o caso carbocelétrico exigirão 2x10⁵ vezes mais volume anual de ar que o caso nucleocelétrico. (Figura 8.3)

8.3 Volume de Resíduos da Operação de Usinas Termoeletricas.

* 1995 e 2020 - CENEA, C. 74, 1977

CONSELHO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

(CENEA - ANEEL)

O volume de resíduo da usina convencional (cinza retida no precipitador + cinza depositada no "cinzeiro") alcança 2.893.000 m³/ano, ao passo que o resíduo da operação da usina nuclear (juntamente com o resíduo sólido do reprocessamento perfazem 144 m³/ano, o que representa um fator de 2×10^4 vezes desfavorável à usina a carvão, em termos volumétricos. ~~Assim~~ ^{Deve-se} lembrar que, qualitativamente, os resíduos são imensamente mais danosos, potencialmente.

8.4 Descarga Térmica Provocada por Usinas Termoeletricas

A poluição térmica de rios, oceanos ou da atmosfera, resultante da descarga do calor residual de usinas termoeletricas no ambiente, recebe 14.000 GW_th/ano de um PWR de 1.000 MWe e 9.000 GW_th/ano de uma equivalente usina a carvão, ou seja, a poluição térmica provocada no ambiente pelas usinas nucleares é cerca de 50% maior do que a das usinas a carvão por MWe. No caso brasileiro (ver figura 8.4), de 1995 até 2020, as descargas térmicas das termoeletricas serão aproximadamente 25 vezes maiores que as de origens carbocletricas.

8.5 Acidentes em Usinas Termoeletricas e Hidroeletricas

O mais sério acidente que poderia acontecer numa dessas usinas seria, por exemplo, a fusão do cerne de um reator nuclear, com um potencial de danos muito grande (centenas a milhares de mortes imediatas e estendendo-se pelos 30 a 40 anos seguintes ao evento), com uma probabilidade anual de ocorrência situada na faixa entre 10^{-10} e 10^{-12} por reator de 1.000 MWe. É preciso notar que probabilidade total de ocorrer um caso fatal devido à geração de energia nuclear é ainda menor que praticamente todos os tipos de acidentes naturais ou provocados por ser humano, com exceção de mortes causadas por queda de meteoritos.

Probabilidades de Acidentes e Fatalidades.

Adaptando os números apresentados por Danster⁽²⁰⁾ para o caso da Grã Bretanha e transpondo-os para o caso brasileiro, pode-se estimar os parâmetros usados no cálculo de acidentes (riscos e fatalidades) em usinas termoeletricas e hidroelétricas (ver secção 7.4). Obtém-se para os anos 2.000, 2.010 e 2.020, os seguintes resultados:

Ano	Acidente	1 - Probabilidade anual		12 x 10 ³ de fatalidades por ano				
		Evento 1	Evento 2	Nuclear 1	Nuclear 2	Hidro 1		
2.000	I	1,46x10 ⁻⁴	6,8x10 ⁻⁸	2,06x10 ⁻⁵ a 6,06x10 ⁻⁶	2,06x10 ⁻⁷ a 2,06x10 ⁻⁷	7,23x10 ⁻⁴ a 7,23x10 ⁻⁵		
	II	48 - 240	2400 - 2883	4 - 806	3060 - 3060*	723 - 144670		
2.010	I	2,05x10 ⁻⁴	6,3x10 ⁻⁸	1,46x10 ⁻⁴ a 1,46x10 ⁻⁵	1,46x10 ⁻⁷ a 1,46x10 ⁻⁷	1,42x10 ⁻⁶ a 1,42x10 ⁻⁵		
	II							
2.020	I	5,23x10 ⁻⁴	1,74x10 ⁻⁸	2,01x10 ⁻⁴ a 2,01x10 ⁻⁵	2,01x10 ⁻⁷ a 2,01x10 ⁻⁷	2,79x10 ⁻⁶ a 2,79x10 ⁻⁵		
	II							

(*) Fatalidades nos 30 a 40 anos seguintes ao evento.

Tabela 7.3 - Riscos e fatalidade de acidentes nas usinas termoeletricas e hidroelétricas no Brasil.

Analisando a tabela 7.3, observamos que as probabilidades de ocorrência de acidentes aumentam proporcionalmente com o crescimento da demanda de energia elétrica (7% ao ano). Entre os acidentes acima considerados, os de maiores consequências são os rompimentos de barragens, (hidro-1) os quais provocariam centenas a mi

lhares de fatalidades. Obviamente a probabilidade é baixa e, inconscientemente, aceita pela população. Porém, os mais prováveis são os do tipo carvão-1 (colisão trem unitário de carvão x trem de passageiros), com dezenas a centenas de mortes; acidentes sérios em reatores nucleares, com dezenas a milhares de mortes; e os do tipo carvão-2 (colisão trem unitário de carvão x trem unitário de materiais perigosos, em um túnel), com milhares de mortes, no mesmo período.

Enfim, os menos prováveis são os acidentes catastróficos em reatores nucleares, que, acontecendo, provocariam dezenas a centenas de milhares de mortes imediatas e nos 30 a 40 anos seguintes a esse tipo de evento, mas cuja probabilidade a eles associada é extremamente baixa.

8.6 Acidentes do Transporte de Materiais Radioativos

O número total de acidentes independentes da sua gravidade, como vemos na tabela 7.2 (uma atualização do estudo feito por Meldonian, conforme a referência⁽¹³⁾) dificilmente difere mais do que de um fator de 2 quando fazemos a mesma comparação, isto é, quando se compara o caso dos EUA com os dados da via Dutra e FEPASA. Assim, a conclusão permanece a mesma: "Esses acidentes situam-se entre os de menores e moderadas consequências e, portanto, provavelmente não implicariam em liberações de radioatividade" (Meldonian).

No caso isolado das rodovias, quanto aos acidentes de extrema severidade, apresentados na tabela 7.2, há uma diferença extremamente grande. Concluímos que, no caso da via Dutra, "pode haver mortes sem grandes danos materiais no veículo" (Maldonian). Por outro lado, a diferença, quando utilizamos a probabilidade americana (otimista), deve-se aos maiores requisitos mecânicos de segurança nos veículos americanos do que nos brasileiros.

Comentários Finais

A comparação dos efeitos sobre a saúde pública e dos impactos ambientais, resultantes da geração de energia elétrica de fontes alternativas (em nosso caso, nuclear, carboelétrica e hidráulica), requer que os ciclos combustíveis de cada uma delas sejam considerados em todos os seus passos.

Algumas conclusões emergem da comparação dos principais componentes dos ciclos do urânio e do carvão. Os efeitos ocupacionais causados por acidentes e as doenças crônicas, por MW de energia produzida, são mais fortemente verificáveis em minas de carvão do que em mineração e processamento de urânio. Em geral, como se pode constatar nas tabelas 2.2 e 2.3, os dados estatísticos de acidentes e as taxas de incapacidade física, compilados pela Agência de Estatística do Governo Americano, são sensivelmente desfavoráveis ao carvão, se os referidos ciclos forem comparados passo a passo.

A comparação dos efluentes da etapa de geração é mais difícil. Tanto a usina nuclear como a termoeletrica a carvão descarregam radioatividade no ambiente em quantidades que têm pouco efeito sobre os níveis de radiação de fundo; a pequena proporção de rádio e tório, liberada no ambiente, parece ser menos significativa que os gases nobres e o I-131 emitidos por uma usina tipo PWR. Quando os efluentes líquidos e os efluentes do reprocessamento e outras fases do ciclo de urânio são incluídos na comparação, torna-se evidente que a liberação total de radioatividade deste ciclo é mais significativa que a do ciclo de carvão. Contudo, a combustão de carvão é a maior fonte de poluição química do ar, bem como a mais nociva à saúde pública.

Assim, uma avaliação dos efeitos sobre a saúde pública,

decorrentes da geração de eletricidade via urânio e carvão, depende da ponderação que se fizer dos efeitos adversos da poluição do ar causada pela combustão de carvão, do número de acidentes e da incapacidade física de vida às doenças crônicas da mineração de carvão, e da radioatividade liberada das usinas nucleares. Para esse objetivo, curvas dose-resposta são necessárias para os dois tipos de efluentes em questão (químicos e radiativos), após especificadas as condições operacionais das usinas carvão e nucleoeletrônicas brasileiras, bem como dos seus respectivos ciclos de combustível.

As liberações na atmosfera podem, como fizemos, ser comparadas em termos do volume de ar necessário para diluir os efluentes e satisfazer aos padrões de concentração recomendadas e em termos de riscos de mortalidade aos indivíduos expostos a esses efluentes em uma específica concentração, como também estimadas as curvas de dose-resposta (figura 8.2).

Na comparação mais conservativa, um PWR parece oferecer 18.000 vezes menos riscos de vida que uma usina convencional a carvão. As diferenças observadas quanto aos riscos de saúde parecem favorecer as usinas nucleares; contudo, a falta de maiores informações sobre as diversas fases dos ciclos de combustível para o caso brasileiro torna difícil a avaliação dos efeitos ocupacionais sobre a saúde pública. Entretanto, o risco ocupacional de saúde por Min parece ser mais alto para o urânio. A dificuldade em determinar qual dos dois combustíveis apresenta os mais sérios danos à saúde reside nas limitações impostas pelos poucos dados disponíveis e as muitas considerações, algumas delas arbitrarias, feitas na comparação das emissões de usinas.

As estimativas de acidentes envolvendo poluição ao ar são provavelmente as mais difíceis de serem feitas.

Realmente não sabemos o que existe nos produtos de combustão de uma usina a carvão que afeta a saúde humana. Também não conhecemos o comportamento químico desses gases, uma vez liberados da usina. Nem sabemos se existe ou não um limiar para os seus efeitos. A consideração convencional que tem sido feita é a não existência de limiar. No caso brasileiro ^{há} uma enorme falha ^{quanto à} existência de dados confiáveis, o que limita sobremaneira as nossas conclusões.

Custos de exposição à radiação têm sido estabelecidos, tanto para pessoas que estão ocupacionalmente envolvidas quanto para pessoas que vivem nas proximidades de um reator. A exposição ocupacional é muito maior, quase dez vezes maior, que as exposições do público à radiação.

Os custos das exposições à radiação foram levantados mediante a aplicação do custo por homem-rem (man-rem) ou o custo por unidade de exposição radiativa (rem). O modelo linear é o geralmente usado em proteção radiológica, estando implícito no desenvolvimento de custo de um homem-rem.

A partir desses dados pode-se calcular o risco por dose de exposição (rem), que está na ordem de cem casos de leucemia e câncer por milhão de homem-rem.

O que se pode dizer, pelo menos nesse tipo de análise, é que a usina nuclear parece ser 10 vezes mais segura que a usina termoeletrica convencional por unidade fixa de operação.

Estudos de custos de saúde de usinas termoeletricas costumam, em geral, apresentar defeitos, visto que não consideram os custos do dano genético nem os custos de acidentes. Com respeito ao dano genético, simplesmente não dispomos de um dado fundamental adequado para precisar

ou não as estimativas dos efeitos genéticos da radiação, ou da combustão de gases no caso de uma usina a carvão. Para o caso brasileiro, em particular, não existem dados confiáveis sobre a emissão de metais pesados pelas usinas termoeletricas a carvão.

Não temos sido, em nenhum desses casos, capazes de identificar quais defeitos genéticos apareceriam em uma população, provenientes tanto da radiação quanto dos agentes químicos. Não sabemos se esses efeitos genéticos apareceriam como câncer ou outra doença que produzisse redução de vida, deformações congênitas, ou delicadas mudanças que não estão revestidas de mortalidade ou morbidade. De modo que é difícil estimar ou comparar os riscos genéticos de um e de outro combustível.

Supondo que a estimativa dos danos à saúde é precisa, não se deve concluir que usinas nucleares em todos os casos sejam preferíveis às convencionais. O que devemos fazer, entretanto, é tomar as decisões a esse respeito com base em muitas outras considerações e pelas medições que deveriam ser feitas na operação das termoeletricas.

Os efeitos ambientais, por exemplo, evidentemente necessitam ser considerados. Os parâmetros ambientais de comparação, como vimos, à exceção da descarga térmica na água ou na atmosfera, são todos desfavoráveis ao carvão. E os efeitos econômicos e de segurança operacional também devem entrar nesse tipo de comparação.

Entre as três fontes em questão, a geração hidroelétrica é a de menor custo ecológico, por não apresentar nenhum dos problemas de poluição típicos dos processos de combustão e fissão nuclear. Mas, não se pode negar que a construção de enormes barragens e a formação de enormes represas ou reservatórios artificiais modificam o ecossistema do curso d'água e o regime climático, num raio de

quilômetros em torno do lago, além de criar interações com o sistema sócio-econômico da região: inundações de terras de cultura e/ou atividades extrativas, desapropriações e relocações de áreas urbanas e rurais e do sistema viário, reassentamento de populações, desenvolvimento de novas atividades, modificações nas atividades agrícola e pastoril, alterações do habitat de espécies animais e vegetais, desenvolvimento da piscicultura e, mais raramente, reações indiretas, como, por exemplo, a ocorrência de fenômenos sísmicos induzidos, devidos ao reajustamento do terreno à nova distribuição das cargas superficiais.

Na tentativa de assinalar custos, é importante distinguir entre o dano ambiental e as conseqüências que são permanentes e aquelas que não o são. De longe, o maior impacto é a qualidade do nosso ar. Alguns efeitos de saúde duradouros já ocorreram como resultado da poluição do ar. Em casos extremos, os níveis de poluição do ar têm alcançado proporções que representam um perigo para a vida humana. A poluição do ar afeta aqueles que já estão com doenças crônicas e são sensíveis ou vulneráveis a ela, e não somente aquelas pessoas bem idosas. Os jovens também estão sujeitos à toxicidade ambiental. A radiação, como um problema de fato, também se encontra nesse caso. Os mais vulneráveis na população são os fetos. Estes são mais sensíveis a intoxicação por radiação e poluentes químicos ~~que~~ do que os adultos.

Observações semelhantes podem ser feitas com respeito à qualidade da água, embora se suspeite que o tempo de restauração da qualidade da água pode ser longo e nosso entendimento de mudanças irreversíveis em complexos ecossistemas aquáticos é ainda imperfeito. A produção e a utilização de energia, contudo, é apenas um dos muitos contribuintes da poluição da água e, indiscutivelmente, a principal fonte de poluição do ar.

Para o caso brasileiro, é evidente que a geração hidroelétrica será predominante pelo menos nas próximas quatro décadas. Não existem meios objetivos de se comparar efetivamente os efeitos ambientais de uma hidroelétrica e uma termoelétrica. Qual o mais danoso: a morte dos Saltos de Sete Quedas ou a produção de 2,3 milhões de toneladas de SO_2 resultante de uma termoelétrica a carvão com capacidade equivalente à Usina de Itaipu operada com 50% de fator de carga? Há pessoas que argumentam que daqui a 50 anos, com a desativação de Itaipu, a beleza das cachoeiras poderá ser resgatada, quando então, a população brasileira estaria em nível de apreciação da natureza bem mais elevada. Enfim, a avaliação ecológica exige uma enorme componente subjetiva que se encontra além das finalidades do presente trabalho. De modo geral, dadas as condições econômicas do País, e as considerações técnicas desenvolvidas até aqui, pode-se afirmar que mesmo com uma predominância absoluta das hidroelétricas estas oferecem vantagens superiores em termos de efeitos ambientais integrais sobre as opções de carbocelétricidade e nucleocelétricidade.

Os seus impactos são considerados "macios", com consequências diluídas em extensão territorial de até centenas de km^2 , e tendências a acomodações naturais da ecologia local em tempo relativamente curto. A principal desvantagem ecológica das usinas termoelétricas, sejam elas carbo ou nucleocelétricas, provém da potencial ocorrência de variações súbitas nas emissões térmicas e químicas para o meio ambiente, derivadas dos desligamentos, partidas e emissões acidentais. Estas variações provocam choques ecológicos que resultam em alterações e consequências danosas. Os seus efeitos são chamados "duros" pelos ecologistas. Por exemplo, desligamentos e partidas, mesmo durante as operações de manutenção rotineiras, provocam alterações substanciais nas emissões térmicas com consequências malignas à biosfera local.

Outro aspecto a considerar, é a aceitação pelo público dos processos de geração de energia. Por exemplo, o público tende a rejeitar qualquer processo de geração elétrica, mas na seguinte ordem decrescente em termos ecológicos: nuclear, carvão e hidroeletricidade. Esta reação do público tem a ver profundamente com as atitudes e crenças da população resultantes da percepção pelo público dos potenciais danos à ecologia que o cerca e à sua saúde, e não da racionalidade científica dos perigos reais que as fontes representam.

Finalmente, em síntese, duas forças poderosas atuam em sentido contrário: de um lado, o desenvolvimento econômico que exige o aproveitamento crescente dos recursos naturais, e, em consequência, impõe demandas rapidamente crescentes de energia. De outro lado, a manutenção das condições favoráveis do meio ambiente ou a preservação de condições ambientais aceitáveis. A primeira conduz à modificação das condições naturais do solo, da água e da atmosfera. A segunda impede ou limita essas modificações, isto é, tende a estabelecer um novo ecossistema que pode e deve ser analisado com antecedência. A técnica do "custo-benefício" permite definir uma lei que de soluções e orienta na escolha da "solução" mais indicada. O grande conflito de nossa época - utilização crescente de recursos naturais versus alterações do meio ambiente - pode-se mesmo estabelecer uma hierarquia de "custos ecológicos" e custos de saúde.

8.7 Recomendações

Existe uma recomendação básica que supera todas as outras em prioridade e que, portanto, restringimo-nos a ela. Trata-se da pobreza de dados básicos sobre as características emissivas das termelétricas movidas a carvão mineral. Esta situação invalida qualquer avaliação real quanto aos ~~seus~~ potenciais danos das usinas carbog

lêtricas, dada a inexistência de órgãos fiscalizadores e fetivos nos Estados em que se encontram essas usinas. Assim, é necessário gerar esses dados básicos para sua utilização, posteriormente.

GLOSSÁRIO

- Área de Exclusão - Área imediatamente circunvizinha ao qual o público não tem livre acesso ; compreende apenas o sítio da instalação.
- Burnup - A porcentagem de átomos do combustível fissionados ou a energia térmica produzida por massa de combustível.
- Bioanálise - Medida Rádio-Analítica para determinar a ausência de ou a espécie e quantidade de materiais radioativos presentes no corpo ou em órgãos do corpo.
- Carga Corporal - A quantidade total de um radionuclídeo presente no corpo (ou órgão).
- Chaminés - Os benefícios da utilização de chaminés altas são a dispersão efetiva dos efluentes da combustão e a maior segurança ou quanto à não confinação ao nível do solo de grandes quantidades de produtos de combustão devidas ao fenômeno da inversão térmica.
- Componentes do Potencial Energético - Vazão dos rios e queda do aproveitamento que vai utilizar a vazão e produzir energia.
- Condensador - Trocador de calor no qual o vapor é transformado em água (líquida) pela remoção e transferência do calor para um corpo hídrico.

Conversão - Processo pelo qual o material fértil é transformado em material físsil.

Criptônio-85 - Um produto de fissão e isótopo radioativo do elemento criptônio, um gás inerte, com uma meia-vida de cerca de 10 anos.

Curie(Ci) - Medida do nível de radioatividade de um elemento; um Curie equivale à desintegração de $3,7 \times 10^{10}$ núcleos por segundo.

Dano Químico - Causado por substâncias existentes no ar, ocorrendo localmente, no local do contato inicial com a pele ou a membrana da mucosa, ou sistematicamente após a absorção.

Decaimento Radioativo - Processo pelo qual o núcleo de um tipo transforma-se em outro, acompanhado de emissão de radiação.

Descarga Térmica (Pluma) - Configuração adquirida pelo calor despejado em um corpo d'água.

Dose - A quantidade de radiação recebida por um organismo como medida da energia depositada por massa de tecido (em Rad).

Dose Equivalente - O produto da dose (absorvida), fator de distribuição e outros fatores modificadores necessários para obter uma avaliação dos efeitos da irradiação recebida por pessoas expostas, de modo que as características distintas da exposição são consideradas (em Rem).

Dosímetro - Um instrumento usado para medir ou avaliar a dose absorvida, exposição ou quantidade similar de radiação.

Ecologia - Estudo da interrelação dos seres vivos e seu ambiente.

Efluente - Um gás, líquido ou sólido que entra em uma área adjacente de composição distinta.

Energia Firme - É a energia que pode ser gerada continuamente, nas mínimas condições hidrológicas e, portanto, com as vazões mínimas que podem ocorrer nos rios.

Energia Primária - É o conteúdo energético dos combustíveis antes de serem processados e convertidos (P.ex.: petróleo bruto, carvão na mina, urânio, potencial hidráulico).

Energia Média ou MW Médio - A potência que produziria constantemente a mesma quantidade de energia que estaria sendo usada de forma irregular durante um período de tempo.

Fator de Capacidade - É a relação entre a capacidade instalada e a energia produzida (gerada).

Fissão - A desintegração de um núcleo atômico com desprendimento de energia.

Fusão - A combinação de certos núcleos atômicos leves para formar núcleos mais pesados com desprendimento de energia.

Irritantes Pulmonares - São substâncias gasosas, com pouco ou nenhum efeito sistemático, que produzem danos particularmente em lugares onde uma superfície úmida e um epitélio delicado são encontrados, portanto facilitando a solução e a localização do agente químico.

"In-Site" - Áreas dentro da Área de Exclusão.

Inversão Térmica - Uma ocorrência normal que tem lugar quando o ar quente é confinado na atmosfera sob uma camada de ar frio, resultando em acúmulo de poluentes que não podem propriamente se dissipar.

KWh - A energia, produto da vazão e da queda, conduz a um conceito de KW, potência, que aplicada ao longo do tempo, forneceria KWh, que é a unidade mais comumente usada para medir a energia.

"Man-Rem" - Número de pessoas expostas vezes a dose equivalente em Rems.

Material Particulado - Sólidos, tais como cinza, emitidos das chaminés de usinas convencionais.

"Off-Site" - Áreas fora da Área de exclusão.

Pluma - Configuração tomada pela exaustão (sólidos, líquidos ou gases) de chaminés.

Pneumoconiose - Poeiras minerais, fibras vegetais, e mesmo partículas finalmente divididas de origem animal, que adentram os pulmões com o ar inspirado, mas apenas as mais finas atingem os bronquíolos respiratórios e os sacos aéreos, sendo o resto expelido com o muco (secreção da membrana da mucosa) no qual o material particulado se confunde.

Poeira - A poeira é um material particulado que precipita pela gravidade da atmosfera; fumaça, fumo, nuvem, etc. São termos sinônimos. Para a poeira produzir dano pulmonar deve ser capaz de reagir quimicamente com o tecido e ser pequena o suficiente para adentrar as menores passagens pulmonares, isto é, menores que 10 μ . O material particulado nocivo, pode ser orgânico ou inorgânico. As reações podem ser agudas ou crônicas.

Potência Instalada - É a capacidade de máquinas instaladas e que pode ser de acordo com as necessidades, ampliada ou reduzida.

Precipitador - Um precipitador eletrostático, por exemplo, de 24,5 m de altura e 600 t de peso, é relativamente simples na operação, trabalhando como um magneto. O material particulado deixando a fornalha deve passar por uma grade carregada negativamente. Após serem ionizadas, elas são facilmente coletadas numa placa carregada positivamente, das quais caem em um funil e são removidas.

Qualidade do Ar Ambiente - A composição do ar em dada área ampla, medida antes e após descargas de efluentes na atmosfera.

Resistividade - Quando diz respeito a um precipitador eletrostático se refere à capacidade da cinza de "resistir" ao ser coletada nas placas carregadas.

Silicose - É causada pela inalação prolongada de dióxido de silício (SiO₂). A doença, em sua forma pura ou modificada, ocorre mais comun-

te em trabalhadores de mineração - ouro, ferro, carvão, pedreira, e em qualquer ocupação que sujeita o trabalhador a respirar uma atmosfera pesadamente carregada com poeira de sílica.

SO_2 - Um gás pesado, irritante e invisível, resultante da combustão do enxofre presente no combustível (carvão).

SO_3 - Um gás incolor resultante da queima do enxofre presente no carvão. Nas condições normais de queima cerca de 97 - 98% do enxofre tornam-se SO_2 , conseqüentemente transformando-se em SO_3 .

Vida Aquática - A população animal e vegetal de um corpo d'água, incluindo os microorganismos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) AGÁZIO, A.W. De. Fuel processing and the environment. In: SEALE, R; SIERKA, R.A. Energy and the environment. Tucson, Ariz., 1973, p.239-256.
- 2) ASCINER, F.S. Planning fundamentals of the thermal power plants. New York, 1978, p.542.
- 3) AVER, P.L. An overview of energy and the environment. In: MORGAN, M.G. Energy and man... New York, IEEE, 1975 p.124-133.
- 4) BISWAS, A.K.; BISWAS, M.R. Hidropower and the environment. Water Power Dam Construct., 28(5): 40-43, may 1976.
- 5) BRADEN, G.D.; BROWN, D.H. Energy and environment in perspective. USA. sem data.
- 6) BRASIL. CESP. Perspectivas energéticas. São Paulo, set. 1980.
- 7) BRASIL. CESP. Reservatórios: modelo piloto de projeto integral. São Paulo, 1978.
- 8) BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO PETRÓLEO. Legislação do Carvão Nacional. v.1. Brasília. 1978.
- 9) BRASIL. ELETROSUL. O impacto ambiental da ação do homem sobre a natureza. Florianópolis, set. 1980.
- 10) BRASIL. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. ELETROBRÁS CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. Plano de atendimento aos requisitos de energia elétrica até 1995. Brasília, set. 1979.

- 11) BRASIL, MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. ELETROBRÁS CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. Plano de atendimento aos requisitos de energia elétrica até 2.000. Brasília, mar. 1982.
- 12) CARVALHO, W.B.D.; SOUZA, J.A.M. Impacto ambiental de centrais nucleares comparado com o de centrais térmicas a carvão. Atual. Cons. Nac. Petr. (Brasília), 13 (75): 59-63, 1981.
- 13) CARVÃO. Jornal da Semana (Santa Catarina), 1 (33), 15-22 set. 1979.
- 14) CENTRAL ELECTRICITY GENERATING BOARD. Modern power station practice. London, 1963, p.28-42.
- 15) COFFIN, D., KNELSON, J.H. Effects of sulfur dioxide and sulfate aerosol... Ambio (Stockholm), 5 (5/6): 239-243, 1976.
- 16) COMISSÃO TÉCNICA DE BARRAGENS E O MEIO AMBIENTE DO COMITÊ BRASILEIRO DE GRANDES BARRAGENS. Barragens, reservatórios e o meio ambiente: a prática brasileira. São Paulo, ago. 1979. CBCB-79.
- 17) CONSELHO PARA IMPLANTAÇÃO DO COMPLEXO CARBOQUÍMICO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Subsídios a uma prática carboquímica estadual. Porto Alegre, Concarbo, 1980.
- 18) CONSIDINE, D.M. Energy technology handbook. New York, McGraw-Hill, 1977.
- 19) DADOS GERAIS DE USINAS ELÉTRICAS NACIONAIS ... Mundo Elétrica, 18 (207A): 98-158, dez. 1976.

- 20) DUNSTER, H.J. The environmental aspects of nuclear energy within the framework of the environmental problems of other energy sources. In: FORATOM, 8 Lausanne, jun. 1982.
- 21) FLUOR ENGINEER AND CONSTRUCTORS. Brazil coal technology studies... sem local, editor, mar. 1982.
- 22) GABINETE DO PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO GERAL. Carvão. Governo do Estado de Santa Catarina, Gaplan, 1979.
- 23) GIBSON, A.S. Ecological considerations and the FBR. In: INSTITUTE OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERS. Engineering for the Conservation of Mankind : proceedings of the IEEE region six conference... held in Sacramento, 11-13 may, 1971. Sacramento, IEEE, 1971.
- 24) GILCHRIST, J.D. Fuels, furnaces and refractories. Oxford, Pergamon, 1977. p.18.
- 25) GOLDEMBERG, J. Energia no Brasil. Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1976. p.9-16.
- 26) GORNOWSKI, E.J. Options for the conversion of fossil fuels. In: ASHLEY, H.; RUDMAN, R.L.; WHIPPLE, C. Energy and the environment... New York, Pergamon, 1976. p.185-206.
- 27) GRUPO DE ESTUDO DA POLÍTICA DE ENERGIA NUCLEAR. Energia nuclear: problemas e opções. São Paulo, Cultrix, 1971.
- 28) HAAGEN-SMIT, A.J. Air resources. In: SEALE, R.L.; SJERKA, R.A. Energy needs and the environment. Tucson, Ariz., 1973. p.53-82.

- 29) HAWLEY, M.E. Editor's Comments... Safety and health in the coal industry. In: HAWLEY, M.E. Coal, part I... Stroudsburg, Pa, 1976. p.120-189.
- 30) HAWLEY, M.E. Editor's comments... The coal industry and the environment. In: HAWLEY, M.E. Coal, part I... Stroudsburg, Pa, 1976. p.286-288.
- 31) HEIT, M. A review of current information on some ecological and health related aspects of the release of trace metals... New York, Health and Safety Lab., 1977 (HASL-320).
- 32) JAZIDA DE CARVÃO DO RS CONTÉM 3 BILHÕES DE TONELADAS. O Estado de São Paulo (São Paulo), 8 mar. 1981. p.54.
- 33) KEMENY, L.G. The global environmental effects of fossil and nuclear fuels. Aust. Phys., 19 (4): 52-55, 1981.
- 34) KIKUCHI, C. Environmental impacts of nuclear power plants. São Paulo, Instituto de Energia Atômica, set. 1974 (IEA-Inf-31).
- 35) KOELZER, V.A.; TUCKER, R.C. Water use and management aspects of... In: SEALE, R.; SIERKA, R.A. Energy needs and the environment. Tucson, Ariz., 1973. p. 83-96.
- 36) LAIT, B.Y.; RAMACHAND, T.V.; MISHRA, U.C. Release of naturally occurring radionuclides from some power station in... Bull. Radiat. Protect., 3 (1/2): 11-15, 1980.
- 37) LAMARSH, J.R. Introduction to nuclear engineering. Reading, 1975.

- 38) LAVIE, L.B. Health effects of electricity generation ... In: ASHLEY, H.; RUDMAN, R.L.; WHIPPLE, C. Energy and the environment... New York, Pergamon, 1976. p.63-85.
- 39) LEX. Lei 997 artigo 2º São Paulo, LEX, 1976. p. 321-400.
- 40) MAGALHÃES, L.C.A. O problema energético brasileiro. Escola Superior de Guerra. Rio de Janeiro. 9 set. 1975.
- 41) MAURO, J.J. Comparison of gaseous effluent standards for nuclear and fossil fuel power production facilities. Trans. Am. Nucl. Soc., 30: 123-124, nov. 1978.
- 42) McMULLAN, J.T.; MORGAN, R.; MURRAY, R.B. Energy resources and supply. New York, 1976.
- 43) MELDONIAN, N.L. Previsão da demanda de transporte de materiais radioativos para o programa nuclear brasileiro e os aspectos de segurança. São Paulo, 1979. (Tese de Mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares).
- 44) NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Risks associated with nuclear power. Nucl. Saf., 20 (6): 664-670, 1979.
- 45) NERO JR., A.V. A guidebook to nuclear reactors. Berkeley, University of California, 1979.
- 46) O'DONNELL, E.P.; MAURO, J.J. A cost-benefit comparison of nuclear and nonnuclear health and... Nucl. Saf., 20 (5) : 525-540, 1979.

- 47) O futuro da energia nuclear no Brasil. O Estado de São Paulo (São Paulo), 12 out. 1980. p.132.
- 48) OKAMOTO, K. Radioactive emission from thermal power plants and related problems. In: AUSTRALIA INSTITUTE OF ENERGY. Energy sources - Australia's needs: proceedings of the 1st national conference on... held in Newcastle, 5-9 feb., 1979. v.1. Newcastle, 1979.
- 49) PANTULU, V.R. Environmental aspects of river development in Tropical Asia... In: INTERNATIONAL WATER RESOURCES ASSOCIATION... Water Resources: proceedings of the 2nd world Congress on... held in New Delhi, 12-16 dec., 1975; Water for human needs. New Delhi, 1975.
- 50) PIGFORD, T.H. Environmental aspects of nuclear energy production. Ann. Rev. Nucl. Sci., 24 : 515-559, 1974.
- 51) PLUMLEY, A.L. Present fossil fuel systems and their emissions. In: SEALE, R.L.; SIERKA, R.A. Energy needs and the environment. Tucson, Ariz. 1973. p. 165-186.
- 52) PROGRAMA PARA GERAÇÃO TERMOELÉTRICA A BASE DE CARVÃO DO SUL DO PAÍS. Gazeta Mercantil (Santa Catarina), out. 1980.
- 53) SAHAGUN, J.M. Posibilidades de plantas termo-nucleares para la produccion de energia... Mayaguez, Centro Nuclear de Porto Rico, May. 1972.
- 54) SECRETARIA DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Energia no Estado de São Paulo. São Paulo, out. 1982.

- 55) SINGER, E.M. Distribuição de temperatura na baía de Piraquara de Fora, resultante da liberação do calor residual da central nuclear AAA... São Paulo, 1979. (Tese de Mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares).
- 56) STAROSOLSZKY, O. Environmental aspects of water power development. Water Power, 36 (10): 336-338, Oct. 1974.
- 57) STARR, C. Future alternatives and technical options for ... In: ASHLEY, H. RUDMAN, R.L.; WHIPPLE, C. Energy and the environment... New York. Pergamon. 1976. p.31-62.
- 58) SYLUS, C. Brazilian nuclear program-strategy adopted for technology transfer. In: FARMAKES, R., editor. Nuclear Power plant construction, operation and development: proceedings of the symposium on... held in Tokyo, sep. 25-29, 1978. sem local, editor, 1978. p.27-35.
- 59) TERRILL JR., J.G.; FLETCHER, W.D. Present reactor systems and their emissions. In: SEALE, R.; SIERKA, R.A. Energy needs and the environment. Tucson, Ariz., 1973. p.217-228.
- 60) THE WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Meteorological aspects of peaceful uses of atomic energy. In: UNITED NATIONS. Peaceful uses of atomic energy: proceedings of the 2nd international conference... held in Geneva, 1-13 sep. 1958, v.18: Waste treatment and environmental aspects... sem local, editor, 1978. p. 245-259.

91) WILSON, C.L. Energia: projeções globais, 1985-
-2000. Rio de Janeiro, Atlântida, 1978.

62) WORLD List of nuclear power plants. Nucl. News,
25 (10): 70-73, 1982.