

# O QUADRO CONCEITUAL DA QUESTÃO AMBIENTAL

Luiz Pinguelli ROSA<sup>1</sup>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 O quadro conceitual da questão ambiental

Pensar um novo estilo de desenvolvimento não se reduz à discussão de tecnologias alternativas e de desenvolvimento auto-sustentado. Este último conceito tornou-se freqüente nas publicações sobre os países em desenvolvimento (GOLDEMBERG et alii, 1989) mas seu uso nem sempre tem sido bastante preciso quanto ao significado científico. Representa uma síntese para responder duas demandas sociais aparentemente divergentes. É uma resposta política às pressões para a preservação do meio-ambiente e à preocupação com a conservação dos recursos naturais finitos, de um lado, e à necessidade de aumentar a produção para abranger parcelas crescentes da população mundial excluídas dos benefícios da tecnologia moderna.

Paradoxalmente, estas populações excluídas não deixam de pagar elevado preço pela disseminação de tecnologias ambientalmente agressivas, como mostram os exemplos do acidente químico de Bopal e da contaminação radioativa com o césio 137 em Goiânia. Embora menos contundentes do que estas catástrofes tecnológicas singulares no tempo, não são menos importantes em países como o Brasil os efeitos continuados da poluição que ocorre todo o tempo. Estendem-se da área urbana à rural, oriundos das indústrias, da produção de energia, do sistema de transportes, do uso excessivo de defensivos agrícolas, bem como da falta de saneamento básico, de água potável, de habitações dignas.

Portanto, a degradação ambiental devida à modernização mal assimilada soma-se àquela devida ao atraso. Logo, não se pode afirmar que o problema do meio ambiente não seja pertinente a esses países, mas apenas aos países ricos. A questão é o grau de pertinência. Deve-se entendê-lo como um problema que o desenvolvimento tem de equacionar. Fica então excluída a solução de limitar o crescimento econômico como forma de preservar o meio-ambiente, até porque boa parte da poluição se origina no atraso e na pobreza. Apesar de óbvia, esta sentença conflita com concepções subjacentes a certas leituras da questão ecológica. É claro que esta é coberta por uma literatura diversificada comportando tendências não homogêneas. Em livro recente publicado pela editora da Universidade de Harvard (YOUNG, 1990) é feita uma tipologia destas tendências que vão historicamente desde o pessimismo cético do neomaltusismo, da tese do

crescimento zero, dos cenários de esgotamento dos recursos naturais a breve termo e dos modelos matemáticos catastróficos, passando pelas propostas pragmáticas de controle ambiental, de regulamentações da poluição, de conservação da energia e melhoria de eficiência técnica até chegar às novas utopias sociais de humanização do desenvolvimento, de descentralização, do "small is beautiful", de auto-sustentação e de busca de novo estilo de desenvolvimento. Alguns autores tem-se preocupado especialmente com o equilíbrio entre desenvolvimento e ecologia (SACHS, 1980).

Nesta linha de pensamento a questão ecológica reveste-se de um aspecto utópico como substituta de ideais humanistas deixados órfãos pela crise do socialismo realmente existente, pela incapacidade das reformas do capitalismo vencerem as desigualdades sociais que fazem, por exemplo, 10% da humanidade consumirem enorme parcela dos recursos energéticos mundiais (EIA, 1991)

### 1.2 O contexto histórico do desenvolvimento

Desta forma se é levado, do ponto de vista teórico, à discussão atual das grandes opções de organização da sociedade. Entre estas opções situam-se nos dois extremos o liberalismo econômico e o planejamento central. Ao axioma filosófico, defendido pelo socialismo ortodoxo, de que este seria a única via para a superação da miséria e da pobreza, outros opõem o dogma do neoliberalismo como única solução racional para o funcionamento da economia. A pergunta é qual a aplicabilidade destas teorias aos países em desenvolvimento quanto à definição do papel do Estado na promoção do crescimento econômico. Entretanto, falta base empírica para a verificação de ambos os postulados tanto geográfica como historicamente.

A crise do Leste Europeu evidenciou a insuficiência da ortodoxia socialista. A pobreza e a miséria da maior parte da população mundial evidenciam a incapacidade das forças livres do mercado para acelerarem por si sós economias retardatárias. Enquanto isto, em países nos quais o Estado interveio pragmaticamente - como o Brasil no passado, o Japão e a Coreia do Sul até hoje - houve crescimento acelerado.

A redução do ritmo de crescimento que vem ocorrendo na América Latina reflete-se presentemente numa crise recessiva em vários países, como o Brasil, apesar de este apresentar um superávit comercial que freqüentemente supera 1 bilhão de dólares mensais. A crise é

(1) Universidade Federal do Rio de Janeiro.

atribuída, em parte, a questões internacionais, como o endividamento externo e a retração dos investimentos estrangeiros associada a mudanças na divisão internacional do trabalho e dos mercados, propiciada pelas novas tecnologias e pelas novas formas de organização da produção. Incluem-se aqui a automação crescente nas indústrias e serviços, a passagem da linha de montagem do fordismo e do taylorismo para as ilhas de produção, a entrada de materiais sintéticos, a redução da intensidade energética dos produtos e a informatização associada às telecomunicações por satélites. Perderam espaço as vantagens comparativas de disponibilidade de recursos naturais e mão-de-obra barata. Isto ocorreu até mesmo com países produtores de petróleo, cujo preço, após ter subido com os choques dos anos 70, declinou até a recente crise do Kuwait. México e Venezuela enfrentam dificuldades não muito menores do que as do Brasil.

### 1.3 O papel do estado na infra-estrutura física

Os organismos internacionais de financiamento e os países ricos passaram a fazer uma pressão intensa para limitar a ação dos estados nacionais na promoção direta do desenvolvimento investindo em setores julgados prioritários, estrategicamente. No Brasil a intervenção do Estado nos setores de infra-estrutura foi bem sucedida do ponto de vista econômico até a década de 80, apesar da distorção do modelo de desenvolvimento adotado, concentrador e incapaz de melhorar o perfil da distribuição social da produção.

Na área de energia, esta intervenção deu prioridade tanto à construção de grandes hidrelétricas como ao projeto nuclear para geração elétrica que não se completou, tanto à produção nacional de petróleo "off shore" como ao estímulo da produção e uso do álcool em automóveis. Hoje a questão a ser enfrentada é a ausência de recursos para sustentar os investimentos neste padrão histórico e a emergência de forças políticas e sociais que se opõem às obras de grande impacto no meio ambiente natural e humano. Graves equívocos como o oneroso programa nuclear e o baixo coeficiente em watts por metros quadrados da hidrelétrica de Balbina reforçam estas críticas.

As alternativas energéticas foram pensadas às vezes como milagrosas, em uma visão ingênua muito comum após os choques do petróleo da década de 70. Esta visão superestimou sua viabilidade técnica e econômica até o início da década de 80. Entretanto os investimentos inicialmente feitos foram muito diminuídos ou descontinuados, indo de um pólo ao outro - sob influência da reversão da expectativa quanto à subida continuada do preço do petróleo. A crise do Kuwait recolocou a questão das alternativas energéticas mas não com a força anterior.

A seguir são tratadas alternativas relevantes ao caso brasileiro que não estão incluídas especificamente em outros textos das contribuições técnicas à conferência como formas convencionais de energia.

## 2 AS ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

### 2.1 As alternativas de energia não renovável

#### 2.1.1 O gás natural

O gás natural é encontrado associado ao petróleo ou em depósitos naturais de gás natural propriamente e é uma mistura de hidrocarbonetos leves em que 80 a 90% de volume são o metano e o butano. Quando associado ao petróleo, encontra-se na forma livre acima das camadas do óleo cru nos espaços porosos das rochas e também em solução. Pode ser processado para extrair dele o gás liquefeito de petróleo (GLP) além do gás residual propriamente. Há forte demanda industrial para o seu uso substituindo o óleo combustível com a vantagem ambiental de sua queima apresentar baixo nível de poluição do ar, podendo ser utilizado tecnicamente em caldeiras, fornos, estufas, ferramentas de corte. Sua distribuição em grosso é feita em gasodutos e pode ser canalizado na distribuição a varejo como ocorre no Rio de Janeiro, servindo como gás de uso residencial. É também cogitada sua aplicação em transportes coletivos urbanos em substituição ao diesel nos ônibus e na geração termoelétrica em regiões específicas, como no Norte.

Desde 1983 a Companhia Estadual do Gás (CEG) do Rio de Janeiro distribui gás natural canalizado para usos residencial, comercial e industrial e o mesmo está sendo agora feito pela Companhia de Gás de São Paulo (COMGÁS). Estas duas cidades são as únicas com rede de distribuição de gás canalizado, cuja ampliação e implantação em outros centros urbanos dependem de investimentos.

A introdução do gás natural nos transportes urbanos está sendo empiricamente verificada em experiências pilotos com limitado número de ônibus em cidades brasileiras, como Natal, Aracaju, Recife e Salvador no Nordeste. A Petrobrás, a Ypiranga e o Grupo Ultra, formaram a empresa Motogás para substituição do óleo diesel por gás natural no Rio e São Paulo. Para isto deverão ser substituídos motores diesel por motores Otto para gás natural ou então, adaptados os motores diesel para funcionar com dois combustíveis: óleo diesel e gás natural.

O estudo do Departamento Nacional de Combustíveis, do Ministério da Infra-estrutura (DNC, 1991) aponta os seguintes pontos críticos para o gás natural:

- a) complexidade na área institucional que apresenta conflitos na interpretação da competência e responsabilidade na distribuição;
- b) dificuldades na obtenção de recursos para investimentos nos segmentos de exploração, produção, transporte e distribuição;
- c) pressões crescentes do mercado consumidor, visando o deslocamento de alguns derivados de petróleo, o que exige permanente monitoramento na área de hidrocarbonetos para evitar problemas no abastecimento;

- d) avaliação criteriosa sobre a importação de gás natural, levando em conta a importância desse energético para a integração do Brasil com o Cone Sul, considerada, paralelamente, a potencialidade de reservas e de produção nacionais; e
- e) dificuldades no cumprimento legal das prioridades estabelecidas para o uso do gás por questões diversas, entre as quais se incluem investimento em malhas urbanas pelas companhias estaduais e o emprego desse hidrocarboneto, preferencialmente, em substituição ao óleo combustível.

As reservas mundiais de gás natural totalizam cerca de 100 trilhões de m<sup>3</sup> estando 43% na União Soviética, 26% no Oriente Médio, 9% na América do Norte, 6% na Europa, 5% na América Latina e o restante no resto do mundo. Estas reservas têm crescido mais rapidamente do que as de petróleo, indo de 48% destas últimas em 1970 para mais de 90% ao fim da década de 80, quando a sua produção era próxima de 60% da produção de petróleo. Seu consumo então ultrapassava os 30% das fontes primárias de energia na URSS, os 20% delas nos Estados Unidos e os 10% na Europa Ocidental (SUDENE, 1990).

No Brasil, por muito tempo o gás natural teve pouca presença na matriz energética, tendo-se em 1987 instituído o Plano Nacional do Gás Natural. Sua participação no Balanço Energético Nacional cresceu de 2% em 1974 para 3,6% em 1989. As reservas do gás natural evoluíram de 26.612 milhões de m<sup>3</sup> em 1970 para 116.000 milhões de m<sup>3</sup> em 1990, correspondendo a 105 milhões de toneladas equivalentes de petróleo, menos do que um terço das reservas de petróleo nacional (379 milhões de toneladas) (DNC, 1991). A descobertas destas reservas resultaram de busca de petróleo, predominando portanto o gás natural associado (60%). Este fato estimulou o seu crescente consumo no País. A evolução da estrutura do consumo evidenciou seu uso predominante diretamente como combustível industrial em detrimento à substituição de GLP em domicílios.

A produção de gás natural atinge 18 milhões de m<sup>3</sup>/dia, equivalendo a 118 mil barris/dia de petróleo, com um índice de utilização de 85%, pretendendo-se ultrapassar os 90% em poucos anos. 60% do gás natural é vendido às indústrias substituindo óleo combustível e 22% vai para a produção de fertilizantes. Outros usos, especialmente o domiciliar, cobrem apenas 18% do total.

## 2.1.2 Alternativas de fósseis sólidos

### a) Xisto

As duas maiores ocorrências de xisto no mundo encontram-se, por ordem de magnitude, nos Estados Unidos e no Brasil, este último com 800 milhões de barris equivalentes de petróleo. Nem todas as ocorrências são consideradas como reservas, por definição. Isto depende dos teores de óleo, das características físicas e químicas, da tecnologia de mineração e processamento. No Brasil as reservas estão localizadas em nove áreas

no Sul do País, que vão desde o Paraná até o Rio Grande do Sul.

Segundo o Balanço Energético Nacional (1990), os recursos e reservas brasileiras de xisto são de 382,7 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (TEP) em óleo de xisto e, de 104,3 milhões de TEP em gás de xisto, totalizando 487,0 milhões de TEP, superando o petróleo (379,1 milhões de TEP), mas é bem menor que o carvão (3888,1 milhões de TEP).

As reservas de xisto provadas podem fornecer 67,95 bilhões de m<sup>3</sup> de gás combustível, 7,41 milhões de m<sup>3</sup> de nafta, 24,92 milhões de toneladas de GLP, 1.863,39 milhões de barris de óleo e 48,32 milhões de toneladas de enxofre (DNC, 1991). A Petrobrás desenvolveu a tecnologia do processo Petrosix para processamento de xisto. Há uma usina protótipo em Irati que opera desde 1981 devendo entrar em operação em 1991 o módulo industrial de xisto. A produção atual e a prevista são dadas na TABELA 1.

TABELA 1 - Produção de xisto

Produtos	Atual na Usina Protótipo de Irati	Prevista para 1992 com o Módulo Industrial
Óleo	125	562
Gás combustível	40	134
Enxofre	18	90
GLP	-	50
Nafta	-	12

O custo de produção é de US\$ 30,6 por barril de óleo, o que é elevado comparado com o preço do barril de óleo obtido de petróleo. Este é o ponto crítico do uso do xisto segundo o relatório do DNC (1991), no qual o problema ambiental é considerado solúvel quanto à recuperação da área degradada pela mineração com base nos conhecimentos adquiridos com a experiência piloto. Entretanto deve-se alertar que se trata de mineração a céu aberto, em grande área, com efeitos intensos no meio ambiente.

### b) Turfa

As reservas e os recursos de turfa no Brasil são relativamente modestos, cerca de 40 milhões de TEP (BEN, 1990). A turfa há séculos é usada na agricultura, na recuperação de solos e também para fins combustíveis. Em países como a União Soviética e a Irlanda seu uso atual inclui a geração termoelétrica.

No Brasil a turfa, principalmente a do Nordeste, pode servir à agricultura pelas substâncias que contém, capazes de aumentar a capacidade de retenção de água pelo solo e de favorecer mecanismos de troca iônica, facilitando a ação de fertilizantes inorgânicos (AGUIAR, 1988). Parte da turfa brasileira, entretanto, não é adequada à produção de energia devido ao alto teor de cinzas, à dificuldade de secagem e também pela localização das turfeiras em relação à distância aos centros de consumo, encarecendo a energia produzida pela sua combustão.

A classificação padrão da turfa é baseada na qualidade das turfeiras do hemisfério norte, oriundas de plantas formadoras que se decompueram e se transformaram ao longo do tempo, diferentes das existentes na região tropical. Por esta razão deve-se fazer uma classificação botânica própria da turfa no Brasil. Estudos neste sentido têm sido feitos em outros países. Eles são necessários para apoiar a pesquisa geológica e para planejamento da drenagem, colheita e utilização da turfa, como também para o desenho de máquinas apropriadas à lavra, secagem, combustão e gaseificação. A tecnologia envolvida é simples. A Companhia Brasileira de Pesquisas de Recursos Minerais iniciou em 1979, um trabalho que resultou na identificação geológica de inúmeros depósitos de turfa. Mas este esforço não foi continuado no mesmo ritmo após 1985, embora estudos de sua utilização energética tenham sido desenvolvidos principalmente pela COPENER e pelo CEPED na Bahia, pela CESP em São Paulo e pela CECRISA em Santa Catarina. A FINEP, hoje integrante da Secretaria de Ciência e Tecnologia federal, financiou projetos neste sentido.

Os custos estimados de energia da turfa variarão conforme o local e o tipo de exploração, mas dependem ainda de investimentos não avaliados com precisão. Seus impactos ambientais são variáveis também, mas poderão ser sensíveis na medida em que grandes superfícies sejam removidas sem a devida recomposição do solo.

### 2.1.3 Comentários sobre alternativas de energia não renovável

- a) Estudos realizados no Brasil sobre novas tecnologias: células combustíveis, hidrogênio, uso do carvão e nuclear.

As alternativas acima destacadas - gás natural, xisto e turfa - refletem a disponibilidade técnica registrada nas estatísticas energéticas nacionais (BEN, 1990).

Comparativamente às reservas brasileiras de petróleo (P = 379,1 milhões de toneladas) elas equivalem, em energia calorífica potencial acumulada, a :

- i) gás natural - fração de P
- ii) xisto - pouco maior que P
- iii) turfa - pequena fração de P

Além delas, o Brasil, tanto quanto qualquer outro país em estágio tecnológico igual ou superior, poderá beneficiar-se da viabilização de novas tecnologias como a dos reatores intrinsecamente seguros, das células combustíveis, da conversão magneto-hidrodinâmica, da fusão nuclear hoje em estudo no mundo. A estas podem-se adicionar os aperfeiçoamentos da gaseificação (tecnologia usada) e da liquefação do carvão ou de sua queima mais eficiente como nos leitos fluidizados. A meio caminho entre as energias renováveis e as não-renováveis há ainda o hidrogênio, oriundo do uso de outras fontes primárias, renováveis ou não, como vetor energético.

Embora longe de ser comparável aos esforços de pesquisa e desenvolvimento dos países desenvolvidos, no Brasil alguns estudos têm sido realizados sobre estas alternativas, sendo útil referir-se brevemente a algumas delas.

Incluem-se neste item

- i) célula combustível
- ii) hidrogênio como vetor energético
- iii) aperfeiçoamento de tecnologias atuais de gaseificação, liquefação e queima de carvão.
- iv) energia nuclear

Embora haja trabalhos no País sobre estas tecnologias, as três primeiras não serão aqui tratadas por economia de espaço, remetendo-se às referências (LA ROVERE et alii, 1985; SOUZA DIAS et alii, 1988; VCBE, 1990).

Será aqui abordada a energia nuclear por ter sido a que mais se desenvolveu no País nos últimos anos e por que tem no balanço energético uma posição destacada (BEN, 1990), superior a 3 vezes P.

#### b) Alternativas de Energia Nuclear

São incluídas como alternativas aos reatores nucleares convencionais:

- i) alternativas de reatores de fissão nuclear;
- ii) fusão termonuclear.

Esta última dificilmente será viabilizada para produção de energia em nível mundial no horizonte de qualquer planejamento atual. Sua vantagem é dispor de combustível muito mais abundante do que o urânio, dado que usa núcleos atômicos leves mais presentes na natureza, e evita os produtos de fissão radioativos. A questão é a estabilização da reação termonuclear em cadeia, já utilizada nas bombas de Hidrogênio, e o controle do plasma, onde a fusão ocorre a altíssima temperatura, exigindo uma sofisticada tecnologia - em desenvolvimento nos Estados Unidos, Europa, inclusive na URSS, e Japão. São exploradas possibilidades como a fusão inercial com confinamento eletromagnético do plasma e a fusão induzida por raios laser.

Para países como o Brasil é difícil manter um continuado investimento na pesquisa em plasma e fusão nuclear, embora haja grupos trabalhando neste campo em universidades como a UNICAMP, a USP, a UFF, a UFRGS, no CTA e no IPEN. Em 1987 foi realizado pela COPPE/UFRJ, pela Sociedade Brasileira de Física e pela IUPAP, um seminário internacional no Rio de Janeiro sobre este assunto, resultando algumas recomendações gerais (SAKANAKA, 1987). Cogitou-se, após criar o Laboratório de Luz do Síncroton em Campinas, ligado à Secretaria de Ciência e Tecnologia federal, criar um Laboratório de Plasma e Fusão Nuclear no Rio de Janeiro, mas esta idéia não foi levada adiante.

Entre as tecnologias alternativas de reatores de fissão nuclear podem-se incluir as seguintes:

- i) reatores rápidos regeneradores;
- ii) reatores de altas temperaturas; e
- iii) reatores intrinsecamente seguros (podem incluir i e ii).

Embora os dois primeiros tipos de reatores sejam referidos pelo Grupo de Trabalho do Programa Nuclear

constituído em 1990 (PRONEN, 1990) no Brasil, o primeiro é ainda um projeto conceitual e o segundo está na fase de desenvolvimento de uma primeira pilha de grafite com urânio natural metálico e refrigeração a ar, no CTE<sub>x</sub> no Rio. Esta pode ter um possível desdobramento futuro na tecnologia de reatores a gás a altas temperaturas. Em nível mundial estes reatores não chegaram a ocupar o espaço da transição entre os térmicos, como os de Angra dos Reis, e os rápidos regeneradores. Os últimos, por sua vez, apesar da enorme vantagem na economia de urânio pois transformam em plutônio físsil o urânio 238, fértil, que constitui 99,3% do urânio natural, não ganharam ainda viabilidade econômica mesmo após a experiência francesa com os reatores Fenix e Super Fenix deste tipo (FINON, 1989). No Brasil foram feitos, nesta área, estudos nos institutos da Comissão Nacional de Energia Nuclear e no CTA, principalmente.

Resta como alternativa mais promissora a dos reatores intrinsecamente seguros, cogitada após o acidente com o reator de Three Mile Island (TMI) e reforçada após o de Tchernobyl.

Estes novos reatores teriam como característica intrínseca ao seu projeto, garantir que em caso de explosão térmica o material radioativo fique confinado e não se espalhe no ambiente. Entre as concepções em estudo há a dos reatores PIUS, dos reatores a grafite modulares e a dos reatores a água leve avançados. Estes últimos já têm na sua versão atual, o prédio de contenção para confinar o material radioativo que porventura escape do vaso do reator, mas não se pode garantir sua integridade na pior hipótese crível de acidente. Os reatores a água leve avançados terão esta função aperfeiçoada, usando, entre outros, processos físicos passivos, como a convecção natural para manter a circulação do refrigerante em caso de acidente. Isso já é usado em alguns reatores de submarino. No Brasil pensa-se a partir do reator de 11 MW, PWR, em desenvolvimento pela Marinha em ARAMAR para propulsão naval, desenvolver um reator modular de 100 MW (PRONEN, 1990) com algumas características semelhantes às dos intrinsecamente seguros, embora não possa ser propriamente incluído entre eles. Tais reatores usariam em princípio, urânio enriquecido a cerca de 4% do isótopo U-235, usando a tecnologia desenvolvida em ARAMAR para enriquecimento.

A energia nuclear é objeto de uma crítica por movimentos ambientalistas, por causa de sua relação com as armas nucleares e de seu risco. Este último, a tecnologia dos reatores intrinsecamente seguros busca reduzir, embora permaneça em aberto a questão de armazenamento dos rejeitos radiativos. A preocupação com o efeito estufa, relacionado à emissão de CO<sub>2</sub> e outros gases nas termoelétricas convencionais, abriu um espaço para discutir a energia nuclear em países como os Estados Unidos, onde desde o acidente de TMI não houve novas encomendas de reatores. No Brasil esta questão ainda não se coloca nos mesmos termos pois a geração hidrelétrica predomina largamente.

Quanto à restrição devido às possíveis aplicações militares, tem havido no Brasil uma séria crítica de

setores da comunidade científica ao papel importante das forças armadas no desenvolvimento da tecnologia nuclear nos últimos anos. Um avanço conquistado foi o recente acordo diplomático com a Argentina no sentido de se estabelecer inspeções mútuas das instalações nucleares dos dois países (ROSA et alii, 1991).

## 2.2 Alternativas de energia renovável

### 2.2.1 Solar

#### a) A enorme potencialidade e as limitações

O Brasil é situado em segundo lugar, após a União Soviética, quanto à energia solar incidente. Deve-se isto à sua localização, com grande parte do seu território entre o Equador e o Trópico de Capricórnio, bem como à enorme extensão territorial do País, de 8,5 milhões de km<sup>2</sup>. Ao se tomar os 29 x 10<sup>15</sup> kWh de energia solar incidente, em comparação com, por exemplo, a produção de energia elétrica nacional, que foi de cerca de 23 x 10<sup>10</sup> kWh em 1989 (BEN, 1990), pode-se chegar a uma conclusão impressionante de que a energia solar incidente é cerca de 100.000 vezes maior que a produção de energia elétrica. Mas nem toda esta energia é disponível realmente. Devido à absorção e à reflexão na atmosfera, atinge uma superfície horizontal do território nacional, em média, algo entre 1500 e 2000 kWh/m<sup>2</sup> por ano, variando conforme o local do País. Deve-se levar em conta a eficiência da conversão da energia solar em energia térmica útil ou em energia elétrica e, além disto, apenas uma pequena fração da superfície territorial pode ser usada para esta conversão de energia, ainda que se incluam os tetos das habitações, onde se pode instalar coletores solares. Mas mesmo assim a energia de origem solar, tecnicamente disponível no Brasil, poderia ser algo como 100 vezes a produção atual de energia elétrica, o que é muito grande. Entretanto, seu aproveitamento não é tão simples, principalmente pelos custos comparativos. Superado este obstáculo, o que tende a ocorrer em um horizonte plausível, as vantagens da energia solar se imporão pela sua disponibilidade difusa, permitindo a descentralização da geração elétrica, e pelo seu pequeno impacto ambiental. Permanece, no entanto, um problema intrínseco decorrente da variabilidade das condições de nebulosidade obstruindo a luz solar direta, obrigando ou ao armazenamento da energia em baterias, ou o uso de outra fonte energética de reserva ("back up"), o que sempre onera o custo do sistema.

Há duas formas básicas de aproveitamento da energia solar:

- i) pelo aquecimento de um fluido para uso térmico propriamente, ou para realização de conversão de calor em trabalho em uma máquina, que poderá acionar um gerador elétrico, entre outras possibilidades e
- ii) pela conversão fotovoltaica que transforma diretamente a energia solar em energia elétrica.

Certamente é nesta segunda modalidade (ii) que está a enorme potencialidade da energia solar, já utilizada em células solares nos equipamentos de retransmissão de telecomunicações, em locais isolados e de difícil acesso.

#### b) Energia solar térmica

Entretanto, o aquecimento de água, em geral em algumas residências e hotéis, ainda é a aplicação mais difundida da energia solar no Brasil. Na segunda metade da década de 80, existiam 25 fabricantes de coletores solares (modalidade i, acima definida) com uma capacidade anual de produção equivalente a 30.000 m<sup>2</sup> (FARO ORLANDO, 1989).

Mesmo nessa forma mais simples, os coletores solares são caros no que tange ao investimento inicial, apesar de propiciarem, depois, a economia de energia elétrica. Este aspecto torna a energia solar pouco acessível ao uso maciço por parte de amplos segmentos da população, inclusive de parcela das classes médias de menor renda. Comparativamente ao preço de um chuveiro elétrico - muito difundido e barato - o custo do coletor solar não é estimulante, mesmo considerando o maior custo de operação do chuveiro elétrico por causa do pagamento da energia elétrica.

Algumas questões então se colocam:

- i) é possível através de um sistema de financiamento ao consumidor, viabilizado através da conta de luz elétrica, estimular a compra dos coletores, economizando parte dos investimentos em ampliação da geração elétrica para atender a demanda do aquecimento de água, em particular de chuveiros que pesam muito na ponta por volta do início da noite, quando a demanda cresce muito por pouco tempo, obrigando um aumento da potência instalada nas centrais geradoras.
- ii) este sistema permite à empresa de energia elétrica deixar de investir em parte da expansão da capacidade instalada na geração elétrica e na distribuição, transferindo este investimento concentrado para o setor privado, desde que se equacione devidamente a necessidade de "back up" para os dias nebulosos, com pouca luz solar direta, quando os consumidores demandarão outras formas de energia (gás ou eletricidade, por exemplo).
- iii) através de posturas do poder público para construções, é possível incluir o coletor solar nos prédios novos, especialmente de padrão médio e superior, sendo neste caso o preço do coletor uma pequena fração do custo do imóvel, não onerando demasiadamente o custo total. Um problema, neste caso, é o dos prédios muito altos, com baixo coeficiente de área horizontal exposta ao sol no topo, por morador. Outra limitação é a extensão do uso de coletores para habitações de baixa renda, onde está a absoluta

maioria da população, para a qual qualquer acréscimo de custo é oneroso.

iv) deve ser buscado o barateamento dos coletores, usando materiais mais simples, mesmo à custa de sua vida útil e da otimização com vistas à eficiência, para ampliar seu uso.

Em diferentes medidas, alguma coisa começou a ser feita no sentido dos pontos acima, em especial em São Paulo pela ação da Agência de Energia, em associação com a CESP. Mas o processo em curso é ainda tímido face às possibilidades.

Nos Estados Unidos, tomado para comparação através de incentivo, os fabricantes chegaram a colocar no mercado algo entre 10 e 20 vezes mais coletores por ano do que no Brasil, mas após 1986, quando os incentivos foram abolidos, o número de fabricantes caiu muito. A tendência atual é a redução do custo para melhorar as vendas (FARO ORLANDO, 1989) e reduzir o tempo de retorno do investimento, que chegou a ser de cerca de cinco anos.

Os coletores solares mais usados são os planos, postados horizontalmente, o que é a tecnologia mais simples. A superfície absorvedora de calor pode ser uma placa metálica de cobre ou de alumínio recoberta com tinta preta, pois esta cor otimiza a absorção, usando-se tubos em contacto com esta superfície para circular o fluido a ser aquecido.

Além do aquecimento de água a temperaturas não muito altas para fins residenciais e em hotéis, e a temperaturas um pouco maiores, para fins industriais - na indústria de alimentos por exemplo - a energia solar térmica pode ter campo de aplicação no Brasil na secagem de alimentos, na irrigação e no bombeamento de água, na destilação, no condicionamento de ar e aquecimento ambiental. As possibilidades variam devendo-se identificar aplicações por diferentes faixas de temperatura, sendo as mais baixas favorecidas na aplicação dos coletores planos.

Uma possibilidade de uso térmico de energia solar mais ambiciosa é a geração termoelétrica através de sistemas de espelhos não planos, concentradores de energia espacialmente em pontos, nos quais se instalam as tubulações para aquecer o fluido de trabalho. Deve-se gerar vapor para acionar uma turbina acoplada ao gerador elétrico, tal como em uma central térmica convencional. Em projetos mais sofisticados os espelhos concentradores movem-se para otimizar a captação de energia, acompanhando o movimento do Sol na abóbada celeste. Embora a viabilidade econômica de sistemas de concentradores em torres esteja em teste em outros países, como os Estados Unidos, em particular na Califórnia, ele não é competitivo no Brasil.

Entretanto, em sistemas isolados para retransmissão de telecomunicações já são freqüentemente usadas as células fotovoltaicas (modalidade ii) no País. O desenvolvimento tecnológico na área de conversão direta da energia solar em elétrica tem experimentado uma maior aceleração em todo o Mundo.

c) A conversão fotovoltaica como alternativa para geração elétrica

Também na conversão fotovoltaica os números são impressionantes: recobrimo com células fotovoltaicas, de 6% de eficiência, uma área equivalente aos 142 mil km<sup>2</sup> que seriam inundados por reservatórios formados pelas barragens, caso todo o potencial hidrelétrico do País fosse utilizado (ROSA, 1989) obtém-se, tomando uma média da incidência solar de 1750 KWh/m<sup>2</sup>/ano, cerca de 15.000 TWh por ano. Este valor é mais do que 16 vezes maior do que a energia firme correspondente ao potencial hidrelétrico total brasileiro, 930 TWh por ano ou 106,5 GW médios (PLANO 2010). Esta comparação, no entanto, tem seu significado prático limitado pela diferença de custos entre estas duas alternativas de geração elétrica, favorecendo a hidreletricidade em relação à conversão solar-elétrica e confinando esta a casos específicos, como as estações isoladas retransmissoras nas telecomunicações.

Apesar de estar ainda em patamar elevado, o custo das células fotovoltaicas tem se reduzido ao longo dos anos, com expectativa de viabilização econômica futura em grande escala, abrindo o caminho para reduzir a dependência da geração elétrica centralizada e ligada à rede. O custo caiu de US\$ 20 por Watt-pico ao fim da década de 70 para algo entre 6 e 8 dólares por Watt-pico ao fim da década de 80 (VIEIRA DE CARVALHO, 1989), ainda maior do que o da hidreletricidade, que está entre US\$ 1000 e US\$ 2000 por quilowatt, variando muito conforme o local.

A redução de custo está em conexão com a rápida evolução da tecnologia das células que tem ocorrido recentemente, melhorando a eficiência da conversão e a vida útil do equipamento. Há hegemonia da tecnologia do silício. O Brasil atingiu o estágio de fabricar lâminas de monocristal de silício e é feita a montagem de células. Em universidades e institutos de pesquisa são estudados sistemas fotovoltaicos mono e policristalinos, especialmente na USP, UNICAMP, UFRJ, UFPe.

Uma possibilidade técnica é dar aos painéis de células solares, graus de liberdade e transmitir-lhes movimento para acompanhar o deslocamento do Sol, melhorando a eficiência na captação da energia solar, tal como se fez em alguns projetos de espelhos concentradores para energia solar térmica.

Plantas de conversão fotovoltaica devem funcionar obviamente durante o dia, enquanto há sol, contribuindo para economizar combustível de usinas termoelétricas. No caso brasileiro estas têm ainda um papel modesto devido à grande disponibilidade de potencial hidrelétrico ainda não aproveitado (quase 80% do total estimado e inventariado), com custo favorável. Entretanto, esta situação tende a mudar na medida em que se aproxime o esgotamento do potencial hidrelétrico não aproveitado (tecnicamente), utilizável (politicamente). Assim, com a evolução do custo de energia elétrica fotovoltaica, esta poderá tornar-se uma alternativa econômica, efetiva-

mente, para a geração elétrica no Brasil, com a vantagem do pequeno impacto ambiental, merecendo maior atenção no planejamento energético.

A energia hidrelétrica no Brasil apresenta as seguintes vantagens e problemas:

- i) Vantagens:
  - abundante
  - custo favorável em relação às alternativas
  - renovável
  - tecnologia dominada
  - não contribui para os gases do efeito estufa
- ii) Problemas
  - altos investimentos
  - geração centralizada
  - transmissão por longas distâncias
  - impactos ambientais e sociais
  - potencial concentrado na Amazônia

O potencial hidrelétrico ainda não aproveitado pode, combinando estes aspectos, ser classificado em:

- i) potencial técnico utilizável, e
- ii) parcela não utilizável politicamente.

A diferenciação entre estas duas categorias se torna essencial no estudo de alternativas à geração elétrica hoje, porque enquanto o potencial é um dado técnico, estimado e inventariado pela Eletrobrás (PLANO 2010), sua utilização envolve aspectos políticos reais que não devem ser esquecidos no planejamento (ROSA et alii, 1988; ROSA et alii, 1989; ROSA, 1990; MAGRINI, 1991).

Embora se utilize hoje pouco mais de 20% do potencial hidrelétrico, deixando quase 80% não aproveitados, os impactos ambientais e sociais dos grandes reservatórios de água, formados pelas barragens, trazem uma crescente oposição das populações atingidas e dos movimentos ambientalistas, tornando pouco plausível sua utilização total.

Agravam esta dificuldade dois dados relativos às pressões internacionais que influem nas decisões políticas internas:

- i) a maior parte do potencial hídrico está na Amazônia, sensível ambientalmente e alvo da atenção mundial;
- ii) a dificuldade de investimentos das empresas estatais de energia, alvo das pressões privatizantes do neo-liberalismo vigente.

Em conseqüência, o espaço para as termoelétricas cresce, como já é manifesto na revisão do Plano 2010 pelo chamado Plano Decenal (ELETROBRAS, 1990; ROSA et alii, 1990). Assim ganha sentido discutir alternativas para economizar na geração elétrica, combustíveis em geral custosos e poluentes.

A energia solar surge então como uma alternativa entre outras, mas que apresenta as vantagens de ter pequeno impacto ambiental e de ser compatível com a descentralização, viável desde que se reduza o seu custo atual.

## 2.2.2 Algumas outras alternativas de energia renovável

### a) Energia eólica

Em contraste com a solar, cujo uso pode ser difundido em todo o território nacional, a energia eólica fica na prática restrita, quanto à viabilidade técnico-econômica, a algumas áreas, em virtude das características locais de constância e de velocidades dos ventos. Esta dependência se torna muito mais sensível que a da energia solar aproveitável com relação à energia solar média incidente no solo, pois enquanto esta última dependência é linear, a energia eólica potencialmente disponível varia com o cubo da velocidade do vento. Ademais, o regime de ventos varia muito mais fortemente de um local a outro, exigindo levantamento detalhado de dados medidos no terreno.

Portanto, não é trivial estimar o potencial eólico do País com confiabilidade. Um cálculo estimativo grosseiro pode ser feito a partir da energia solar incidente na atmosfera da Terra ( $10^9$  TWh/ano), considerando que cerca de 1,5% dela é convertida em energia eólica. Esta conversão se dá pelo aquecimento diferenciado da atmosfera associado ao movimento do planeta. Supondo que apenas pouco mais de 0,1% desta energia corresponda aos ventos a baixas altitudes, aproveitáveis, tem-se 20.000 TWh/ano (HIRATA, 1988). Tomando-se uma fração hipotética deste valor global para estimar o potencial eólico brasileiro, este será uma fração dos 930 TWh/ano de energia firme, correspondente ao potencial hidrelétrico total. Este limite, estimado com forte dose de arbítrio, deve ser ainda reduzido pelas limitações técnicas para seu aproveitamento, a começar pela eficiência da conversão. Apenas uma pequena fração do valor acima estimado fisicamente é disponível tecnicamente. Os critérios de utilização referidos à distribuição geográfica dos ventos apenas viabilizam a energia eólica em áreas que devem ser levantadas preliminarmente. Infelizmente não se conhece bem o regime dos ventos no Brasil e não há levantamento sistemático do potencial eólico nacional. Mas, estudos indicam que ele não é muito grande, havendo condições razoáveis na orla costeira, com áreas promissoras no Nordeste e no Sul (HIRATA, 1988). Levantamentos locais de dados foram feitos no Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraíba.

Portanto, ao contrário da energia solar, a eólica equivale a uma pequena fração do potencial hidrelétrico brasileiro (106,5 GW de potência média), tomado aqui como referência sistemática para comparação.

Apesar disto, ela pode ter importância regional, merecendo atenção. A aplicação mais comum da energia eólica no Brasil é o bombeamento de água nas salinas - como se pode ver na paisagem litorânea das áreas salineiras - e para irrigação em fazendas.

Foram feitos projetos de utilização de cataventos em substituição às motobombas a óleo diesel na irrigação. Outros usos de pequena escala factíveis são o

aquecimento de água e a secagem de grãos, mas o mais importante é a geração elétrica para iluminação ou acionamento de equipamentos elétricos em fazendas e locais isolados. Neste aspecto, a energia eólica, embora pouco significativa globalmente na matriz energética brasileira, pode ter importante papel localmente.

Pequenas unidades de até 1 KW são disponíveis comercialmente e unidades de maior porte foram objeto de estudos e experiência no CTA, COPPE/UFRJ, UFRGS e PUC-RJ. Na UFPb, em Campina Grande, desenvolveram-se estudos apropriados ao meio rural regional.

Quanto à tecnologia, embora haja desenvolvimento de cataventos de eixo vertical, predominam ainda os de eixo horizontal. Cataventos de pequeno porte disponíveis podem ser usados para as diversas finalidades citadas. Para "back up", quando é baixa a velocidade dos ventos, pode-se acoplar o catavento a geradores diesel ou outras fontes de energia. O problema é de maior monta quando se deseja fazer geração elétrica. Como cataventos de grande porte trazem dificuldades técnicas maiores, uma solução é acoplar cataventos menores entre si formando fazendas de energia eólica, como em Altamanta, na Califórnia.

No Brasil, as indústrias produtoras de cataventos são, em geral, microempresas sem capacitação técnica, sendo raro terem engenheiros fora os de produção. Assim é recomendável aproximar centros de pesquisa e grupos de universidades a estas empresas para buscar aperfeiçoar os cataventos bem como ampliar seus usos, considerando as vocações e características regionais.

### b) A energia do mar

Pela enorme extensão do seu litoral, o Brasil não pode desconsiderar o mar ao pensar um novo estilo de desenvolvimento, inclusive quanto ao uso das alternativas energéticas do oceano. Neste item são incluídas:

- i) energia das marés;
- ii) energia das ondas;
- iii) gradiente térmico entre a superfície e o fundo do oceano;
- iv) gradiente de salinidade;
- v) energia das correntes.

Por convenção, não se incluem aqui a energia que pode ser obtida da biomassa marinha e a energia dos recursos naturais geologicamente sob o mar, como o petróleo e o gás natural "off-shore"- tratados em outra parte.

A energia das marés é a de mais fácil utilização no atual estágio da técnica. O movimento das marés é causado pela força gravitacional, combinada com efeitos dos movimentos da Terra e da Lua no Sistema Solar. Neste sentido, pode ser relacionada à energia cinética fóssil do sistema planetário, oriunda da sua formação na evolução do universo. As águas oceânicas são atraídas com maior ou menor força, conforme as posições relativas do sistema Lua-Terra-Sol. A componente mais importante é devida à Lua, mas quando Sol e Lua estão alinhados, vistos da Terra, há as maiores amplitudes de variação das marés.

A energia das marés é renovável e de impacto ambiental pequeno, restrito à alteração local devido à instalação maremotriz, mas não é poluente. Pode ser considerada como economicamente utilizável, dependendo da altura da maré, sendo razoável utilizar variações superiores a 5 metros de altura.

Esta limitação de ordem técnica, limita o seu potencial econômico estimado entre 400 e 3000 GW em todo o mundo (GILLON, 1986). As técnicas de aproveitamento da energia das marés para geração elétrica envolvem deslocamento vertical, correntes, efeitos de pressão e represamento. Este último é o mais importante. As áreas exploráveis mais promissoras ficam nas costas do Alaska e British Columbia, Golfo da Califórnia, Baía de Biscaya, Oceano Índico e costa leste do Canadá (PARENTE RIBEIRO, 1991). Foram feitas instalações maremotrizes no Estuário de Rance na França, na Baía de Kislaya na União Soviética e também na China. Em Rance a água passa por turbinas de bulbo, fornecendo uma potência de 240 MW.

A viabilidade econômica depende das condições específicas de cada aproveitamento. A Índia projeta construir uma usina maremotriz no Golfo de Kachch, onde a variação da maré é de 8 m no máximo e de 5 m em média. A potência prevista no projeto é de 900 MW (cerca de uma vez e meia a do reator de Angra I). A barragem principal teria pouco mais de 3 km de extensão (DAYAL, 1989).

Estes números dão uma idéia da potencialidade desta forma de energia, no máximo da ordem de alguns gigawatts geograficamente restrita, que no Brasil não ultrapassa uma pequena fração do potencial hidrelétrico-nacional. São exploráveis áreas no Nordeste/Norte em que a amplitude da maré chega a 7m. Em especial no Maranhão foram realizados estudos e levantamentos pela Eletrobrás.

A energia das ondas do mar é de utilização mais difícil. Ela é basicamente devida à interação dos ventos com a superfície do oceano. Embora as ondas estejam disseminadas ao longo das costas, seu uso é mais complexo porque as instalações devem resistir à força do mar em casos desfavoráveis, como em tempestades. Existem patentes de instalações para geração elétrica. Os equipamentos incluem rampas, flutuadores e osciladores. Experimentos foram realizados como demonstração. Pesquisa e desenvolvimento têm sido realizados em vários países, em especial no Japão, Irlanda, Inglaterra, Canadá e Noruega (DAYAL, 1989).

A potência de uma onda é proporcional ao quadrado de sua altura e ao período de oscilação. Uma onda de 1 metro de altura e de 10 segundos de período possui uma potência de 10 KW por metro de largura (GILLON, 1986). Embora seja arbitrário fazer uma estimativa sem considerar a distribuição da altura e do período das ondas ao longo da costa e no tempo, o coeficiente acima permite uma avaliação grosseira. Tomando-o como indicativo de ordem de magnitude, na hipótese de usar 1000 km de extensão da costa - uma pequena fração do litoral brasileiro - para instalação de usinas de aproveita-

mento da energia das ondas, a potência seria de 10 GW - bem menor do que o potencial hidrelétrico nacional. Se bem que uma maior extensão possa ser utilizada, há as perdas na conversão de energia, valendo apenas como ordem de grandeza, o número acima.

O aproveitamento do gradiente térmico dos oceanos é ainda mais complexo do que o uso da energia das ondas. Baseia-se no emprego do ciclo termodinâmico de Rankine, operando entre as temperaturas da superfície e das águas profundas. Para haver um rendimento utilizável é preciso que a diferença  $\Delta T$  entre as temperaturas não seja muito pequena, conforme o teorema de Carnot, e que se disponha de um fluido de trabalho adequado a elas. Por exemplo, a amônia se condensa a 4°C (fonte fria nas águas profundas) e vaporiza-se a 25°C (fonte quente na superfície). A diferença  $\Delta T$  atinge um valor razoável da ordem de 20°C em certas faixas do oceano. No Brasil,  $\Delta T$  é superior a 20°C na costa sudeste e, superior a 22°C na costa das regiões Nordeste e Norte.

Com uma diferença de temperatura desta ordem, a eficiência térmica é de cerca de 3%, obrigando a uma grande circulação de fluido para extrair uma energia ponderável. Este problema se alia aos da necessidade de tubulações enormes, de grandes trocadores de calor, grandes plataformas no mar, de corrosão, incrustação biológica e da necessidade de cabos para levar a energia elétrica gerada à terra. Cogita-se de usar plataformas de petróleo desativadas (LOBO CARNEIRO, 1988). Vários estudos e projetos preliminares foram feitos em países desenvolvidos como Kahe Point no Havai, chegando-se ao projeto básico de engenharia e a ensaios com modelos reduzidos (VIEIRA DE CARVALHO, 1989). Alguns deles tiveram uma estimativa de custo viável, como o do IFREM, da França, dependendo do preço internacional de petróleo (GAUTHIER, 1987). Certamente tais instalações implicarão em impacto ambiental sensível, embora este possa se dar longe da costa.

O gradiente de salinidade e o uso das correntes no mar são tecnologias em estágio muito preliminar, exigindo ainda estudos em nível mundial.

Embora com muitos problemas complexos a serem resolvidos, o gradiente térmico dos oceanos é a modalidade de energia do mar com maior potencial físico vislumbrável. Sua limitação é menos física do que técnica e econômica. Prevê-se que cada unidade geradora terá capacidade entre 100 e 400 MW de geração elétrica (VIEIRA DE CARVALHO, 1989). Tomando-se este valor como base de cálculo, seriam necessárias 500 plataformas, um número ponderável, para atingir algo como 200 GW, valor comparável ao potencial hidrelétrico brasileiro, podendo superá-lo, dependendo do fator de capacidade das usinas oceânicas. Com um maior número de plataformas se obteria muito maior energia.

Em resumo, a energia do mar, apesar das múltiplas possibilidades, encontra-se mais distante da aplicação imediata do que a solar e a eólica. A Comissão Interministerial de Recursos do Mar (CIRME), coordenada pelo Ministério da Marinha, promoveu estudos que

incluiram as alternativas energéticas do oceano (COPPETEC, 1987).

### 2.2.3 Comentários sobre alternativas de energia renovável no Brasil

#### a) As novas tecnologias e os novos usos da tecnologia tradicional

Foi estimada aqui a potencialidade técnica (não apenas a fisicamente disponível) das alternativas de novas tecnologias de energia renovável no país em ordem de magnitude, comparativamente ao potencial hidrelétrico  $H = 106,5$  GW médios (potência média correspondente à energia firme, sendo a potência máxima 213 GW com fator de capacidade de 50%). O resultado da estimativa foi:

- i - solar - muito maior que H
- ii - mar - gradiente térmico - maior que H  
ondas - fração de H  
marés - pequena fração de H
- iii - eólica - pequena fração de H

Destas, como foi visto no planejamento energético para a construção de um novo estilo de desenvolvimento, têm condições técnicas de aproveitamento em breve termo, dependendo de viabilidade econômica: solar (térmica e fotovoltaica), eólica e marés (em desenvolvimento).

Apenas a solar reúne a quantidade enorme de energia com a qualidade de estar disponível, ainda que seu custo deva ser diminuído para permitir que venha a ter importante participação econômica.

A estas, deve-se lembrar de juntar as tecnologias de formas de energia renovável bem estabelecidas no país, mas que podem comportar alternativas, seja em regimes de utilização diversos do usual, seja com tecnologias diferentes das usuais.

Entre estas últimas destacam-se no Brasil: biomassa renovável, mini-hidrelétricas.

#### b) Biomassa como alternativa energética

Paradoxalmente, a biomassa predominante no balanço energético nacional é a lenha, sob a forma mais tradicional e em grande parte oriunda de florestas nativas - não renovável - correspondendo a 21,2% do total da energia primária (BEN, 1990). Esta participação decresceu do percentual de 47,6% em 1974 ao de 33,4% em 1980. Uma parcela da lenha é usada para produzir carvão vegetal, consumido inclusive na siderurgia como alternativa ao carvão mineral, mas a maior parcela é queimada "in natura" em indústrias, no setor comercial e agrícola e nos fogões das residências no meio rural, com a baixíssima eficiência de 7% (BEN, 1990) enquanto esta é de 45% no uso do GLP. Estudo feito na COPPE mostra que a lenha de uso residencial consiste de gravetos coletados em maior parte, contribuindo pouco ao desmatamento em relação a outras causas (BAKER BOTELHO, 1986).

Dos novos usos da biomassa, uma alternativa muito discutida no Brasil foi o biogás, que pode ser obtido da decomposição de rejeitos vegetais e animais, a exemplo de países como a China e a Índia. Um programa foi feito com apoio de indústrias e de organismos brasileiros, como o BNDES, e internacionais, como a OLADE e a FAO, para a implantação de milhares de biodigestores nos anos 80. Embora a tecnologia seja simples e tenha sido usada em outros países, houve dificuldades para a continuidade da operação dos biodigestores no Brasil, devido à necessidade de manutenção e à falta de hábito da população rural para seu uso (MOREIRA, 1987). Com medidas adequadas para estimular seu uso, o biogás poderia ganhar um papel mais importante. Biodigestores, na maior parte em indústrias, têm sido utilizados com bons resultados no País.

Outra alternativa energética da biomassa, cogitada e não bem sucedida, foi a substituição do óleo diesel - gargalo da estrutura de refino de petróleo brasileiro e estratégico para o transporte coletivo e de cargas - por óleos vegetais. Estudos neste sentido foram feitos considerando várias alternativas de produtos vegetais - óleos de soja, amendoim, girassol, colza, dendê, babaçu, abacate, mamona. Seu uso poderia ser com beneficiamento simples ou com transesterificação para transformá-lo (SALAMA, 1982). Alguns veículos de motor diesel, inclusive ônibus urbanos, chegaram a ser experimentalmente abastecidos com óleo vegetal, mas o programa não foi mantido. Problemas técnicos e de custo devem ser resolvidos. Para uma produção em larga escala devem ser equacionadas questões como a disponibilidade de sementes para a expansão das lavouras, implantação de novas plantações em solos apropriados, insumos agrícolas e financiamento. As questões se complicam considerando a variedade de produtos vegetais cogitados, devendo-se selecionar prioridades. Recentemente, o seu uso voltou a ser cogitado pelo governo mas não foi adiante.

Em contraste, um programa de biomassa brasileiro se tornou exemplar em nível mundial - o uso do álcool em automóveis.

O papel mais importante que a biomassa ganhou como alternativa energética no Brasil tem sido o da cana-de-açúcar para produção de álcool combustível (anidro em mistura à gasolina e hidratado puro nos automóveis), tendo como subproduto o bagaço (quase todo queimado nas destilarias e subutilizado). Sua participação foi de 11,8% das fontes primárias de energia em 1989 (BEN, 1990). Pode-se considerar a cana como alternativa energética pois o álcool substitui um derivado de petróleo: a gasolina nos automóveis. O bagaço da cana, por sua vez, é quase todo consumido nas destilarias de álcool, com eficiência pequena. O programa do álcool, dado como exemplo de alternativa energética oriunda da biomassa em referências internacionais, enfrenta problemas. Desde 1989/90 há falta do produto pelo descompasso entre o crescimento acelerado da demanda e a estagnação da produção, desestimulada quando o preço do petróleo deixou de subir. As vendas de carros

a álcool haviam atingido mais de 90% do total nos últimos anos da década de 80. A crise de abastecimento no final da década, foi atenuada pela importação do metanol para mistura ternária com álcool hidratado e gasolina. Mas a venda de carros a álcool caiu vertiginosamente desde então, apesar do efeito psicológico da guerra do Kuwait. Tudo indica que os carros novos tenderão a ser movidos a gasolina, ficando o álcool hidratado puro apenas para os carros antigos e o álcool anidro mantido em mistura à gasolina.

Esta seria a nova fase do programa de álcool, de certo modo retroagindo à primeira fase, de 1974 a 1979, quando não eram fabricados carros a álcool hidratado puro. A questão em discussão é o percentual do álcool anidro na gasolina, desejando os produtores de álcool e a indústria de automóveis manter como está, até 22%, e a Petrobrás reduzi-lo a no máximo 10% para os carros novos.

Um problema é o custo do álcool, superior ao da gasolina, apesar de ter decrescido ao longo do tempo. Suas vantagens são a melhoria de poder antidetonante, evitando o uso de aditivos mais poluentes na gasolina, e a menor emissão de monóxido de carbono e de alguns outros gases poluentes na descarga dos carros brasileiros, comparativamente à gasolina. Assim seu uso ganha um sentido ambiental, para a qualidade de ar nas regiões metropolitanas. Entretanto, fixado o combustível com dada proporção de gasolina e álcool, é possível manter a emissão no nível desejado, projetando adequadamente os motores. A solução é, portanto, a padronização de um único combustível de Ciclo Otto, composto de gasolina e álcool (10% ou 22%) deixando espaço também para o gás natural em veículos de frotas cativas.

Sem dúvida, o álcool representou no Brasil uma alternativa energética, mas não contribuiu no sentido de um novo estilo de desenvolvimento, pois, ao contrário, consolidou o uso intensivo do automóvel, ameaçado com os choques do petróleo da década de 70. É importante hoje redefini-lo devendo o governo tomar uma decisão clara de planejamento energético, para evitar o colapso de uma atividade com elevado número de empregos.

Uma alternativa para atenuar o custo do álcool é a produção de energia elétrica nas destilarias, pela queima de bagaço, para vendê-la à rede de distribuição. O potencial pode ser substancial se houver melhoria da eficiência atual da queima de bagaço, para geração elétrica. Melhor ainda seria o uso de ciclo combinado com turbinas a gás e a vapor. Para isto, é preciso desenvolver a tecnologia de turbinas a gás, usando bagaço.

### c) Mini-hidrelétricas

A geração elétrica brasileira é predominantemente hídrica, feita por grandes centrais com impactos ambientais e sociais muito fortes, suscitando movimentos contra as barragens. No Plano 2010 da ELETROBRÁS consta haver 7,1 GW de potência a instalar de hidrelétricas de menos de 30 MW cada, que foram descartados

no planejamento. Em geral, tratam-se de usinas pequenas (PCH), que não devem ser confundidas com minicentrais - estas na faixa de potência de 100 KW até 1000 KW.

Neste caso, é possível projetar as minicentrais com equipamentos disponíveis comercialmente e a custo razoável. Em geral, são usinas de pequena altura de barragem, até 5 m (embora a altura da queda possa ser maior aproveitando a configuração natural), localizadas próximas ao local de consumo da energia gerada. Podem ser a fio d'água, isto é, sem reservatório regulador, ou ter reservatório de acumulação com regularização diária.

Além dos estudos por grupos de universidades, foi elaborado um manual para construção de mini-hidrelétrica pela ELETROBRÁS. As mini-hidrelétricas podem ser muito importantes como alternativa descentralizada em fazendas e pequenas localidades, independentemente do maior ou menor papel no balanço energético global do país.

## 3 OUTROS ELEMENTOS DA INFRA-ESTRUTURA FÍSICA; PARA UM NOVO DESENVOLVIMENTO

### 3.1 Os transportes e a necessidade de prioridade ao público

Certamente um novo estilo de desenvolvimento, com maiores preocupações sociais, em que se busque maior harmonia com o meio ambiente, terá de implicar em mudanças profundas no sistema de transportes do País. De um lado, tem repercussões sociais e econômicas importantes, de outro tem um impacto ambiental sério na qualidade do ar nos centros urbanos e, inclusive, contribuição aos gases do efeito estufa hoje em debate no mundo.

Nos transportes urbanos de passageiros, há dificuldade de acesso para populações de subúrbios distantes, com grande sacrifício para os usuários. O setor rodoviário tem sido privilegiado no desenvolvimento brasileiro, em detrimento das modalidades ferroviária e hidroviária, de maior produtividade do ponto de vista social. Há predomínio do automóvel particular em relação ao transporte coletivo, que serve à maioria da população. Este quadro é agravado pela rápida urbanização, atingindo cerca de 70% da população.

A frota de ônibus é de cerca de 50.000 veículos, com 57% nas capitais transportando entre 60 e 70% dos passageiros, o que significa 619 milhões de passageiros por mês. O número de passageiros transportados por trem e metrô é insignificante (ORRICO, 1991). Estima-se que o consumo de diesel nos ônibus é cerca de 3 milhões de TEP, enquanto que o álcool e a gasolina, basicamente destinados aos carros, somaram 12,5 milhões de TEP em 1989, quatro vezes mais.

No setor de carga é absoluto o predomínio do modo rodoviário, sendo pequeno o uso de sistemas intermodais que combinam este com modos ferroviário e hidroviário.

Há um número maior do que deveria de caminhões leves e médios nas estradas, tendo em vista que os caminhões pesados permitem menor consumo de diesel por tonelada/quilômetro, se bem utilizados. Entretanto, é alto o número de viagens de retorno sem carga ou com carga muito abaixo da capacidade, onerando os custos. Também a má conservação das estradas onera-os.

A relação entre custos operacionais médios da carga é: hidrovia - 1, ferrovia - 2, rodovia - 5. Mas os sistemas devem ser complementares e não concorrentes. O modo aéreo pode ser considerado à parte, como moderno, servindo apenas a uma parcela restrita da população de maior renda. No pólo oposto estão os modos hidroviário e ferroviário no Brasil.

As fontes de recursos têm sido o BNDES para transporte e armazenagem de carga, a FINEP para estudos de viabilidade e projetos, o Banco Interamericano de Desenvolvimento e o Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento.

Em resumo, são os seguintes os problemas a serem resolvidos no desenvolvimento do País na área de transportes.

- i) Rodoviário
  - deterioração da rede e baixa oferta de estradas;
  - baixa articulação intermodal;
  - baixa oferta de armazenamento para produtos agrícolas;
  - alto índice de poluição atmosférica nas cidades.
- ii) Ferroviário
  - baixo desempenho, falta de eficácia e racionalidade;
  - baixo índice de utilização;
  - necessidade de modernização tecnológica;
  - deficiência de integração com outros modos.
- iii) Hidroviário
  - falta de estímulo para seu uso;
  - falta de integração e logística;
  - baixo desempenho e falta de confiabilidade.

Os objetivos e as diretrizes do desenvolvimento nos transportes devem ser (C.E., 1990):

- i) Passageiros
  - dar prioridade ao transporte público, ampliando a participação das ferrovias e da navegação;
  - planejar de forma integrada sua expansão e aumentar a eficiência;
  - assegurar recursos financeiros mínimos e reduzir custos onde foi possível;
  - adotar tecnologias modernas e que considerem os interesses da população, a política energética e a conservação do meio ambiente reduzindo a poluição atmosférica.

## ii) Cargas

- dar prioridade ao abastecimento interno, especialmente dos produtos indispensáveis à população, como alimentos;
- promover a redução de custos beneficiando os preços ao consumidor e promover a integração de mercados;
- ampliar a participação das ferrovias e das hidrovias, reduzindo também o consumo energético e integrar os diversos modos;
- melhorar as condições das vias e de transbordo, incluindo portas, terminais e armazenamento.

### 3.2 Alguns comentários sobre comunicações, modernização e democracia

É difícil abordar a questão das comunicações de forma tão resumida como se exige no presente texto, onde está incluída para atender à solicitação de contribuição à Conferência. As comunicações nas suas diversas modalidades sofreram um salto quantitativo e qualitativo nas últimas décadas no Brasil, especialmente a telefonia, o sistema de correios e telégrafos, e os meios eletrônicos de comunicação de massa. Contribuiu para isto a introdução do uso de satélites. Grandes empresas participam do setor com elevado grau de modernização, como é o caso da TV. Mas há privilégios concedidos às empresas, na cobrança do uso de satélites, que devem ser eliminados por uma política de comunicações mais equilibrada.

Apesar de ser um setor de baixa intensidade energética, as comunicações permitem uma pequena economia qualitativa de energia, especialmente nos transportes de passageiros, que podem ser reduzidos com o uso de mensagens eficientes e confiáveis, transmitidas à distância. Tal é o caso da introdução do sistema de telefax, cujo impacto se ampliará muito no sistema de comunicações brasileiras.

Relacionado a este setor, o Brasil investiu em um programa espacial, incluindo construção de satélites e de foguetes lançadores - presentemente em desenvolvimento - inclusive para sensoriamento remoto. Este, de um lado, serve ao melhor uso dos recursos naturais, aos estudos meteorológicos e, por outro, permite melhorar o conhecimento dos impactos ambientais no território, incluindo a Amazônia, para controlá-los.

O índice de falhas nas chamadas telefônicas, por congestionamento, chegou a ser de apenas 6% (ITU, 1980) mas agora é muito maior. O sistema Telebrás está em crise. A quantidade de terminais instalados anualmente foi reduzida. Projetos de modernização tecnológica desenvolvidos no CPqD, como a de fibras óticas e o de centrais de programa armazenado (CPA), foram descontinuados, em nome de uma política de importação de tecnologia. Entretanto, no Brasil a participação dos fabricantes nacionais (Elebra, PHT, SID e outros) no mercado do País é apenas de 50% enquanto que na

Suíça (Ericson, Televerest) e no Japão (NEC, Fujitsu, Hitachi), é de 100% (MESQUITA, 1989).

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS PARA UM NOVO DESENVOLVIMENTO

O quadro apresentado evidencia a importância maior do gás natural entre as alternativas energéticas não renováveis, e da solar, entre as renováveis - nos quais deveriam ser concentrados os esforços e o apoio governamental. Todas as demais alternativas vistas devem ter apoio em casos específicos e ser objeto de estudos e comparações sob rigorosos critérios de análise quanto a custos, impactos e viabilidade - sem preconceitos a priori, excludentes de uma ou outra.

Como princípio, não basta desenvolver energias alternativas para se ter um novo estilo de desenvolvimento, pois novas soluções tecnológicas (ex. o álcool) são compatíveis com velhas formas de desenvolvimento (ex. uso intensivo de automóvel particular). Um caráter essencial para uma alternativa energética ser compatível com novos caminhos para o desenvolvimento é o controle de seus impactos ambientais e a sua aceitabilidade social por critérios democráticos de decisão, além dos custos serem viáveis.

Em países em fase de desenvolvimento, como o Brasil, é fundamental que haja alternativas energéticas capazes de, somadas ao uso criterioso e equilibrado das fontes convencionais, promoverem o aumento da produção para permitir algum tipo de ação no sentido da redistribuição social e regional da renda. Novas fontes, tanto quanto as convencionais, não devem ser vistas apenas do lado da demanda, mas é necessário integrar no planejamento a questão dos usos finais onde é essencial a conservação da energia pela melhoria da eficiência e pela racionalização de seu uso.

Na infra-estrutura física e, em particular, no setor de energia, pelas suas características de exigir altos investimentos, longo prazo de obras e de retorno do capital e, estar presente em quase todo tipo de atividades na sociedade, o papel do Estado é muito importante para evitar um colapso e para estabelecer e fazer cumprir regras de controle ambiental, de melhoria da eficiência e conservação, e para distribuição social dos benefícios. É um equívoco aplicar o receituário neo-liberal neste setor indiferenciadamente, seguindo de forma acrítica as orientações dos organismos financeiros internacionais e dos países ricos, conflitantes com a realidade nacional. A questão é encontrar um equilíbrio entre planejamento, atuação do Estado e ação de forças do mercado, sem preconceitos ideológicos.

A energia não deve ser vista como um fim em si mesma, mas relacionada às necessidades da sociedade como elemento base de sua infra-estrutura, ao lado de outros. Entre estes, destacam-se aqui os transportes - relacionado à questão social - e as comunicações básicas em um País que pretenda modernizar-se e que se relaciona às questões da democratização e da cidadania.

Também aqui o papel do Estado foi muito importante e continua sendo, pelo seu aspecto estratégico e interesse social. O setor de comunicações é particularmente sensível quanto à questão da democratização do País e ao exercício da cidadania, relacionando-se à política, à educação, à cultura, às artes. É essencial seu controle pela sociedade de forma transparente e eficaz. O papel do Poder Legislativo é crucial neste aspecto.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- JOSÉ GOLDENBERG, THOMAS JOHANSSON, AMULYA REDALY & ROBERT WILLIAMS. *Energy for a Sustainable World*. Wiley, Delhi, 1988.
- JOHN YOUNG. *Sustaining the Earth*. Harvard Univ. Press, 1990.
- IGNACY SACHS. *Stratégies de l'Éco-développement*. Les Editions Ouvrières, Paris, 1980.
- ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, EIA. *International Energy Annual*, Washington, feb. 1991.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE COMBUSTÍVEIS - DNC - *Secretaria Nacional de Energia do Ministério da Infraestrutura. Contribuição ao Reexame da Matriz Energética Brasileira*. Brasília, 1991.
- GRUPO DE TRABALHO DO PROGRAMA NUCLEAR BRASILEIRO - PRONEN. *Relatório Final*. Brasília, 1990.
- SUDENE. *Gás Natural - Estudo de Mercado*. Recife, 1990.
- EMÍLIO LA ROVERE, LUIZ PINGUELLI ROSA E ADRIANO PIRES RODRIGUES. *Economia e Tecnologia de Energia*. Marco Zero Ed., 1985.
- LUIZ PINGUELLI ROSA. *Elementos para um Novo Planejamento Energético: Diagnóstico para Mudanças, in um Projeto para o Brasil*. Ed. Brasiliense, São Paulo, 1989.
- JOSÉ GUILHERME DE SOUZA MOREIRA. *Sources des Energies Renouvelables au Brésil*. Laboratoire d'Helioenergétique, Centre Scientifique de Vignola, France, 1988.
- DANILO DE SOUZA DIAS, ADILSON DE OLIVEIRA, JOÃO LIZARDO HERMES DE ARAÚJO, ROBERTO BESNASIK. *Seminário - Introdução de Tecnologias Energéticas, Alternativas no Brasil até o Ano 2000*. COPPE/UFRJ, Pub. pela FINEP e UNESCO, 1988.
- ROMULO DANTE ORRICO FILHO. *Mimeio*. Programa de Engenharia de Transporte COPPE/UFRJ, 1991.
- CLUBE DE ENGENHARIA - CE - *Proposta de Política de Governo Federal para o Setor de Transportes*. Rio de Janeiro, 1990.
- ELETROBRÁS. *Manual de Minicentraís Hidrelétricas*. 1989.
- LUA GILLON. *Le Nucléaire en Question*. Ed. Duculet, Bruxelles, 1986.
- EMÍLIO LEBRE LA ROVERE E MARCELE ROBERT. *Capacitação para a Tomada de Decisões na Área de Energia*. FINEP e UNESCO, Rio de Janeiro, 1989.
- ARNALDO VIEIRA DE CARVALHO JR. *Alternativas Energéticas para Geração Elétrica in La Rovere e Robert*. 1989, Eletrobrás, Plano 2010.

- ALCIR DE FARO ORLANDO. Coletores Solares - Estimativa de Penetração no Mercado. *Anais do Seminário de Tecnologias Energéticas, Alternativas no Brasil até o Ano 2000*. COPPE/UFRJ, Pub. FINEP e UNESCO, Rio de Janeiro, 1988.
- MIGUEL HIROO HIRATA. *Perspectivas do Aproveitamento da Energia Eólica.*, ibid, 1988.
- SERGIO CATÃO AGUIAR. *Avaliação das Possibilidades de Utilização da Turfa como Alternativa Energética no Brasil*, ibid, 1988.
- TELMO ARAÚJO. *Energia Eólica, Aplicações Rurais.*, ibid, 1988.
- FERNANDO LUIZ LOBO CARNEIRO. *Offshore Engineering and Ocean Thermal Energy Conversion*. 6<sup>th</sup> Int. Symposium on Off-Shore Engineering, 1988.
- MINISTÉRIO DA INFRA-ESTRUTURA - BEN. *Balço Energético Nacional.*, 1990.
- MICHEL GAUTHIER. *The Economic Context of the Utilization of the Ocean Temperature Gradient*. Symposium on the Status and Prospects of New and Renewable Sources of Energy. Economic Commission for Europe, 1987.
- MAHESHWAR DAYAL. *Renewable Energy - Environment and Development*. Konark Pub, Delhi, 1989.
- COPPETEC. *Estudo de Recursos do Mar - Projeto com a Comissão Interministerial de Recursos do Mar*. CIRME, 1987.
- V CBE - *Anais do V Congresso Brasileiro de Energia*. COPPE/UFRJ e Clube de Engenharia, Rio de Janeiro, 1990.
- CÉLIA SALAMA - *Estudo da viabilidade de utilização de óleos vegetais em substituição do óleo diesel*. Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, 1982.
- LUIZ PINGUELLI ROSA, LIGYA SIGAUD & OTÁVIO MIELNIK. *Impactos de Grandes Projetos- Hidrelétricos e Nucleares*. Marco Zero, 1988.
- LUIZ PINGUELLI ROSA. *Revista Brasileira de Energia*. Volume 1, nº 3, 1990.
- LUIZ PINGUELLI ROSA e ROBERTO SCHAEFFER - A Política Energética Brasileira e Propostas Alternativas. In: *As Hidrelétricas do Xingu e os Povos Indígenas*. Comissão Pró-Índio, São Paulo, 1988.
- ALESSANDRA MAGRINI. *Technology Review*. Edizione Italiana, Roma, nº 29-30, 1991.
- DOMINIQUE FINON. *L'Echec des Surgenerateurs*. Presses Universitaires, Grenoble, 1989.
- LUIZ PINGUELLI ROSA e SUZANA RIBEIRO BARREIROS. *Implicações do Efeito Estufa no Planejamento Energético*. IBAMA, julho de 1990.
- P. SAKANAKA. *Fusion Energy and Plasma Physics*. COPPE/UFRJ, SBF, IUPAP, *World Scientific*, London, 1987.
- CARLOS EDUARDO PARENTE RIBEIRO. *Programa de Engenharia Oceânica*. COPPE/UFRJ, Notas de Aulas, 1991.
- LUIZ PINGUELLI ROSA, FERNANDO DE SOUZA BARROS & SUZANA BARREIROS. *O Programa Nuclear Brasileiro*. Greenpeace, 1991.
- TERESA MARIA BAKER BOTELHO. *Tecnologia Popular e Energia no Setor Residencial Rural - Um Estudo sobre Fogão a Lenha*. Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, 1986.
- INTERNATIONAL COMMUNICATION UNION - ITU. *3º Forum Mundial de Telecomunicações*. 1980.
- MAURICIO MESQUITA. *Progresso Técnico e Estrutura de Mercado - O Caso da Indústria de Teleequipamentos*. Tese de Mestrado, UFRJ, 1989.