

o estado da atmosfera

O ar é fundamental para a sobrevivência na Terra. Por meio de ciclos naturais, os seus constituintes são consumidos e reciclados. As ações antropogênicas vêm provocando desequilíbrios neste sistema, conduzindo à acumulação, na atmosfera, de substâncias nocivas ao próprio homem e ao meio ambiente. As atividades em âmbito global no sentido de proteger a atmosfera dizem respeito a uma grande variedade de problemas: a redução da diminuição da camada de ozônio, o efeito estufa, o controle da acidificação e outros problemas relacionados a poluição do ar.

1. Principais poluentes atmosféricos e seus impactos sobre os seres vivos

Centrais térmicas, refinarias petrolíferas, siderúrgicas e fábricas de cimento lançam grandes quantidades de gases na atmosfera. Além destes, os veículos automotores também assumem considerável importância devido à emissão de gases nocivos, como o monóxido e o dióxido de carbono, o dióxido de enxofre e os hidrocarbonetos gasosos.

Sucintamente, poluentes atmosféricos são substâncias que, em função de suas concentrações anormais, podem tornar o ar nocivo à saúde dos seres vivos, danoso à fauna, à flora ou aos materiais. Eles podem surgir diretamente na atmosfera, a partir das emissões dessas substâncias, ou mesmo indiretamente por meio de reações químicas que ocorram na própria atmosfera. Tais reações podem ocorrer em função de aumentos nas concentrações de certos gases.

Os poluentes, quando presentes em quantidades superiores à capacidade do meio ambiente em absorvê-los, provocam degradação da qualidade do ar. Assim, as quantidades de poluentes presentes no ar influenciam diretamente na sua qualidade. No entanto, em escala local, a magnitude de emissões não constitui o único fator determinante da qualidade do ar. Nesta escala a interação entre os poluentes e as variáveis meteorológicas influenciarão na capacidade de diluição destes no ar; contribuindo, assim, para a definição do nível de qualidade do ar em uma região.

Existe um conjunto bastante elevado de gases que, em determinadas condições, podem ser classificados como poluentes, ou que podem contribuir para a sua formação. Dentre os que provocam os maiores problemas ambientais na atmosfera, em âmbito local, merecem destaque o

monóxido de carbono (CO), o dióxido de enxofre (SO₂), o dióxido de nitrogênio (NO₂), o ozônio troposférico (O₃) e os materiais particulados.

O monóxido de carbono é um gás que surge principalmente da combustão incompleta de combustíveis fósseis. As principais fontes são os veículos automotores, pois as condições ótimas de combustão nem sempre são obtidas. Esse gás é classificado como um asfixiante sistêmico, pois é uma substância que prejudica a oxigenação dos tecidos. Níveis altos de monóxido de carbono estão relacionados à confusão mental, prejuízo dos reflexos, inconsciência, parada das funções cerebrais e, em casos extremos, morte (CETESB, 1999).

O dióxido de enxofre surge, principalmente, de processos em que há queima de óleo combustível, queima de carvão e em motores Diesel. Nos seres vivos, níveis elevados do gás causam desconforto na respiração e o agravamento de problemas respiratórios e cardiovasculares; na atmosfera podem levar à formação de chuva ácida, provocando diversos efeitos sobre o meio ambiente (CETESB, 1999).

O dióxido de nitrogênio é proveniente principalmente de processos de combustão em veículos, em indústrias e em centrais térmicas que utilizam óleo combustível ou gás natural. Nos seres vivos, as altas concentrações do gás estão associadas a problemas como asma, bronquite e baixa resistência a infecções respiratórias. Altas concentrações de dióxido de nitrogênio também podem levar à formação de chuva ácida (CETESB, 1999).

O ozônio troposférico não é emitido diretamente na atmosfera, sendo produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis. Assim, surge principalmente a partir dos gases provenientes dos escapamentos dos automóveis e da poluição industrial, sendo encontrado em maior concentração nas áreas urbanas. O gás também surge em consequência da queima da vegetação, quando então sua concentração se eleva, atingindo altos níveis, particularmente em regiões como a Amazônia.

O ozônio é um gás que apresenta funções diversas, conforme a altitude em que se encontra. Na troposfera comporta-se como um gás tóxico que, em altas concentrações, é prejudicial aos seres vivos e ao Homem em particular, provocando irritações nos olhos e uma série de problemas

Box 1 - Alguns dados estatísticos

- Estudos realizados em São Paulo, indicaram que um aumento de 30% no número de mortes em função de doenças respiratórias em crianças menores de 5 anos, poderia ser relacionado a uma elevação de 75mg/m³ na concentração de dióxido de nitrogênio (Who, 2000).
- Também em São Paulo, estudo desenvolvido pela Secretaria de Estado da Saúde, em parceria com a Universidade de São Paulo e com a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), mostrou que 10% das internações por doenças respiratórias na infância e 9% das mortes em idosos estão relacionadas com elevadas concentrações atmosféricas de material particulado (Freitas, 2002).
- O número estimado de mortes causadas por problemas decorrentes da poluição atmosférica no mundo é de cerca de 3 milhões. Este valor representa 5% do total de 55 milhões de mortes que ocorrem anualmente no mundo (Who, 2000).
- Em algumas populações, cerca de 30 a 40% dos casos de asma e 20 a 30% de todas as doenças respiratórias podem ser relacionadas à poluição atmosférica (Who, 2000).
- Em algumas populações, uma redução de 20% na poluição do ar em ambientes fechados pode reduzir os índices de mortalidade, em função de infecções respiratórias agudas, em pelo menos 4 a 8% (Who, 2000).

respiratórios. Além disso, altas concentrações de ozônio podem também resultar em danos à plantações e à vegetação natural (Kirchhoff, 1989).

Sob a denominação “material particulado” são agregados os poluentes “partículas totais em suspensão”, “partículas inaláveis” e “fumaça”. São partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem etc. As principais fontes destas substâncias são termoelétricas, siderúrgicas, queimadas, veículos movidos a Diesel, fábricas de cimento e alguns ramos da indústria química. Os efeitos resultantes do aumento da concentração destes poluentes incluem problemas respiratórios como asma e bronquite. Além disso, tais poluentes podem causar danos à vegetação, redução da visibilidade e contaminação do solo (CETESB, 1999).

2. O problema da redução da camada de ozônio

Durante as décadas de 1970 e 1980, vários estudos realizados alertaram para uma possível redução da camada de ozônio e conseqüente aumento na incidência de radiação ultravioleta. De início, o problema foi diagnosticado no Hemisfério Sul, particularmente sobre a Antártida, onde foi identificada uma rarefação acentuada (“buraco”) na concentração do ozônio. Posteriormente o mesmo fenômeno foi verificado sobre o Ártico¹, porém em menor intensidade.

Paralelamente, estudos demonstraram que certas substân-

cias produzidas pelo homem e que continham cloro (Cl) e bromo (Br), ao entrarem em contato com o ozônio estratosférico, contribuíam para o seu esgotamento. Os principais grupos de tais substâncias são os Clorofluorcarbonos (CFCs), cujas moléculas seriam degradadas pela radiação solar na alta atmosfera, liberando átomos de cloro que, então, reagiriam com o ozônio, destruindo-o.

Outras substâncias destruidoras de ozônio são os halons, tetracloreto de carbono, metil clorofórmio, hidroclorofluorcarbonos (HCFCs), hidrobromofluorcarbonos, bromoclorometano e brometo de metila. Tais substâncias são amplamente utilizadas em sistemas de refrigeração de ar, como propelentes de aerossóis, na fabricação de espumas, produção e utilização de solventes e em equipamentos para extinção de incêndios, entre outros usos.

Para tentar evitar o agravamento do problema, em 1977, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) coordenou um encontro de especialistas de vários países. Em 1981, o PNUMA criou um grupo de trabalho tendo como principal objetivo estabelecer as bases para a organização de uma convenção global, visando combater as causas da redução da camada de ozônio. A Convenção de Viena, como viria a ser conhecida, foi realizada em 1985 e ratificada por cerca de 30 países, os quais se comprometeram a adotar medidas apropriadas para proteger a saúde humana e o meio ambiente dos efeitos negativos da redução da camada de ozônio. Também foi prevista a adoção de uma série de instrumentos, visando facilitar a cooperação em pesquisas e o intercâmbio de informações

¹ Nestas regiões, a atmosfera fria e a presença de nuvens polares que retêm determinadas substâncias reativas, particularmente substâncias contendo cloro e bromo, conforme discutido em seguida no texto, tornam o problema mais grave. A destruição do ozônio polar é acelerada pela circulação atmosférica, que leva tais substâncias dos trópicos para os pólos.

sobre a produção e o consumo das substâncias destruidoras de ozônio.

A Convenção de Viena criou as bases para a discussão e negociações que se seguiram até a assinatura do Protocolo de Montreal (em 1987) sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio. Este Protocolo, em particular, definiu uma lista de substâncias com potencial de destruição da camada de ozônio (SDOs ou Substâncias Controladas) e estabeleceu prazos para a redução da produção, comercialização e consumo de tais substâncias. Além disso, os países desenvolvidos se comprometeram a facilitar o acesso dos países em desenvolvimento à substâncias e tecnologias alternativas que não prejudiquem o meio ambiente, cooperar na promoção de pesquisas e facilitar o intercâmbio de informações.

Desde 1987, o Protocolo de Montreal vem sofrendo ajustes e incorporando emendas com base em reuniões anuais (Encontros das Partes), entre as quais se destacaram as de Londres (1990), Copenhague (1992), Viena (1995), Montreal (1997) e Beijing (1999). Com base nesses encontros, foram feitos acréscimos à lista de Substâncias Controladas, e promovidas alterações nos prazos para eliminação da produção, comercialização e consumo das mesmas. Vale destacar, igualmente, a criação do Fundo Multilateral para a Implementação do Protocolo de Montreal (FMPM) em 1990, que foi instituído com o objetivo de promover ajuda técnica e financeira aos países em desenvolvimento, com base em contribuições dos países desenvolvidos signatários.

Além de afetar diretamente os seres vivos, eventuais reduções na concentração do ozônio estratosférico podem também provocar alterações na temperatura terrestre e no padrão de circulação dos gases na atmosfera. A combinação desses efeitos altera o equilíbrio dos ecossistemas, podendo, inclusive, gerar conseqüências negativas na produtividade das plantações.



3. A questão do aumento do efeito estufa

Desde o início do Século XX, as possíveis influências do homem sobre o sistema climático vêm sendo observadas, mas, somente a partir de meados da década de 1950, cientistas vêm reunindo evidências e publicando artigos que relacionam o aumento da concentração atmosférica de *gases do efeito estufa*, os GEE (CO₂, metano, óxido nitroso, clorofluorcarbono, ozônio etc.) decorrente em grande parte do aumento do fluxo bruto de emissão devido a atividades antrópicas, ao aumento da temperatura média do planeta, ou seja, ao aquecimento global e a outras alterações no sistema climático. Contudo, somente a partir da década de 1980, é que a mudança climática despertaria a atenção de um número maior e significativo de cientistas na comunidade internacional.

De fato, ao final daquela década, intensificava-se bastante a preocupação acerca de uma possível mudança no padrão de funcionamento do sistema climático e, por conseguinte, em junho de 1988, realizava-se em Toronto – Canadá, a Conferência Mundial sobre Mudanças Atmosféricas, “The

Changing Atmosphere: Implications for Global Security”, durante a qual, sugeriu-se a adoção rápida de uma convenção internacional sobre mudança climática.

Um marco histórico foi a inovação institucional trazida pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), ao criarem, em

novembro daquele mesmo ano, o Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática, um grupo de trabalho encarregado de respaldar, técnica e cientificamente, as negociações desse tratado.

A necessidade de formação de tal painel se baseava no reconhecimento da enorme complexidade do sistema climático, do elevado risco decorrente de alterações no mesmo e da necessidade de uma fonte objetiva de informação técnica, científica e sócio-econômica sobre as causas e impactos da mudança climática. Além destas possíveis medidas de resposta, incluindo a comparação dos custos e benefícios da

ação contra os da inação, também foram preponderantes sua formação.

Este painel, conhecido mundialmente pela sigla IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), é constituído por uma força tarefa sobre gases do efeito estufa e, também, por cientistas de diversos países e áreas de conhecimento, organizados em três grupos de trabalho que atuam em três frentes distintas, mas complementares. O primeiro grupo, conhecido como Working Group I (WGI), estuda os aspectos científicos do sistema climático e da mudança climática. O segundo - Working Group II (WGII) avalia a vulnerabilidade da humanidade e dos sistemas naturais às mudanças climáticas, suas conseqüências positivas e negativas e as opções para a adaptação necessária a essas conseqüências. O terceiro grupo ou Working Group III (WGIII) analisa as possibilidades de limitação de emissão de GEE (Gases do Efeito Estufa) e de mitigação da mudança climática e as conseqüências destas, medidas do ponto de vista sócio-econômico.

Durante fevereiro de 1991 e maio de 1992, representantes de mais de 150 países reuniram-se por cinco vezes para negociar o texto de uma convenção. Em 9 de maio de 1992, o texto definitivo da CQNUMC - Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima² (UNFCCC – *United Nations Framework Conference on Climate Change*) foi aprovado na Sede das Nações Unidas, em Nova Iorque. Alguns dias depois, na CNUMAD - Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (realizada no Rio de Janeiro em 1992, e por este motivo conhecida como Rio-92), 154 países e a Comunidade Econômica Européia firmaram a Convenção, que teve o Brasil como o primeiro país signatário.



A CQNUMC entrou em vigor no dia 21 de março de 1994, 90 dias após o depósito da quinquagésima ratificação, realizada em nível nacional, o que exigiu a aprovação pelo parlamento. No Brasil a CQNUMC foi ratificada pelo Congresso em 28 de fevereiro de 1994, e entrou em vigor 90 dias após esta data, ou seja, no dia 29 de maio do mesmo ano. Até a conclusão deste trabalho, 186 países já haviam se tornado Partes da Convenção.

A Conferência das Partes (COP), órgão supremo da Convenção do Clima,

composta por todos os países signatários, teve sua primeira sessão em 1995, em Berlim. Na terceira reunião da Conferência das Partes, realizada em Kyoto, em dezembro de 1997, foi adotado o chamado Protocolo de Kyoto. Naquela ocasião, tomando-se como base as emissões de 1990, os países desenvolvidos se comprometeram a reduzir suas emissões coletivas de gases de efeito estufa, em média 5,2% no período entre 2008 a 2012. Nas conferências seguintes, realizadas em Buenos Aires (1998), Bonn (1999) e Haia (2000), discutiu-se e tentou-se concluir a agenda definida pelo Plano de Ação de Buenos Aires, que tratava da regulamentação complementar de uma série de Artigos do Protocolo de Kyoto, incluindo os chamados mecanismos de flexibilidade. A Sessão reconvocada da COP 6, realizada em Bonn no início de 2001, bem como a COP 7, realizada em Marraqueche em novembro do mesmo ano, lograram a conclusão da referida agenda e abriram caminho para que o Protocolo de Kyoto pudesse ser encaminhado pelas Partes a seus congressos nacionais, para ratificação.

Os principais GEE (Gases do Efeito Estufa) de origem também antrópica são o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nítrico (N_2O), os Clorofluorcarbonos (CFCs), Hidrofluorcarbonos (HFCs), Perfluorcarbonos (PFCs) e o Hexafluoreto de Enxofre (SF_6), cujas concentrações na atmosfera vêm aumentando de forma preocupante, devido a determinadas atividades humanas.

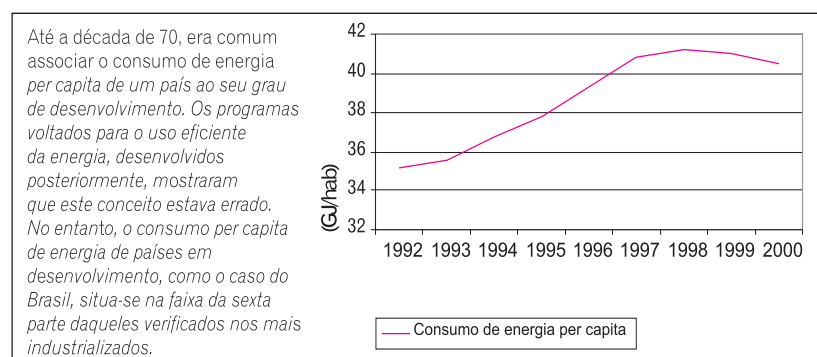
² Segundo Pereira (2002), o termo "quadro" provém do termo inglês framework, que significa "The work of framing, or completed construction" - e que, portanto, transmite uma idéia de continuidade em um processo/trabalho. Neste caso específico, trata-se da negociação do regime climático. Cabe observar que o termo quadro, utilizado na tradução oficial para o português (Ministério da Ciência e Tecnologia e Ministério das Relações Exteriores) não transmite esta idéia.

4. O Brasil e a convenção sobre a mudança do clima

Devido ao tamanho de sua economia e de sua população, o Brasil pode ser classificado como um importante emissor de GEE. Todavia, cabe lembrar o princípio da CQNUMC das responsabilidades comuns, mas diferenciadas, e a divisão entre Partes - Anexo I, que determina que países industrializados tomem a iniciativa no combate ao problema, e reconhece o direito de países em desenvolvimento como o Brasil a aumentarem suas emissões num primeiro momento, devido a sua pequena responsabilidade sobre o problema. Ademais, por especificidades próprias, o Brasil tem baixos níveis de emissão de GEE por PIB e *per capita*. Cabe destacar que o Brasil é um dos países que mais contribui para combater o agravamento dos riscos globais de mudanças climáticas, tendo em vista o elevado peso de fontes renováveis na sua matriz energética, com destaque para a participação predominante de geração hidroeétrica e de programas como o PROÁLCOOL, graças aos quais o país tem evitado a emissão de grandes quantidades de gases de efeito estufa na atmosfera.

As emissões brasileiras serão divulgadas no inventário das emissões antrópicas por fontes, e das remoções por sumidouros, de todos os gases de efeito estufa (*Greenhouse Gases* - GHG). Esse trabalho é coordenado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) e faz parte da Comunicação Nacional, compromisso assumido no âmbito da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança de Clima.

Figura 1 - Consumo de energia per capita no Brasil



Nota: 1kWh = 860 kcal
Fonte: IBGE - 2002

A metodologia de cálculo das emissões no inventário brasileiro se baseia, de uma forma geral, na metodologia definida pelo IPCC. Diversos especialistas e instituições dos setores de energia, indústria, floresta, agropecuária e tratamento de resíduos, situados em todas as regiões do país, participam desse trabalho. Alguns grupos já finalizaram seus trabalhos e os resultados preliminares estão disponíveis no *web-site* do MCT. Outros trabalhos encontram-se em fase de finalização.

O prazo para apresentação da Comunicação Nacional do Brasil já se esgotou, e os motivos dados pelo MCT para esse atraso relacionam-se à ampla extensão territorial do país, e à insuficiência de recursos financeiros fornecidos no âmbito da Convenção, para a realização do inventário. Ademais, as metodologias do IPCC muitas vezes não se aplicam às especificidades brasileiras, o que obrigou alguns especialistas brasileiros a desenvolverem metodologias mais detalhadas.

Nos casos em que os resultados preliminares do inventário ainda não foram publicados, recorre-se à literatura disponível, ainda que precária e provisória. Essas informações permitirão uma noção da importância relativa de cada fonte.

O inventário é desagregado em seis módulos, que correspondem à estrutura dos cálculos adotada na metodologia do IPCC:

- Uso de Energia,
- Indústria,
- Solventes,
- Setor Agropecuário,
- Mudança no Uso da Terra e Florestas, e
- Tratamento de Resíduos.

Embora não seja o gás que proporcionalmente mais contribua para o efeito estufa, o CO₂ responde pela maioria dos estudos pois sua emissão supera a de outros gases relacionados. Nota-se atualmente, entretanto, um maior esforço no sentido de se avaliar os efeitos do CH₄, que são decorrentes, principalmente, da decomposição de matéria orgânica; e do N₂O, cujas emissões são provenientes do uso de fertilizantes nitrogenados e de alguns processos industriais. Um estudo re-

alizado pela COPPE/UFRJ, para a Secretaria Municipal do Meio Ambiente do Rio de Janeiro no ano 2000³, mostra a possibilidade de aproveitamento energético do metano produzido nos vazadouros e aterros de lixo, a partir de sua incineração direta. Essa iniciativa é importante, pois, apesar das emissões de metano serem menores do que as de CO₂, uma tonelada deste gás tem um Potencial de Aquecimento Global (GWP – Global Warming Potential) 21 vezes maior do que o de uma tonelada de CO₂. Além disso, o aproveitamento energético do CH₄ contribui para a redução do risco de déficit de energia elétrica no sistema.

Figura 2 – Emissões de CO₂ de fontes fósseis no sistema energético brasileiro

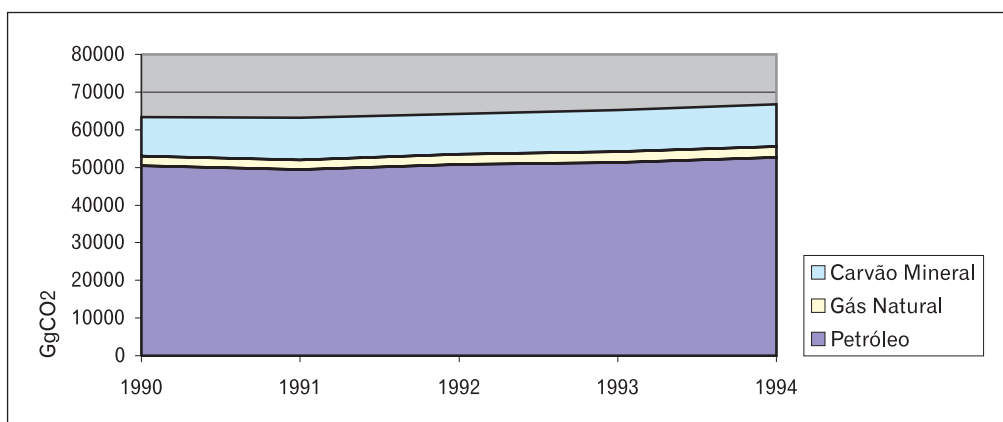
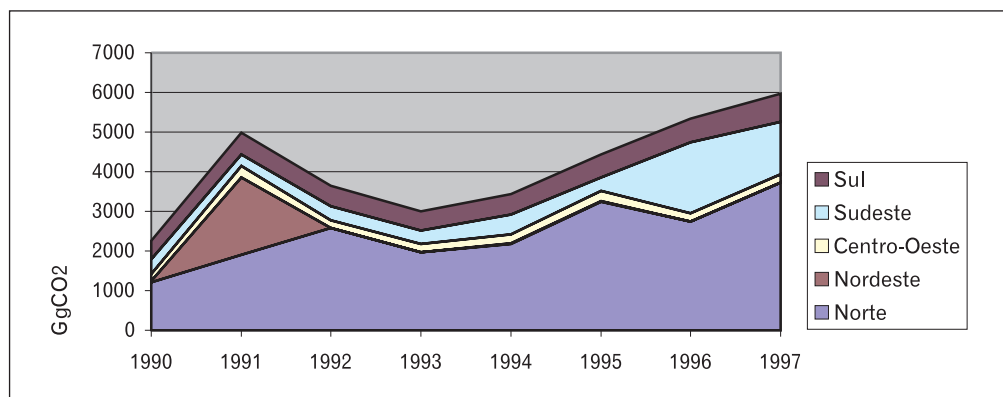


Figura 3 - Emissões de CO₂ de termelétricas por região



5. Emissões devidas ao uso de energia

No que diz respeito às emissões de CO₂ de origem energética, o país apresenta um quadro favorável graças à estrutura da sua matriz energética, na qual predominam as fontes renováveis. Isso faz com que o Brasil tenha um dos menores índices de emissão derivadas do setor energético, em relação ao PIB do mundo.

Na Figura 2 é mostrada a penetração de energias fósseis no período 1990-94³, retirada do inventário das emissões do MCT. Em seguida, na Figura 3, são mostradas as emissões das termelétricas.

Outra fonte renovável que vêm perdendo espaço na matriz energética, e conseqüentemente, fazendo com que as emissões de fontes móveis venha aumentando ano a ano, é o álcool. Essa fonte foi utilizada como estratégia de substituição da gasolina, decidida durante os choques do petróleo na década de 1970, para reduzir a dependência de sua importação. O Programa do Álcool (PROÁLCOOL) teve tal vulto, que no final da década de 1980, as vendas de carros a álcool chegaram a representar 90% do total, e cerca de 5 milhões de veículos a álcool circulavam no País (Rosa *et al.*, 2000). Mais adiante, ainda neste estudo, o PROÁLCOOL será visto com mais detalhes.

A Tabela 1 mostra as emissões de CO₂ de veículos leves para o gasool e para o álcool hidratado, considerando as emissões da energia renovável e, posteriormente, descontando essas emissões entre 1990 e 1994. O cálculo da parcela do álcool anidro contida no gasool indica que 84,16% das emissões de CO₂ são provenientes da gasolina.

É possível colocar o álcool num planejamento mais geral do setor de combustíveis fluidos e de transporte, para que possa inclusive ser usado em transportes coletivos, aliviando a pressão do diesel na estrutura do refino brasileiro e a poluição atmosférica nas grandes cidades (Rosa *et al.*, 2000). O óleo diesel é para o setor de transporte a fonte mais importante de emissão de gases de efeito estufa que a gasolina. Em termos de dióxido de carbono, os veículos pesados geram cerca de 50% a mais que os veículos leves. A Figura 4 mostra os níveis de emissão de CO₂ provenientes da queima desse combustível, no período 1990-94. Nota-se um aumento significativo das emissões nesse período.

³ Para maiores informações ver <http://www.ivig.coppe.ufrj.br/arquivos/f-efeito%20estufa.pdf>

Em relação às emissões da indústria, com exceção do setor químico, esses dados ainda não estão disponíveis no inventário brasileiro. Porém, também é possível observar nesse setor a perda de espaço de fontes renováveis, como é o caso do carvão vegetal na siderurgia. Esse combustível possibilita a produção de ferro gusa e aço de alta qualidade, dado o seu baixo nível de impurezas. Com o carvão vegetal ainda se substitui o uso do coque como redutor, evitando assim, mais de três milhões de t de CO₂ por ano, no País (Rosa *et al.*, 2000).

Cabe ressaltar, no entanto, que há uma penetração forte nos últimos anos de energias fósseis na matriz energética. Isso devido, principalmente, à recente reestruturação do setor elétrico que tenta atrair capital privado para construção de novas usinas. Assim, tecnologias que não exigem um investimento inicial muito alto e que têm um tempo de retorno menor são favorecidas, como é o caso das termelétricas a gás natural. Com isso, fontes renováveis de energia, como a das hidrelétricas, vão perdendo espaço, causando um aumento nas emissões de CO₂ de origem energética.

Os efeitos danosos da poluição atmosférica sobre a saúde humana são extremamente graves, principalmente em países em desenvolvimento como o Brasil. Embora haja uma série de dificuldades para a quantificação dos efeitos, estudos mostram que, principalmente em áreas urbanas do País, ela contribua para o surgimento ou agravamento de problemas, como mortes prematuras e doenças respiratórias entre várias. Segundo Who (2000) a poluição atmosférica pode, também, ser freqüentemente associada à dificuldades de aprendizado e problemas comportamentais.

A poluição atmosférica também provoca uma série de outros efeitos na natureza. A chuva ácida, por exemplo, causada pela emissão de determinados gases, provoca a acidificação de lagos e rios, modificações no pH do solo, degradação das árvores, modificações nos nutrientes necessários para o crescimento das plantas e a deterioração de materiais manufaturados e estruturas (La Rovere, 1995).

Tabela 1 - Emissões de CO₂ de veículos leves

Emissões	Sem descontar a parcela renovável			Descontando a parcela renovável		
	Gasool	Álcool	Total	Gasool	Álcool	Total
mil t CO ₂						
1990	18105	11382	29487	15237	0	15237
1991	20324	11828	32153	17105	0	17105
1992	21806	10962	32768	18352	0	18352
1993	24634	11459	36093	20732	0	20732
1994	29380	11372	40752	24726	0	24726

Fonte: <http://www.mct.gov.br/clima>

6. Emissões devido às mudanças no uso do solo

Os resultados do inventário relativo às mudanças no uso do solo ainda não foram completamente disponibilizados pelo MCT. Apenas os trabalhos sobre as variações de estoque de biomassa em florestas plantadas e as emissões de biomassa estocadas abaixo do solo são apresentados no *web-site* do MCT. Na falta de resultados oficiais, recorre-se, aqui, à literatura científica sobre mudanças no uso do solo. Como já citado, o presente estudo será restrito ao problema do desflorestamento.

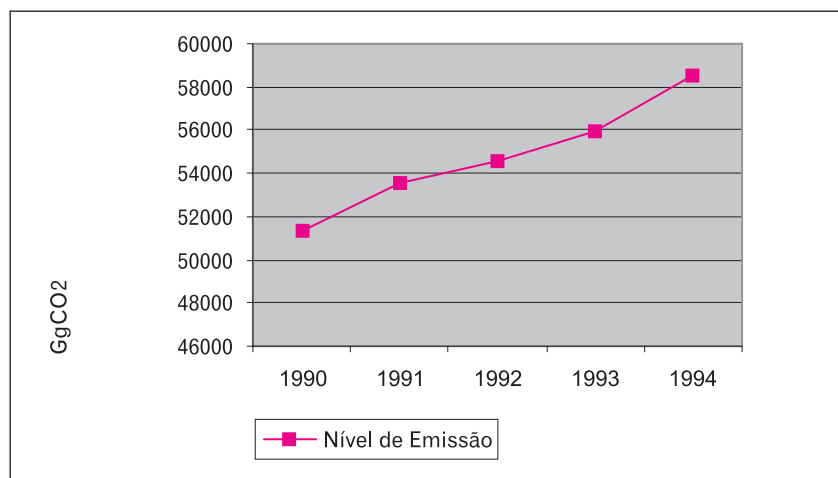
A partir dos anos de 1970, observa-se uma rápida mudança da cobertura vegetal, tanto em áreas florestais, como no Cerrado. No período de 1978 a 1988, segundo dados do INPE, a área anual desmatada na Amazônia foi de 2113 mil hectares. A elevada taxa de desmatamento foi alvo de severas críticas no contexto internacional. As críticas sobre as políticas públicas brasileiras na Amazônia levaram o governo federal a suprimir, entre 1987 e 1988, todos os incentivos à agropecuária oferecidos na região. A princípio, à supressão de incentivos governamentais foi considerada bastante eficaz, devido à queda acentuada na taxa de desmatamento nos anos seguintes à ação (Hurrel, 1992).

Entretanto, pode-se observar na **Figura 5**, que há, na verdade, uma evolução cíclica do desflorestamento. Este pode também ser afetado por flutuações da demanda externa de madeira (Seroa da Motta, 1996), pela crise econômica ou por questões meteorológicas (Hurrel, 1992).

No Brasil, há dois tipos de instrumen-

tos econômicos utilizados para controlar o desflorestamento: as taxas florestais e as compensações fiscais. O estado de Minas Gerais aplica, desde 1968, uma taxa sobre os produtos florestais. Este é um exemplo de controle de desmatamento bem sucedido no Brasil. Entretanto, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) tem dificuldade de gerir as taxas florestais em âmbito federal (Seroa da Motta, 1996).

Figura 4 - Emissões de CO₂ de veículos pesados



As compensações fiscais por restrições ao uso da terra foram implementadas nos estados do Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. Seroa Da Motta (1996) observa que, no caso de áreas de fronteira na Amazônia, a aplicação de taxas é muito difícil, devido à dimensão do território, à falta de infraestrutura e à baixa densidade populacional. A compensação fiscal, por outro lado, envolve baixos custos administrativos e cria incentivos àqueles engajados em medidas de preservação.

O desflorestamento na região Amazônica tem ocorrido, principalmente, nos estados de Mato Grosso, Pará e Rondônia. Essas áreas de expansão da fronteira agrícola apresentam uma grande diversidade vegetal. São áreas formadas tanto por flores-

tas, como por Cerrado. Neste último caso, o conteúdo em carbono é inferior a 70 toneladas de carbono por hectare (t/ha) (Tabela 2).

Essa variedade explica a dificuldade de se preparar o inventário nacional. Um amplo leque de dados controversos é encontrado na literatura. As primeiras estimativas de Reis (1992) usam uma faixa de volume de biomassa entre 270 a 400 toneladas de madeira por hectare na Amazônia. Considerando a composição da madeira em aproximadamente 50% de carbono, estima-se uma faixa de 135 a 200t/ha.

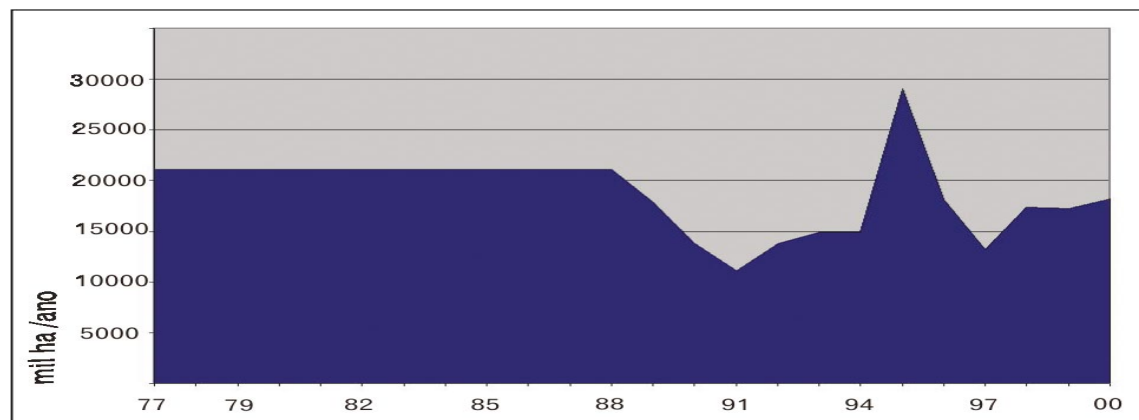
Esses números já sofreram várias revisões. Em trabalhos mais recentes, valores inferiores de conteúdo de carbono por hectare foram adotados. Até mesmo o relatório do IPCC (2000), por exemplo, assume um valor médio de 120t/ha para as florestas tropicais. No presente trabalho, as emissões são indicadas apenas em ordem de grandeza. Considerou-se uma faixa de 70 a 120t/ha de emissões por área desflorestada. A tabela a seguir apresenta as estimativas do Inpe (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) sobre a área anual desflorestada na

Tabela 2 - Desflorestamento na Amazônia e emissões de CO₂

Período	Desflorestamento (mil ha/ano)	Emissões (Milhões tCO ₂ /ano)
1978-1988	2113	543-931
1989	1786	458-785
1990	1381	356-609
1991	1113	286-491
1992	1379	356-605
1993-1994	1490	381-656
1995	2906	744-1280
1996	1816	466-799
1997	1323	341-583
1998	1738	447-766
1999	1726	444-759

Fonte: La Rovere - 2000

Figura 5 - Área desmatada na Amazônia



Fonte: Inpe, 2000

Amazônia e as estimativas de emissões de carbono por ano, devido ao desmatamento.

É bom lembrar que estas estimativas visam apenas fornecer uma ordem de grandeza do fenômeno. Um estudo mais refinado está sendo realizado para a Comunicação Nacional, citada anteriormente. Esse estudo inclui estimativas sobre o volume de biomassa na Amazônia, baseadas em imagens fotográficas aéreas feitas nos anos de 1970. Essa metodologia compara as áreas desflorestadas atuais, obtidas pelas imagens de satélite, e as imagens fotográficas dos anos 70.

7. Participação relativa das fontes de emissão

A comparação das principais fontes de emissão de gases de efeito estufa fica prejudicada pela indisponibilidade de dados fidedignos sobre emissões devidas ao uso da terra. Apesar desse problema, faz-se aqui essa comparação, apenas para informação. Mesmo utilizando baixos coeficientes de emissões devido às mudanças do uso do solo, observa-se que esta fonte é a principal responsável pelas emissões no Brasil.

Tabela 3 - Participação relativa das fontes de emissões de CO₂

Ano	Uso do Solo (Milhões tCO ₂)	%	Energia (Milhões tCO ₂)	%	Total (Milhões tCO ₂)
1990	355	64%	202	36%	557
1994	382	62%	236	38%	619
1998	446	59%	312	41%	758

Fonte: La Rovere - 2000

A área anual desmatada apresenta uma certa estabilidade. A média anual, nos anos de 1990, foi de cerca de 1,6 milhões de ha/ano, valor este não muito diferente dos valores observados nos últimos anos da década, conforme dados do Inpe apresentados na **Figura 5**.

A **Tabela 3** apresenta as emissões de CO₂ das principais fontes. Considerou-se o coeficiente de emissão mais baixo para as mudanças no uso do solo. Mesmo assim, verifica-se que as emissões devido às mudanças no uso do solo são as mais importantes. Entretanto, observam-se taxas de crescimento das emissões de fontes energéticas superiores às taxas de crescimento de emissões devido ao desmatamento.