

Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal

Comunicação Inicial do Brasil

Parte II



*"Cantar uma sabiá
Vou voltar
Sei que ainda vou voltar
Vou deitar à sombra de uma palmeira que já não há
Colher a flor que já não dá"*



1 - Introdução	81
1.1 - Gases de efeito estufa	81
1.2 - Setores inventariados	81
1.2.1 - Setor energia	81
1.2.2 - Setor processos industriais	82
1.2.3 - Setor uso de solventes e outros produtos	83
1.2.4 - Setor agropecuária	83
1.2.5 - Setor mudança no uso da terra e florestas	83
1.2.6 - Setor tratamento de resíduos	84
2 - Sumário das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa por Gás	85
2.1 - Emissões de dióxido de carbono	85
2.2 - Emissões de metano	86
2.3 - Emissões de óxido nitroso	88
2.4 - Emissões de hidrofluorcarbonos, perfluorcarbonos e hexafluoreto de enxofre	90
2.5 - Gases de efeito estufa indireto	91
3 - Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa por Setor	97
3.1 - Energia	97
3.1.1 - Características da matriz energética brasileira	97
3.1.2 - Emissões por queima de combustíveis	98
3.1.3 - Emissões fugitivas	112
3.2 - Processos Industriais	117
3.2.1 - Produtos minerais	117
3.2.2 - Indústria química	118
3.2.3 - Indústria metalúrgica	120
3.2.4 - Indústria de papel e celulose	122
3.2.5 - Alimentos e bebidas	123
3.2.6 - Emissões relacionadas à produção de hidrofluorcarbonos	124
3.2.7 - Emissões relacionadas ao consumo de hidrofluorcarbonos	124
3.2.8 - Emissões relacionadas ao consumo de hexafluoreto de enxofre	124
3.3 - Uso de solventes e outros produtos	127
3.3.1 - Aplicação em tintas	127
3.3.2 - Desengraxe de metais	128
3.3.3 - Limpeza a seco	128
3.3.4 - Processamento de espumas de poliestireno	129
3.3.5 - Indústria de impressão	129



Sumário

Parte II

3.3.6 - Extração de óleos vegetais comestíveis	129
3.3.7 - Uso doméstico	129
3.4 - Agropecuária	133
3.4.1 - Pecuária	133
3.4.2 - Cultivo de arroz	136
3.4.3 - Queima de resíduos agrícolas	137
3.4.4 - Emissões de N ₂ O provenientes de solos agrícolas	138
3.4.5 - Queima prescrita de cerrado	139
3.5 - Mudanças no uso da terra e florestas	143
3.5.1 - Mudanças nos estoques de florestas plantadas	143
3.5.2 - Conversão de florestas e abandono de terras manejadas	144
3.5.3 - Emissões e remoções de CO ₂ pelos solos	149
3.5.4 - Emissões de dióxido de carbono e metano pelos reservatórios hidrelétricos brasileiros	152
3.6 - Tratamento de resíduos	157
3.6.1 - Disposição de resíduos sólidos	157
3.6.2 - Tratamento de esgotos	157
4 - Incerteza das Estimativas	159
4.1 - Incerteza das estimativas de emissões e remoções de CO₂	159
4.2 - Incerteza das estimativas de emissões de CH₄	159
4.3 - Incerteza das estimativas de emissões de N₂O	160
Referências Bibliográficas	161



1 INTRODUÇÃO

Como país signatário da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - CQNUMC, doravante referenciada como Convenção, o Brasil tem como uma de suas principais obrigações a elaboração e atualização periódica do Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal, doravante referenciado como Inventário.

A elaboração do presente Inventário segue as Diretrizes para a Elaboração das Comunicações Nacionais das Partes não Incluídas no Anexo I da Convenção, estabelecidas na decisão 10/CP.2 da Segunda Conferência das Partes da Convenção, realizada em Genebra em julho de 1996.

Em atenção a essas Diretrizes, o presente Inventário é apresentado para o ano base de 1994. Adicionalmente são também apresentados os valores referentes aos anos de 1990 a 1993.

Como diretriz técnica básica foi utilizado o documento *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* elaborado pelo Painel Intergovernamental de Mudança do Clima - IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) em 1995. Sempre que possível, foi utilizado o documento *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories* publicado em 1997. Algumas das estimativas já levam em conta informações publicadas no documento "*Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*".

A metodologia do IPCC tem como referência pesquisas realizadas e metodologias elaboradas, em sua maioria, por especialistas de países desenvolvidos, onde as emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis representam a maior parte das emissões. Em consequência, setores importantes para o Brasil, como a agricultura e a mudança no uso da terra e florestas, não são tratados com a profundidade necessária na metodologia do IPCC. Nesses setores, os fatores de emissão *default* ou até mesmo a própria metodologia devem ser utilizados com cautela, uma vez que não refletem, necessariamente, a realidade brasileira. Entretanto, em muitos casos, não existe pesquisa no Brasil que permita avaliar os valores sugeridos ou a própria metodologia proposta. Onde existem pesquisas, foram encontrados, em alguns casos, valores significativamente discrepantes.

A ausência de informações básicas requeridas pela metodologia do IPCC foi o maior obstáculo encontrado neste levantamento, pois para muitas informações não existem dados estatísticos confiáveis, como é o caso, por exemplo, dos dados de frota de veículos. Em alguns casos, mesmo já existindo alguma informação, o fato de ela ter sido obtida para outro fim implica na necessidade de uma adaptação, com conseqüente aumento da incerteza dos resultados.

Mesmo com as limitações impostas pelos insuficientes recursos financeiros e pela indisponibilidade de informação, buscou-se que o trabalho fosse o mais completo possível, incluindo a realização de estudos pioneiros, como, por exemplo, os relacionados às emissões de gases de efeito estufa pela conversão de florestas em terras para usos agrícolas, pelos reservatórios de hidrelétricas e pela queima prescrita do cerrado.

1.1 Gases de Efeito Estufa

O clima na Terra é regulado pelo fluxo constante de energia solar que atravessa a atmosfera na forma de luz visível. Parte dessa energia é devolvida pela Terra na forma de radiação infravermelha. Os gases de efeito estufa são gases presentes

na atmosfera terrestre que têm a propriedade de bloquear parte dessa radiação infravermelha. Muitos deles, como vapor d'água, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e ozônio (O₃), existem naturalmente na atmosfera e são essenciais para a manutenção da vida no planeta, pois sem eles a Terra seria, em média, cerca de 30°C mais fria.

Como consequência das atividades humanas (antrópicas) na biosfera, o nível de concentração de alguns desses gases, como CO₂, CH₄ e N₂O, vem aumentando na atmosfera. Além disso, passou a ocorrer a emissão de outros gases de efeito estufa, compostos químicos produzidos somente pelo homem, tais como clorofluorcarbonos (CFC), hidrofluorcarbonos (HFC), hidrofluorclorocarbonos (HCFC), perfluorcarbonos (PFC) e hexafluoreto de enxofre (SF₆).

Como determina a Convenção, o Inventário deve incluir apenas as emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa. Da mesma forma, não deve incluir os gases CFC e os HCFC, que destroem a camada de ozônio e cujas emissões já são controladas pelo Protocolo de Montreal.

Os gases de efeito estufa cujas emissões e remoções antrópicas foram estimadas no presente Inventário são CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC e SF₆. Alguns outros gases, como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e outros compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOC), mesmo não sendo gases de efeito estufa direto, possuem influência nas reações químicas que ocorrem na atmosfera. Informações sobre as emissões antrópicas desses gases são também incluídas quando disponíveis.

1.2 Setores Inventariados

Emissões antrópicas de gases de efeito estufa ocorrem em diversos setores de atividade. O presente Inventário está organizado segundo a estrutura sugerida pelo IPCC, cobrindo os seguintes setores: energia; processos industriais; uso de solventes e outros produtos; agropecuária; mudança no uso da terra e florestas; e tratamento de resíduos.

Remoções antrópicas de gases de efeito estufa ocorrem no setor Mudança do Uso da Terra e Florestas como resultado de atividades de reflorestamento e por abandono de terras manejadas.

1.2.1 Setor Energia

São estimadas nesse setor todas as emissões antrópicas devidas à produção, à transformação e ao consumo de energia. Inclui tanto as emissões resultantes da queima de combustíveis quanto as emissões resultantes de fugas na cadeia de produção, transformação, distribuição e consumo.

1.2.1.1 Queima de Combustíveis

Nesse setor estão incluídas as emissões de CO₂ por oxidação do carbono contido nos combustíveis durante a sua queima, seja para geração de outras formas de energia, como eletricidade, seja no consumo final. São contabilizadas também as emissões de outros gases de efeito estufa durante o processo de combustão (CH₄, N₂O, CO, NO_x e NMVOC).

No caso dos combustíveis de biomassa (lenha, carvão vegetal, álcool, bagaço), as emissões de CO₂ não são incluídas aqui. Os combustíveis de origem renovável não geram emissões líquidas e as emissões associadas à parcela não renovável são incluídas no setor Mudança do Uso da Terra e Florestas.

Em função da informação básica disponível, as emissões são apresentadas seguindo a estrutura definida no Balanço Energético Nacional - BEN, semelhante, mas não idêntica, à estrutura sugerida pelo IPCC.

1.2.1.2 Emissões Fugitivas

Nesse setor são incluídas as emissões de gases de efeito estufa durante o processo de mineração, estocagem, processamento e transporte de carvão mineral e durante o processo de extração, transporte e processamento de petróleo e gás natural.

As emissões associadas ao carvão mineral incluem a emissão de CH_4 durante o processo de mineração e beneficiamento e a emissão de CO_2 por combustão espontânea nas pilhas de rejeito.

As emissões associadas ao petróleo e ao gás natural incluem as fugas de CH_4 durante a extração de petróleo e gás natural (*venting*), durante o transporte e distribuição em dutos e navios e durante seu processamento nas refinarias. São também consideradas as emissões de CO_2 por combustão não útil (*flaring*) nas plataformas de extração de petróleo e gás natural e nas unidades de refinaria.

As emissões de CO_2 mencionadas acima são incluídas como emissões fugitivas, mesmo sendo formalmente resultado de combustão, por estarem associadas a uma perda e não ao consumo útil do combustível.

1.2.2 Setor Processos Industriais

São estimadas nesse setor as emissões antrópicas resultantes dos processos produtivos nas indústrias e que não são resultado da queima de combustíveis, pois essas últimas são relatadas no setor Energia.

Foram considerados os subsetores de produtos minerais, química, metalurgia, papel e celulose, alimentos e bebidas, e produção e utilização de HFC e SF_6 .

1.2.2.1 Produtos Minerais

Nesse setor são incluídas as emissões que ocorrem na produção de cimento e na produção da cal, bem como as emissões resultantes da produção e consumo de barrilha.

Na produção de cimento ocorrem emissões de CO_2 pela calcinação de calcário (CaCO_3) durante a produção de clínquer. Na produção de cal, o calcário e a dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) são calcinados, produzindo também CO_2 . Em outras indústrias também ocorrem emissões de CO_2 por calcinação de calcário, porém em menor quantidade, não tendo sido estimadas neste Inventário por indisponibilidade de informação.

Na produção de barrilha (Na_2CO_3) podem ocorrer emissões de CO_2 , dependendo do processo produtivo. Esse não é o caso do processo sintético utilizado no Brasil. Por outro lado, durante o consumo de barrilha em outras indústrias, como a indústria do vidro, ocorre a emissão de CO_2 .

1.2.2.2 Indústria Química

Neste setor foram inventariadas em destaque as emissões de CO_2 resultantes da produção de amônia, as emissões de N_2O e NO_x que ocorrem durante a produção de ácido nítrico, e as emissões de N_2O , CO e NO_x resultantes da produção de ácido adípico.

Durante a produção de outros produtos químicos, pode ocorrer, também, a emissão de gases de efeito estufa, com

destaque para a emissão de NMVOC na indústria petroquímica.

1.2.2.3 Indústria Metalúrgica

Esse setor inclui a indústria siderúrgica e a indústria de ferroligas, onde ocorrem emissões de CO_2 no processo de redução do minério de ferro, e a indústria do alumínio onde ocorrem emissões de PFC, CO_2 , CO e NO_x .

Na indústria siderúrgica e na indústria de ferroligas ocorre a emissão de CO_2 quando o carbono contido no agente redutor combina com o oxigênio dos óxidos metálicos. Os mesmos agentes redutores, como o coque de carvão mineral, são também utilizados como combustível para geração de energia. Em função da não disponibilidade de informação, não foi possível separar as parcelas utilizadas para cada finalidade. Assim, as emissões associadas ao processo produtivo (redução) foram relatadas junto com as emissões resultantes da combustão no setor Energia.

Na indústria de alumínio, ocorrem emissões de CO_2 durante o processo de eletrólise, quando o oxigênio do óxido de alumínio reage com o carbono do ânodo. Durante o mesmo processo, se o nível de óxido de alumínio na cuba de produção ficar muito baixo, pode ocorrer um rápido aumento de voltagem (efeito anódico). Nesse caso, o fluoreto contido na solução eletrolítica reage com o carbono do ânodo produzindo perfluorcarbonos (CF_4 e C_2F_6), que são gases de efeito estufa de longo tempo de permanência na atmosfera. Dependendo da tecnologia empregada, podem ocorrer, também emissões de CO e NO_x .

1.2.2.4 Produção e utilização de HFC e SF_6

Os gases HFC foram desenvolvidos nos anos 80 e 90 como substâncias alternativas a CFC e HCFC. O uso desses gases está sendo eliminado por serem substâncias que destroem a camada de ozônio. Os gases HFC não contêm cloro e, por esse motivo, não afetam a camada de ozônio. No entanto, são gases de efeito estufa.

Durante a produção e utilização de HFC podem ocorrer emissões fugitivas. Também durante o processo produtivo de HCFC pode ocorrer produção secundária de HFC e sua consequente emissão.

O SF_6 , outro gás de efeito estufa produzido apenas antropicamente, tem excelentes características para utilização em equipamentos elétricos de alta capacidade e desempenho. O Brasil não é produtor desse gás. Assim sendo, as emissões informadas devem-se apenas a vazamentos nos equipamentos instalados no país.

1.2.2.5 Outras Indústrias

O setor de Papel e Celulose gera emissões durante o tratamento químico a que é submetida a polpa da madeira no processo fabril. Essas emissões dependem do tipo de matéria prima utilizada e da qualidade do produto a que se quer chegar.

No Brasil utiliza-se principalmente o eucalipto como fonte de celulose, com o predomínio do processo do tipo sulfato, ocorrendo emissões de CO , NO_x e NMVOC, as quais foram estimadas neste Inventário.

No setor Alimentos e Bebidas, ocorrem emissões de NMVOC em muitos processos de transformação a partir de produtos primários, como a produção de açúcar, ração animal e cerveja. As emissões foram estimadas com base nos dados nacionais de produção, adotando-se fatores de emissão *default*. Os processos de extração de óleos vegetais são tratados no setor Uso de Solventes e Outros Produtos.



1.2.3 Setor Uso de Solventes e Outros Produtos

O uso de solventes, de um modo geral, favorece a sua evaporação, o que configura emissões de NMVOC. Este Inventário procurou identificar os setores mais expressivos em aplicação de solventes, apesar do alto grau de incerteza dessas estimativas.

Foram analisadas as seguintes atividades: aplicação em tintas, desengraxe de metais, limpeza a seco, processamento de espumas, indústria de impressão, extração de óleos vegetais comestíveis e uso doméstico.

1.2.4 Setor Agropecuária

A agricultura e a pecuária são atividades econômicas de grande importância no Brasil. Devido à grande extensão de terras agricultáveis e disponíveis para pastagem, o país ocupa também um lugar de destaque no mundo quanto à produção desse setor.

São vários os processos que resultam em emissões de gases de efeito estufa, descritos a seguir.

1.2.4.1 Fermentação Entérica

A fermentação entérica dos animais ruminantes herbívoros, que faz parte da sua digestão, é uma das maiores fontes de emissão de CH_4 no país. A intensidade desse processo depende de diversos fatores, como o tipo de animal, seu alimento, a intensidade de sua atividade física e das diversas práticas de criação. Dentre os diversos tipos de animais, destacam-se as emissões devidas ao rebanho bovino, que é o segundo maior no mundo.

1.2.4.2 Manejo de Dejetos de Animais

Os sistemas de manejo de dejetos de animais podem causar emissões de CH_4 e N_2O . A decomposição anaeróbia produz CH_4 , principalmente quando os dejetos são estocados de forma líquida.

1.2.4.3 Cultivo de Arroz

O arroz, quando cultivado em campos inundados ou em áreas de várzea, é uma importante fonte de emissão de CH_4 . Isso ocorre em razão da decomposição anaeróbia de matéria orgânica presente na água. No Brasil, porém, a maior parte do arroz é produzida em áreas não inundadas, reduzindo a importância do setor nas emissões totais de CH_4 .

1.2.4.4 Queima de Resíduos Agrícolas

A queima de resíduos agrícolas, imperfeita por ser feita naturalmente no campo, produz emissões de CH_4 , N_2O , NO_x , CO e NMVOC. O CO_2 emitido não é considerado como uma emissão líquida, pois, por meio da fotossíntese, a mesma quantidade foi necessariamente absorvida durante o crescimento das plantas.

No Brasil, a prática de queima de resíduos agrícolas ocorre principalmente nas culturas de cana-de-açúcar e de algodão.

1.2.4.5 Emissões de N_2O provenientes de Solos Agrícolas

A emissão de N_2O em solos agrícolas decorre da aplicação de fertilizantes nitrogenados, tanto de origem sintética quanto animal, e da deposição de dejetos de animais em pastagem. Esse último processo não é considerado aplicação de fertilizante, já que não é intencional, porém, é o mais importante no Brasil devido à predominância da pecuária extensiva.

Os resíduos vegetais deixados no campo, fonte de nitrogênio, e o processo de fixação biológica desse elemento que ocorre na cultura da soja, também são fontes de emissão de N_2O .

Ainda dentro deste setor enquadra-se o cultivo de solos orgânicos, que aumenta a mineralização da matéria orgânica e libera N_2O .

1.2.4.6 Queima Prescrita de Cerrados

Áreas de cerrado nativo queimam durante a estação seca, por motivos diversos, incluindo a influência antrópica. Da mesma forma que na queima de resíduos agrícolas, essa combustão é imperfeita, gerando, também, emissões de gases de efeito estufa. As emissões de CO_2 não são consideradas devido ao fato das áreas queimadas regenerarem-se na estação úmida. Neste Inventário, apresenta-se uma metodologia para estimar emissões resultantes da queima prescrita de cerrados. Entretanto, por indisponibilidade de dados para o período abrangido neste Inventário, estimativas de emissões de gases não- CO_2 não foram incluídas neste Inventário.

1.2.5 Setor Mudança no Uso da Terra e Florestas

1.2.5.1 Mudanças nos Estoques de Biomassa em Florestas e em outras Formações Lenhosas

Neste setor são analisadas as emissões e remoções de CO_2 por mudança da quantidade de biomassa estocada em florestas plantadas no país. Neste Inventário foram consideradas apenas as florestas plantadas com fins econômicos e destinadas a suprir a indústria de celulose e papel e a indústria siderúrgica. Por falta de informações disponíveis, florestas plantadas para outras finalidades não foram consideradas.

As mudanças nos estoques de carbono em florestas nativas, não resultantes de atividades de mudança no uso da terra, não foram contabilizadas neste Inventário, apesar de resultados preliminares na literatura científica apontarem para uma remoção de CO_2 na atmosfera, em particular na floresta amazônica, o grande reservatório de carbono em floresta no Brasil. Esta não inclusão deve-se ao fato de essas remoções não serem consideradas de natureza antrópica, ainda que muitas áreas ocupadas pela floresta amazônica sejam consideradas manejadas. Esse procedimento é consistente com a definição de mudança de clima para efeitos da Convenção. Segundo a Convenção, no seu artigo 1º, parágrafo 2º, "mudança do clima significa uma mudança de clima que possa ser direta ou indiretamente atribuída à atividade humana que altere a composição da atmosfera mundial e que some àquela provocada pela variabilidade climática natural observada ao longo de períodos compatíveis". Outras mudanças de estoque correspondem aos fluxos de carbono da atmosfera para a biosfera. Tais fluxos, tanto para a biosfera terrestre quanto para os oceanos, são indiretamente influenciados pela ação do Homem (global), pois tais fluxos aumentam como resultado do aumento da concentração de CO_2 na atmosfera (fertilização por CO_2), bem como pela deposição de nitrogênio. A metodologia utilizada com a análise objetiva da mudança do uso da terra é melhor e prescinde da simples declaração de se uma área é manejada ou não.

Entretanto, ressalta-se que as emissões resultantes da atividade de desflorestamento, com conversão ou não da área para outros usos e a regeneração de florestas por abandono de terras manejadas são contabilizadas no item a seguir.

1.2.5.2 Conversão de Florestas e Campos e Abandono de Terras Manejadas

A conversão de áreas de vegetação nativa para outros fins resulta na diminuição do carbono estocado na biosfera terrestre com conseqüente emissão de CO₂ ao longo do tempo. A metodologia do IPCC estabelece, porém, que essa mudança no estoque de carbono deve ser contabilizada como emissão de CO₂ no ano da conversão.

É estimada também a remoção de CO₂ devida à regeneração de áreas de vegetação nativa por abandono de terras manejadas. Incluem-se, também, neste Inventário, as remoções de áreas desflorestadas abandonadas após o corte, mesmo não tendo ocorrido a conversão para outros usos.

São contabilizadas também as emissões de outros gases de efeito estufa pela queima de biomassa nas áreas de conversão (CH₄, N₂O, CO e NO_x).

1.2.5.3 Mudança do Carbono nos Solos por Mudança no Uso da Terra, Calagem e Uso de Solos Orgânicos na Agricultura

As mudanças no uso da terra, sobretudo quando florestas nativas são transformadas em áreas agrícolas ou de pastagens e vice-versa, causam mudança no conteúdo de carbono nos solos. Essa alteração depende do tipo de uso e das práticas de manejo de solo utilizadas. A essa mudança no estoque de carbono são associadas emissões e remoções de CO₂.

A aplicação de calcário em solos agrícolas para combater sua acidez e melhorar a fertilidade ocasiona, também, emissão de CO₂.

A conversão de solos orgânicos para agricultura é normalmente acompanhada por drenagem artificial, cultivo e calagem, resultando em rápida oxidação de matéria orgânica e estabilização do solo e conseqüente emissão de CO₂.

1.2.5.4 Reservatórios Hidrelétricos

A construção de reservatórios estabelece um ambiente onde ocorre a decomposição anaeróbia de biomassa com conseqüente emissão de CH₄. A importância dessa fonte é ainda de difícil avaliação por inexistência de pesquisa significativa sobre o assunto. O IPCC, inclusive, não dispõe de metodologia para estimativa dessas emissões.

Com intuito de aumentar o conhecimento nesta área, desenvolveu-se pesquisa pioneira, com medição de emissões em vários reservatórios. As emissões ocorrem tanto por ebulição quanto por difusão molecular. Foram feitas também medições de emissões de CO₂, embora essas emissões já sejam contabilizadas no item conversão de florestas.

A grande variabilidade dos resultados observados não permitiu, entretanto, que estimativas de emissão de CH₄ fossem incorporadas a este Inventário.

1.2.6 Setor Tratamento de Resíduos

1.2.6.1 Disposição de Resíduos Sólidos

A disposição de resíduos sólidos propicia condições anaeróbias que geram CH₄. O potencial de emissão de CH₄ aumenta quanto melhor forem as condições de controle dos aterros e maior a profundidade dos lixões. Já a incineração de lixo, como toda combustão, gera emissões de vários

gases de efeito estufa, mas essa atividade é bastante reduzida no Brasil.

1.2.6.2 Tratamento de Esgotos

Efluentes com um alto grau de conteúdo orgânico têm um grande potencial de emissões de CH₄, em especial o esgoto doméstico e comercial, os efluentes da indústria de alimentos e bebidas e os da indústria de papel e celulose. As demais indústrias também contribuem para essas emissões, porém em menor grau.

No caso dos esgotos domésticos, em função do conteúdo de nitrogênio na alimentação humana, ocorrem, ainda, emissões de N₂O.



2 SUMÁRIO DAS EMISSÕES E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA POR GÁS

No ano de 1994, as emissões antrópicas líquidas de gases de efeito estufa foram estimadas em 1.030 Tg CO₂; 13,2 Tg CH₄; 550 Gg N₂O; 0,345 Gg CF₄; 0,035 Gg C₂F₆; 0,0018 Gg SF₆; 0,16 Gg HFC-23 e 0,12 Gg HFC-134a. Entre 1990 e 1994, as emissões totais de CO₂, CH₄ e N₂O aumentaram em 5%, 6% e 12%, respectivamente. As emissões de gases com efeitos indiretos sobre a mudança do clima foram também avaliadas. No ano de 1994, essas emissões foram estimadas em 2,3 Tg NO_x; 31,4 Tg CO; e 2,47 Tg NMVOC.

2.1 Emissões de Dióxido de Carbono

As emissões de CO₂ resultam de diversas atividades. Nos países desenvolvidos, a principal fonte de emissão é o uso energético de combustíveis fósseis. Outras fontes de emissão importantes nesses países são os processos industriais de produção de cimento, cal, barrilha, amônia e alumínio, bem como a incineração de lixo.

Diferentemente dos países industrializados, no Brasil a maior parcela das emissões líquidas estimadas de CO₂ é proveniente da mudança no uso da terra, em particular da conversão de florestas para uso agropecuário. Em função da elevada participação de energia renovável na matriz energética brasileira, pela geração de eletricidade a partir de hidrelétricas, pelo uso de álcool no transporte e bagaço de cana-de-açúcar e carvão vegetal na indústria, a parcela das emissões de CO₂ pelo uso de combustíveis fósseis no Brasil é relativamente pequena. Além disso, deve-se observar que o consumo energético brasileiro é ainda modesto, quando comparado aos países industrializados.

A Tabela 2.1.1 e as Figuras 2.1 e 2.2 sumarizam as emissões e remoções de CO₂ no Brasil, por setor.

O setor Energia engloba as emissões por queima de combustíveis fósseis e emissões fugitivas. As emissões fugitivas incluem a queima de gás nas tochas de plataformas e refinarias, e a combustão espontânea de carvão em depósitos e pilhas de rejeito. É preciso registrar que, por não ter sido possível fazer a separação, as emissões de CO₂ devidas ao processo de redução nas usinas siderúrgicas foram agregadas às emissões por combustão e consideradas no setor Energia. As

emissões de CO₂ do setor Energia representaram em 1994 23% das emissões totais de CO₂, tendo aumentado 16% em relação às emissões de 1990. Somente o subsetor Transportes foi responsável por 40% das emissões de CO₂ do setor Energia em 1994 e 9% do total de emissões de CO₂.

Excetuando as usinas siderúrgicas, as emissões devidas a processos industriais representaram apenas 1,6% das emissões totais, com a produção de cimento e cal constituindo a maior parcela (80%). No período de 1990 a 1994, as emissões devidas a processos industriais não variaram significativamente.

O setor de Mudança no Uso da Terra e Florestas foi responsável pela maior parcela das emissões de CO₂ (75%). A conversão de florestas para outros usos, em particular o agrícola, consistiu na maior parcela da emissão total de CO₂, tendo sido também incluídas as remoções de CO₂ pela regeneração de áreas abandonadas e a mudança no estoque de carbono nos solos.

Tabela 2.1.1 - Emissões e remoções de CO₂

Setor	1990	1994	Part. 1994	Variação 90/94
	(Gg)		(%)	
Energia	203.353	236.505	23,0	16
Queima de Combustíveis Fósseis	197.972	231.408	22,5	17
Subsetor Energético	22.914	25.602	2,5	12
Subsetor Industrial	61.260	74.066	7,2	21
Indústria Siderúrgica	28.744	37.887	3,7	32
Indústria Química	8.552	9.038	0,9	6
Outras Indústrias	23.964	27.141	2,6	13
Subsetor Transporte	82.020	94.324	9,2	15
Transporte Aéreo	5.818	6.204	0,6	7
Transporte Rodoviário	71.150	83.302	8,1	17
Outros Meios de Transporte	5.051	4.818	0,5	- 5
Subsetor Residencial	13.750	15.176	1,5	10
Subsetor Agricultura	9.998	12.516	1,2	25
Outros Setores	8.030	9.723	0,9	21
Emissões Fugitivas	5.381	5.096	0,5	- 5
Mineração de Carvão	1.653	1.355	0,1	- 18
Extração e Transporte de Petróleo e Gás Natural	3.728	3.741	0,4	0
Processos Industriais	16.949	16.870	1,6	- 0
Produção de Cimento	10.220	9.340	0,9	- 9
Produção de Cal	3.740	4.150	0,4	11
Produção de Amônia	1.297	1.301	0,1	0
Produção de Alumínio	1.510	1.892	0,2	25
Outras Indústrias	182	187	0,0	3
Mudança no Uso da Terra e Florestas	758.281	776.331	75,4	2
Mudança nos Estoques de Biomassa em Florestas e em Outras Formações Lenhosas	- 45.051	- 46.885	- 4,6	- 4
Conversão de Florestas para Outros Usos	882.477	951.873	92,4	8
Abandono de Terras Cultivadas	-189.378	- 204.270	- 19,8	- 8
Emissões e Remoções pelos Solos	110.233	75.613	7,5	- 31
TOTAL	978.583	1.029.706	100,0	5

Figura 2.1 - Emissões de CO₂ por Setor - 1990

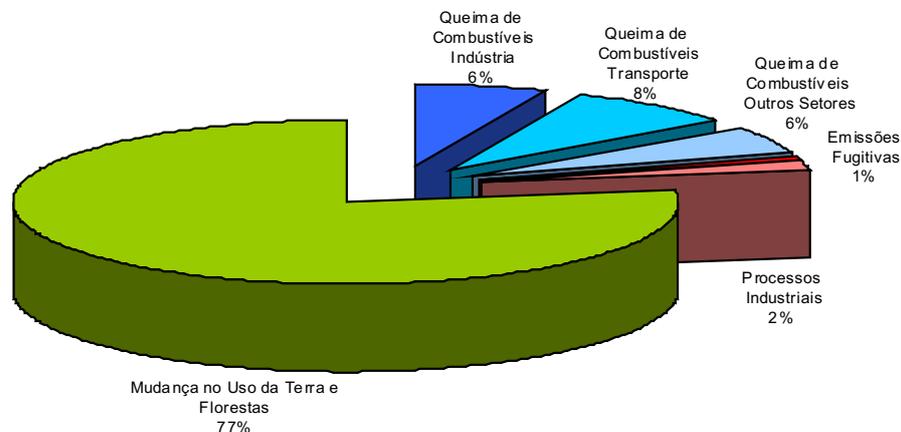
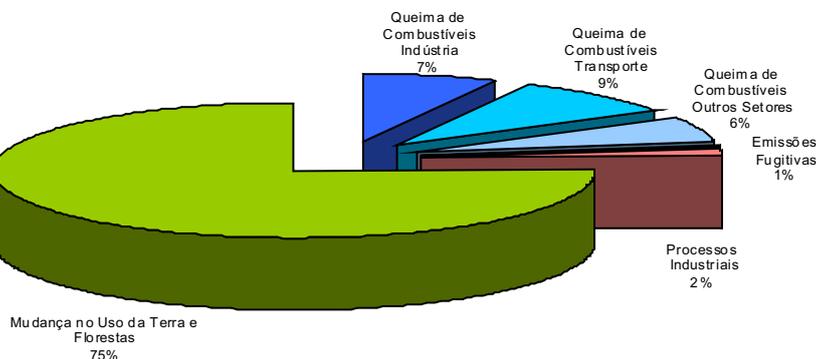


Figura 2.2 - Emissões de CO₂ por setor - 1994



2.2 Emissões de Metano

Emissões de CH₄ resultam de diversas atividades, incluindo aterros sanitários, tratamento de esgotos, sistemas de produção e processamento de petróleo e gás natural, atividades agrícolas, mineração de carvão, queima de combustíveis fósseis, conversão de florestas para outros usos e alguns processos industriais.

No Brasil, o setor Agropecuária é o maior responsável pelas emissões de CH₄ (77% em 1994), sendo a principal emissão decorrente da fermentação entérica (eructação) do rebanho de ruminantes, quase toda referente ao gado bovino, o segundo maior rebanho do mundo. As emissões anuais de CH₄ associadas à fermentação entérica foram estimadas em 9,4 Tg, 92% do total de emissões de CH₄ do setor Agropecuária. Os 8% restantes resultaram do manejo de dejetos de animais, da cultura do arroz irrigado e da queima de resíduos agrícolas. As emissões do setor aumentaram 7% no período de 1990 a 1994, devido, predominantemente, ao aumento do rebanho de gado de corte.

No setor Energia, as emissões de CH₄ ocorrem devido à queima imperfeita de combustíveis e também em fuga de CH₄ durante os processos de produção e transporte de gás natural e mineração de carvão. As emissões de CH₄ do setor Energia representaram, em 1994, 3% das emissões totais de CH₄, tendo diminuído 9% em relação às emissões de 1990.

No setor Processos Industriais, as emissões de CH₄ ocorrem durante a produção de petroquímicos, mas têm pequena participação nas emissões brasileiras.

As emissões do setor Tratamento de Resíduos representaram 6% do total das emissões de CH₄ em 1994, sendo a disposição de resíduos sólidos responsável por 84% desse valor. No período 1990 a 1994, as emissões de CH₄ do setor Tratamento de Resíduos aumentaram 9%.

No setor Mudança no Uso da Terra e Florestas as emissões de CH₄ ocorrem pela queima da biomassa nas áreas de desflorestamento. Essas emissões representaram 14% do total de emissões de CH₄ em 1994.



A Tabela 2.2.1 e as Figuras 2.3 e 2.4 sumarizam as emissões de CH₄.

Tabela 2.2.1 - Emissões de CH₄

Setor	1990	1994	Part. 1994	Variação 90/94
	(Gg)		(%)	
Energia	439	401	3,0	- 9
Queima de Combustíveis	332	293	2,2	- 12
Subsetor Energético	172	150	1,1	- 13
Subsetor Industrial	58	55	0,4	- 4
Indústria Siderúrgica	40	37	0,3	- 8
Outras Indústrias	18	19	0,1	5
Subsetor Transporte (Rodoviário)	10	9	0,1	- 5
Subsetor Residencial	77	65	0,5	- 16
Outros Setores	15	13	0,1	- 15
Emissões Fugitivas	107	108	0,8	1
Mineração de Carvão	59	53	0,4	- 10
Extração e Transporte de Petróleo e Gás Natural	47	54	0,4	15
Processos Industriais (Indústria Química)	3	3	0,0	8
Agropecuária	9.506	10.161	77,1	7
Fermentação Entérica	8.807	9.377	71,2	6
Gado Bovino	8.391	8.962	68,0	7
Gado de Leite	1.200	1.257	9,5	5
Gado de Corte	7.191	7.705	58,5	7
Outros Animais	416	415	3,2	-
Manejo de Dejetos de Animais	338	368	2,8	9
Gado Bovino	242	259	2,0	7
Gado de Leite	59	61	0,5	3
Gado de Corte	183	198	1,5	8
Aves	48	61	0,5	27
Outros Animais	48	48	0,4	1
Cultura de Arroz	240	283	2,1	18
Queima de Resíduos Agrícolas	121	133	1,0	10
Mudança no Uso da Terra e Florestas	1.615	1.805	13,7	12
Tratamento de Resíduos	737	803	6,1	9
Lixo	618	677	5,1	10
Esgoto	119	126	1,0	6
Industrial	79	83	0,6	5
Doméstico	39	43	0,3	10
TOTAL	12.299	13.173	100,0	7

Figura 2.3 - Emissões de CH₄ por setor - 1990

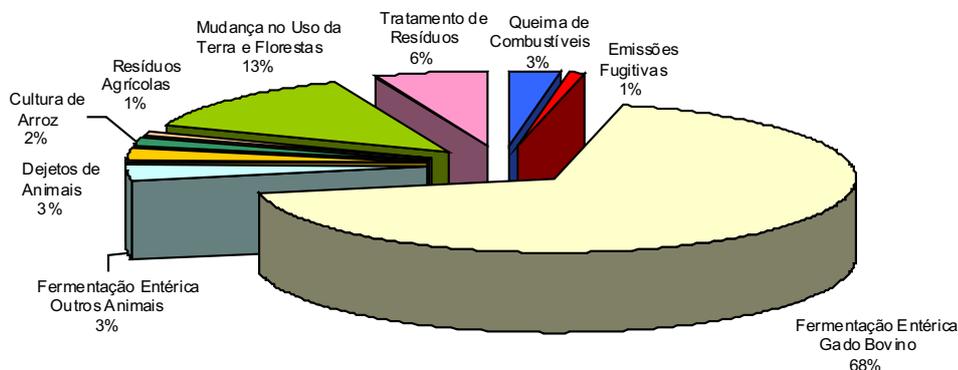
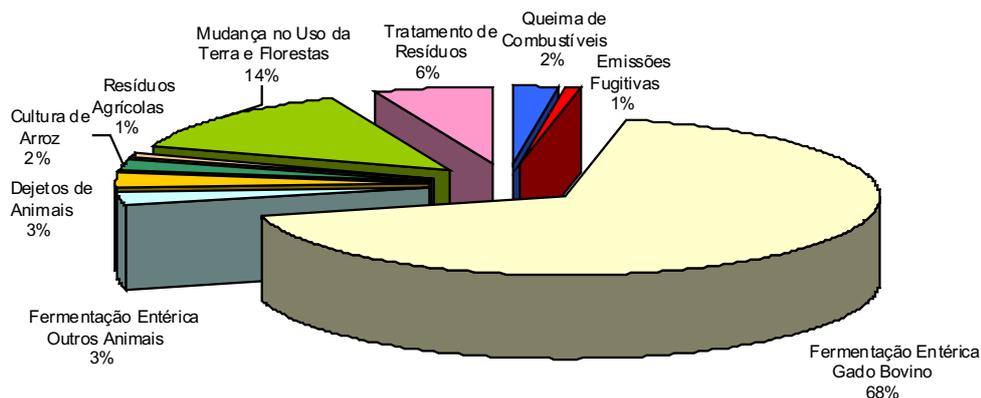


Figura 2.4 - Emissões de CH₄ por setor - 1994



2.3 Emissões de Óxido Nitroso

Emissões de N₂O resultam de diversas atividades, incluindo práticas agrícolas, processos industriais, queima de combustíveis fósseis e conversão de florestas para outros usos.

No Brasil, as emissões de N₂O, ocorrem, predominantemente, no setor Agropecuária (92% em 1994), seja por deposição de dejetos de animais em pastagem, seja, em menor escala, pela aplicação de fertilizantes em solos agrícolas. As emissões de N₂O no setor cresceram 12% entre 1990 e 1994.

As emissões de N₂O no setor Energia representaram apenas 1,6% das emissões totais de N₂O em 1994, sendo devidas à queima imperfeita de combustíveis.

No setor Processos Industriais, emissões de N₂O ocorrem durante a produção de ácido nítrico e ácido adípico, mas representaram apenas 2,5% das emissões totais de N₂O em 1994.

No setor Tratamento de Resíduos, as emissões de N₂O ocorrem durante o processo de tratamento de esgoto

doméstico, mas sua contribuição para as emissões totais de N₂O foi de apenas 2,2% em 1994.

No setor Mudança no Uso da Terra e Florestas as emissões de N₂O ocorrem pela queima da biomassa nas áreas de desflorestamento. Essas emissões representaram 2,3% do total de emissões de N₂O em 1994.

A Tabela 2.3.1 e as Figuras 2.5 e 2.6 sumarizam as emissões de N₂O.

Tabela 2.3.1 - Emissões de N₂O

Setor	1990	1994	Part. 1994	Varição 90/94
	(Gg)		(%)	
Energia (Queima de Combustíveis)	8	9	1,6	11
Subsetor Industrial	3	4	0,7	14
Outros Setores	5	5	0,9	9
Processos Industriais (Indústria Química)	8	14	2,5	61
Produção de Ácido Nítrico	0	1	0,1	38
Produção de Ácido Adípico	8	13	2,4	63
Agropecuária	451	503	91,5	12
Manejo de Dejetos de Animais	19	20	3,7	7
Gado Bovino	13	13	2,4	5
Outros Animais	6	7	1,2	11
Solos Agrícolas	426	476	86,6	12
Animais em Pastagem	207	219	39,7	6
Fertilizantes Sintéticos	14	21	3,8	51
Dejetos de Animais	12	13	2,4	12
Fixação Biológica	21	26	4,8	25
Resíduos Agrícolas	36	43	7,8	19
Solos Orgânicos	16	23	4,1	38
Emissões Indiretas	120	132	24,0	10
Queima de Resíduos Agrícolas	6	7	1,2	9
Mudança no Uso da Terra e Florestas	11	12	2,3	12
Tratamento de Resíduos (Esgoto Doméstico)	12	12	2,2	6
TOTAL	490	550	100,0	12

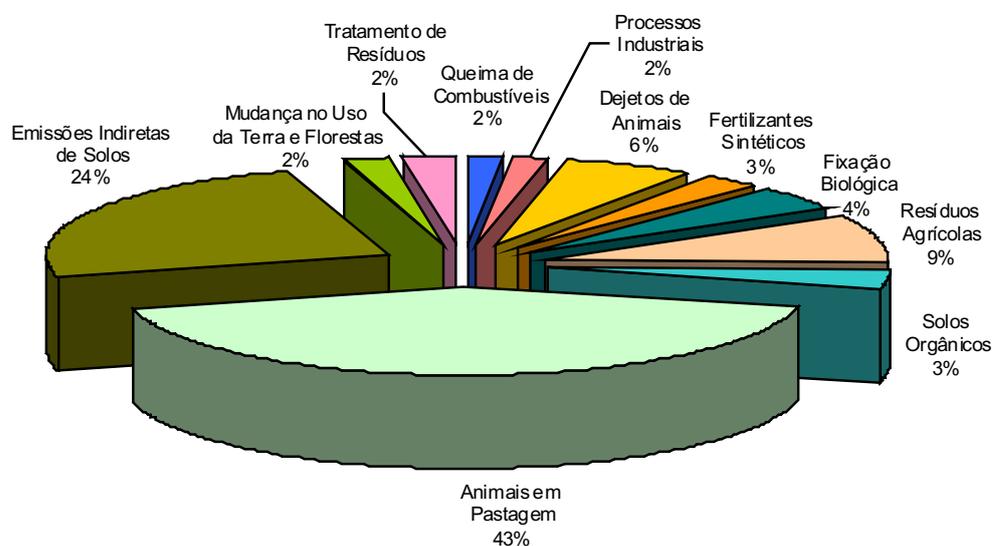
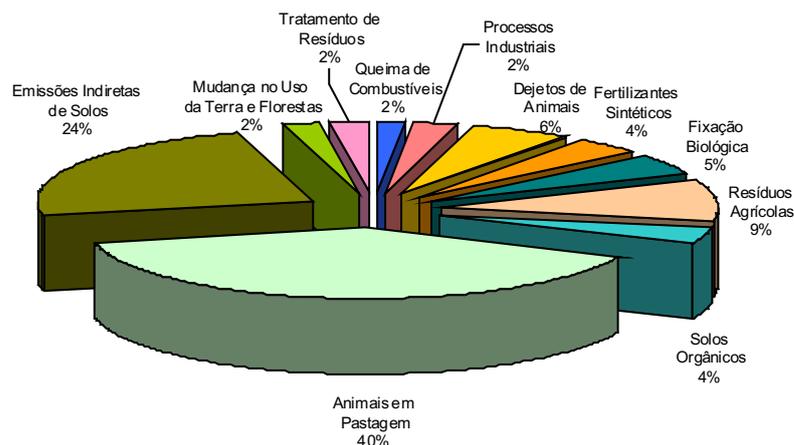
Figura 2.5 - Emissões de N₂O por setor - 1990

Figura 2.6- Emissões de N₂O por setor - 1994



2.4 Emissões de Hidrofluorcarbonos, Perfluorcarbonos e Hexafluoreto de Enxofre

Os gases HFC, PFC e SF₆ não existem originalmente na natureza, sendo sintetizados unicamente por atividades humanas.

O Brasil não produz HFC, tendo sido registrada a importação de 125 t de HFC-134a em 1994 para utilização no setor de refrigeração. Não foi observado o uso em outras aplicações possíveis, tais como fabricação de espumas ou uso em extintores de incêndio. Além disso, como resultado da produção de HCFC-22, ocorre a emissão de HFC-23, que foi estimada em 157 t HFC-23 em 1994, crescendo 30% em relação à emissão desse gás em 1990.

As emissões de PFC (CF₄ e C₂F₆) ocorrem durante o processo produtivo de alumínio. Resultam do efeito anódico que ocorre quando a quantidade de óxido de alumínio diminui nas cubas do processo. As emissões de PFC foram estimadas em 345 t CF₄ e 35 t C₂F₆ em 1994, crescendo 19% em relação a 1990.

O SF₆ é utilizado como isolante em equipamentos elétricos de grande porte. Emissões desse gás ocorrem devido a perdas nos equipamentos, principalmente quando de sua manutenção ou descarte. As emissões de SF₆ foram estimadas em 1,8 toneladas anuais no período de 1990 a 1994.

As Tabelas de 2.4.1 a 2.4.5 sumarizam as emissões de HFC, PFC e SF₆.

Tabela 2.4.1 - Emissões de HFC-23

Setor	1990	1994	Part. 1994	Variação 90/94
	(t)			
Processos Industriais	120	157	100,0	30
Emissões de HFC-23 Devidas à Produção de HCFC-22	120	157	100,0	30
TOTAL	120	157	100,0	30

Tabela 2.4.2 - Emissões de HFC-134a

Setor	1990	1994	Part. 1994
	(t)		
Processos Industriais	-	125	100,0
Consumo em Equipamentos de Refrigeração	-	125	100,0
TOTAL	-	125	100,0

Tabela 2.4.3 - Emissões de CF₄

Setor	1990	1994	Part. 1994	Variação 90/94
	(t)			
Processos Industriais	290	345	100,0	19
Produção de Alumínio	290	345	100,0	19
TOTAL	290	345	100,0	19

Tabela 2.4.4 - Emissões de C₂F₆

Setor	1990	1994	Part. 1994	Variação 90/94
	(t)		(%)	
Processos Industriais	29	35	100,0	19
Produção de Alumínio	29	35	100,0	19
TOTAL	29	35	100,0	19

Tabela 2.4.5 - Emissões de SF₆

Setor	1990	1994	Part. 1994
	(t)		(%)
Processos Industriais	1,8	1,8	100,0
Consumo em Equipamentos Elétricos	1,8	1,8	100,0
TOTAL	1,8	1,8	100,0

2.5 Gases de Efeito Estufa Indireto

Diversos gases possuem influência nas reações químicas que ocorrem na troposfera e dessa forma exercem um papel indireto no aumento do efeito radiativo. Esses gases incluem CO, NO_x e NMVOC. As emissões desses gases são, em sua maioria, resultado de atividades humanas.

As emissões de CO resultam, em sua grande maioria (98%), da queima imperfeita nos setores Energia e Agropecuária e Mudança no Uso da Terra e Florestas. O restante resulta dos processos produtivos do alumínio e produtos químicos, como amônia e ácido adípico. As emissões de CO aumentaram 1% entre 1990 e 1994.

As emissões de NO_x são, em sua quase totalidade, resultado da queima imperfeita, seja de combustíveis no setor Energia, seja de resíduos no setor Agropecuária ou biomassa em áreas de desflorestamento. Pequena parcela das emissões de NO_x ocorre no setor Processos Industriais, resultado da produção de ácido nítrico e alumínio. As emissões de NO_x cresceram 11% entre 1990 e 1994.

As emissões de NMVOC são também, em sua maioria, resultado da queima imperfeita de combustíveis (65% em 1994), mas uma parcela significativa é resultado da produção e uso de solventes (21% em 1994) ou proveniente da indústria de alimentos e bebidas (12% em 1994).

As Tabelas 2.5.1, 2.5.2 e 2.5.3 apresentam as emissões de CO, NO_x e NMVOC, respectivamente.

Tabela 2.5.1 - Emissões de CO

Setor	1990	1994	Part. 1994	Variação 90/94
	(Gg)		(%)	
Energia (Queima de Combustíveis)	13.880	12.266	39,1	-12
Subsetor Energético	1.640	1.551	4,9	- 5
Subsetor Industrial	1.765	1.833	5,8	4
Indústria Siderúrgica	842	790	2,5	- 6
Indústria de Alimentos e Bebidas	461	629	2,0	36
Outras Indústrias	462	414	1,3	- 10
Subsetor Transportes	6.368	5.406	17,2	- 15
Transporte Rodoviário	6.262	5.301	16,9	- 15
Outros Transportes	106	105	0,3	- 1
Subsetor Residencial	3.567	3.013	9,6	- 16
Outros Setores	540	463	1,5	- 14
Processos Industriais	367	510	1,6	39
Indústria Química	1	1	0,0	63
Indústria de Alumínio	346	480	1,5	39
Indústria de Papel e Celulose	20	29	0,1	43
Agropecuária (Queima de Resíduos)	2.542	2.787	8,9	10
Cana-de-açúcar	2.455	2.729	8,7	11
Algodão	87	57	0,2	- 34
Mudança no Uso da Terra e Florestas	14.132	15.797	50,4	12
TOTAL	30.921	31.360	100,0	1

Tabela 2.5.2 - Emissões de NO_x

Setor	1990	1994	Part. 1994	Variação 90/94
	(Gg)		(%)	
Energia (Queima de Combustíveis)	1.448	1.601	69,6	11
Subsetor Energético	215	235	10,2	9
Subsetor Industrial	297	347	15,1	17
Indústria Siderúrgica	94	113	4,9	21
Outras Indústrias	203	233	10,1	15
Subsetor Transportes	869	956	41,5	10
Transporte Rodoviário	750	838	36,4	12
Outros Transportes	119	117	5,1	- 1
Subsetor Residencial	54	48	2,1	- 11
Outros Setores	14	16	0,7	17
Processos Industriais	8	11	0,5	39
Agropecuária (Queima de Resíduos)	219	239	10,4	9
Cana-de-açúcar	208	232	10,1	11
Algodão	10	7	0,3	- 34
Mudança no Uso da Terra e Florestas	401	449	19,5	12
TOTAL	2.076	2.300	100,0	11

Tabela 2.5.3 - Emissões de NMVOC

Setor	1990	1994	Part. 1994	Variação 90/94
	(Gg)		(%)	
Energia (Queima de Combustíveis)	1892	1596	64,5	- 16
Subsetor Energético	342	298	12,1	- 13
Subsetor Industrial	51	55	2,2	7
Indústria Siderúrgica	24	23	0,9	- 1
Indústria de Alimentos e Bebidas	14	19	0,8	34
Outras Indústrias	14	13	0,5	- 7
Subsetor Transportes	1232	1017	41,1	- 17
Transporte Rodoviário	1214	999	40,4	- 18
Outros Transportes	18	18	0,7	- 2
Subsetor Residencial	206	175	7,1	- 15
Outros Setores	59	51	2,0	- 15
Processos Industriais	347	358	14,5	3
Indústria Química	27	31	1,2	15
Indústria de Papel e Celulose	13	19	0,8	43
Indústria de Alimentos e Bebidas	307	308	12,4	0
Uso de Solventes	357	521	21,1	46
TOTAL	2595	2474	100,0	- 5



Qual é a parcela de responsabilidade do Brasil em relação à mudança do clima?

Uma formulação mais precisa dessa questão seria:

Qual é a fração de aumento na temperatura média da superfície terrestre resultante de emissões globais de gases de efeito estufa não controladas pelo Protocolo de Montreal que resulta dessas emissões no Brasil?

Para responder a essa questão, será necessário esperar que o Órgão Subsidiário de Assessoramento Científico e Tecnológico (SBSTA) termine sua análise dos "Aspectos Científicos e Metodológicos da Proposta Brasileira", como solicitado pela Terceira Conferência das Partes em Quioto.

Os aspectos científicos estão em constante evolução. Eles podem, no entanto, ser levados em conta, considerando-se de forma convencional o conhecimento contido no Terceiro Relatório de Avaliação do IPCC, com base no fato de que tal conhecimento foi adequadamente revisto pela comunidade científica e por Governos, e então revisando as estimativas, se necessário, quando uma nova avaliação do IPCC for disponibilizada.

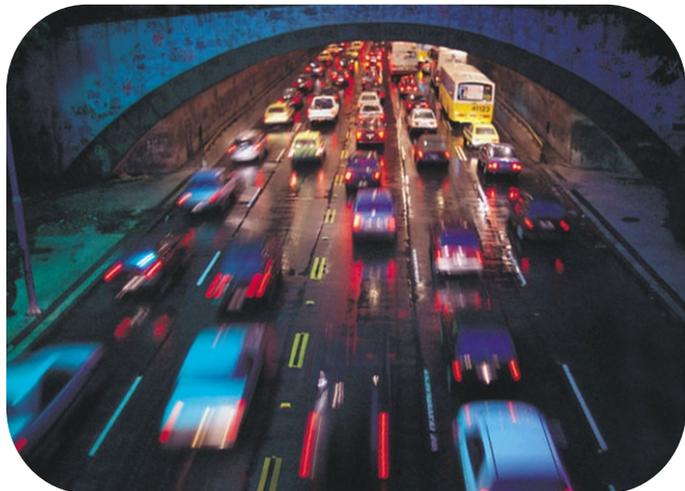
Os aspectos metodológicos estão associados à consideração das não-linearidades conhecidas e à influência de outras substâncias radiativamente ativas não incluídas na Convenção, a saber, aerossóis e clorofluorcarbonos. Esses aspectos não foram adequadamente consideradas pelo SBSTA.

No caso do Brasil, a grande dificuldade está na consideração das emissões a partir de mudanças no uso da terra. Tais emissões no período de 1990-1994 são muito importantes para o país, com pode ser observado no inventário. Para o período anterior relevante, entretanto, não há consistência entre as estimativas de emissões globais e as emissões nacionais relatadas pelas Partes no setor de Uso da Terra, Mudança no Uso da Terra e Florestas, em grande parte devido às dificuldades encontradas em separar o efeito antrópico direto de outros efeitos que influenciam as emissões. Um problema semelhante ocorre com as estimativas de emissões passadas no Brasil a partir da mudança no uso da terra.

A opção de agregar as emissões relatadas para produzir dióxido de carbono equivalente com o uso do Potencial de Aquecimento Global (GWP) em um horizonte de tempo de 100 anos não foi adotada pelo Brasil. O GWP baseia-se na relativa importância dos gases de efeito estufa, em relação ao dióxido de carbono, na produção de uma quantidade de energia (por área unitária) vários anos após um impulso de emissão. Essa variável não representa de forma adequada a contribuição relativa dos diferentes gases de efeito estufa à mudança do clima. Seja ela medida em termos de aumento na temperatura média da superfície terrestre, aumento do nível do mar ou em qualquer estatística de elementos meteorológicos relacionados aos danos, a mudança do clima não é proporcional à energia, à exceção de períodos de tempo muito curtos. O uso do GWP então propiciaria políticas de mitigação inadequadas. Além disso, o seu uso enfatiza sobremaneira e de modo errôneo a importância de gases de efeito estufa de vida curta, especialmente a do metano.

Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa por Setor

Energia





3 EMISSÕES E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA POR SETOR

3.1 Energia

3.1.1 Características da Matriz Energética Brasileira

A matriz energética brasileira caracteriza-se pela grande participação das fontes renováveis, como pode ser observado na Tabela 3.1.1. Em 1994, 93% da energia elétrica consumida era de origem hidráulica. O etanol produzido a partir da cana-de-açúcar também tem uma participação importante, como resultado do Programa Nacional do Alcool - Proalcool, programa governamental

para incrementar a produção de álcool hidratado para uso automotivo e a adição de álcool anidro à gasolina. Além do álcool, a cana-de-açúcar também produz o bagaço, que é utilizado principalmente em caldeiras no setor industrial.

Como consequência dessa política de desenvolvimento, em 1994, as fontes primárias de origem fóssil representaram apenas 40% da oferta interna bruta de energia. Dessas fontes, o petróleo foi responsável pela maior contribuição, seguido do carvão metalúrgico, quase todo importado e destinado ao setor siderúrgico. O carvão vapor brasileiro possui baixo poder calorífico e alto teor de cinzas. Essas características limitam, por questões econômicas, a sua utilização às áreas próximas aos locais de extração. É utilizado predominantemente na geração termelétrica.

Tabela 3.1.1 - Oferta interna bruta de energia, por fonte

Fonte	1990	1994	Part. 1994	Varição 90/94
	(Mtep) ^a	(Mtep)	(%)	(%)
Energia – Origem Fóssil	71,6	83,3	39,5	16
Petróleo	57,9	67,1	31,8	16
Gás Natural	4,2	5,0	2,3	18
Carvão Vapor e Metalúrgico	9,5	11,2	5,3	18
Energia – Origem Não Fóssil	115,7	127,5	60,5	10
Urânio - U ₃ O ₈	0,6	0,0	0,0	-
Hidráulica ^b	67,6	79,6	37,8	18
Lenha	28,2	24,5	11,6	-13
Produtos da Cana-de-Açúcar	17,9	21,3	10,1	19
Outras Primárias	1,4	2,0	1,0	49
OFERTA INTERNA BRUTA	187,3	210,8	100	13

Fonte: MME, 1998.

^a tep (1 tonelada equivalente de petróleo) = 45,22 GJ (com base no poder calorífico superior médio do petróleo consumido no Brasil).

^b Fator de conversão de energia hidráulica e eletricidade para tep: 1 MWh = 0,29 tep¹.

¹ Para a conversão de energia hidráulica e eletricidade em toneladas equivalentes de petróleo, o BEN-1998 adota o princípio de "equivalência na produção", que estabelece a quantidade de petróleo necessária para gerar 1MWh em uma usina termelétrica (1MWh = 0,29). A maioria dos países adota o princípio de "equivalência no consumo" baseado na primeira lei da termodinâmica (1MWh = 0,086 tep). A convenção adotada no Brasil superestima a oferta interna bruta de energia hidráulica, eletricidade e energia nuclear, bem como o consumo final de eletricidade, em relação ao critério adotado internacionalmente, podendo distorcer as comparações com outros países.

A evolução do consumo final de energia para fins energéticos pode ser observada na Tabela 3.1.2.

energia. Esse processo é, contudo, imperfeito e, como consequência, também são produzidos CH₄, CO, e NMVOC. Como efeito secundário, ocorre também a geração de N₂O e NO_x.

Tabela 3.1.2 - Consumo final de energia, por fonte e por setor

Fonte	1990	1994	Part. 1994	Variação 90/94
	(ktep) ^a	(ktep)	(%)	(%)
Consumo Final por Fonte				
Lenha	15.441	13.592	7,5	-12
Bagaço	11.061	14.281	7,9	29
Diesel	20.298	23.185	13,0	14
Óleo Combustível	9.448	10.241	5,7	8
Gasolina	7.336	9.102	5,1	24
Coque de Carvão Mineral	5.030	6.591	3,7	31
Eletricidade ^b	63.121	72.440	40,0	15
Álcool	5.700	6.467	3,6	13
Outros	22.267	24.162	13,0	9
Consumo Final por Setor				
Setor Energético	13.181	14.625	8,1	11
Residencial	27.730	29.052	16,0	5
Comercial	7.774	9.036	5,0	16
Público	5.426	6.837	3,8	26
Agropecuário	7.259	8.234	4,6	13
Transporte	32.311	37.068	21,0	15
Industrial	65.718	75.209	42,0	14
Outros	303	0	-	-
TOTAL	159.702	180.061	100,0	13

Fonte: MME, 1998.

^a 1tep (1 tonelada de petróleo) = 45,22 GJ (com base no poder calorífico superior médio do petróleo consumido no Brasil).

^b Fator de conversão de energia hidráulica e eletricidade para tep: 1 MWh = 0,29 tep.

As tendências mais marcantes, no período de 1990 a 1994, foram a retração do uso da lenha no consumo final, o aumento do uso da eletricidade, bagaço, gasolina e coque de carvão mineral. Também foi verificado um crescimento acima da média no consumo energético dos setores de serviço, industrial e de transporte. Essa mudança na estrutura do consumo final de energia, ao longo do período, é reflexo do processo de industrialização e urbanização acelerada. Grande parte do aumento do consumo energético na indústria refere-se à eletricidade. Como a expansão da geração elétrica foi predominantemente a partir de fonte hidráulica, o aumento do consumo não se refletiu em aumento equivalente das emissões de gases de efeito estufa.

Na seção a seguir são estimadas as emissões de gases de efeito estufa devidas à produção, à transformação, ao transporte e ao consumo de energia, divididas em duas subseções: emissões por queima de combustíveis e emissões fugitivas.

3.1.2 Emissões por Queima de Combustíveis

O processo de combustão gera essencialmente CO₂ pela oxidação do carbono contido nos combustíveis, liberando

3.1.2.1 Emissões de CO₂ por queima de combustíveis fósseis

As emissões de CO₂ do Brasil, originadas da queima de combustíveis, foram estimadas utilizando duas metodologias do IPCC (IPCC, 1997): a abordagem de referência ou *Top-Down*, na qual as emissões de CO₂ são calculadas a partir da oferta de combustível; e a abordagem setorial ou *Bottom-Up*, na qual as emissões de CO₂ são calculadas a partir do consumo final energético em cada setor. Apenas as emissões de CO₂ correspondentes aos combustíveis fósseis são consideradas neste capítulo, já que as emissões resultantes da queima de biomassa não renovável são consideradas no setor Mudança no Uso da Terra e Florestas.

As estimativas de emissão baseiam-se nos dados de produção e consumo por fonte energética, obtidos do Balanço Energético Brasileiro (MME, 1998), publicado anualmente pelo Ministério de Minas e Energia.

Top-Down

A metodologia *Top-Down* permite estimar as emissões de CO₂ considerando apenas a oferta de energia no país. As emissões são estimadas a

partir de um balanço envolvendo a produção doméstica de combustíveis primários, as importações líquidas de combustíveis primários e secundários e a variação interna dos estoques desses combustíveis. A metodologia supõe que, uma vez introduzido na economia nacional, em um determinado ano, o carbono contido em um combustível ou é liberado para a atmosfera ou é retido de alguma forma (como, por exemplo, através do aumento do estoque do combustível, da incorporação a produtos não energéticos ou da sua retenção, parcialmente não oxidado). A vantagem do método *Top-Down* sobre outros métodos é, portanto, não depender de informações detalhadas de como o combustível é utilizado pelo usuário final, ou sobre as transformações intermediárias dos combustíveis.

A Tabela 3.1.3 apresenta o resultado das emissões de CO₂ estimadas pelo método *Top-Down* para o período de 1990 a 1994.

Tabela 3.1.3 - Emissões de CO₂ dos combustíveis fósseis (Top-Down) - 1990 a 1994

Setor	1990	1991	1992	1993	1994	Part. 1994	Variação 90/94
	(Gg)						
Petróleo e Derivados	157.831	162.473	167.163	173.792	182.657	77,2	16
Carvão e Derivados	37.517	43.325	42.263	43.740	45.043	19,0	20
Gás Natural	6.927	6.730	7.303	8.036	8.308	3,5	20
Outras Fontes Fósseis	636	692	736	801	589	0,3	- 7
TOTAL	202.911	213.220	217.465	226.369	236.598	100	17

As emissões totais de CO₂ provenientes da queima de combustíveis fósseis evoluíram de 203 Mt CO₂ em 1990 para 237 Mt CO₂ em 1994, o que representa um aumento de 17%, ou seja, um aumento médio anual de 4%.

Verifica-se a predominância (77% em 1994) das emissões dos derivados de petróleo. O segundo lugar é ocupado pelas emissões do carvão e derivados (19% em 1994), que têm como origem principal o carvão metalúrgico e coque de carvão mineral importados. O coque, além de possuir um fator de emissão cerca de 25% maior do que o petróleo, vem substituindo o carvão vegetal de origem renovável.

As emissões originadas do gás natural, apesar de crescentes ao longo do período, contribuem pouco para as emissões totais (4% em 1994).

Bottom-Up

As emissões de CO₂ são dependentes do conteúdo de carbono dos combustíveis, podendo ser estimadas, em um

nível de agregação alto, conforme proposto na metodologia Top-Down. Mesmo assim, a metodologia do IPCC (IPCC, 1997) recomenda que se estimem as emissões de CO₂ em um nível mais desagregado, também adotado para estimar as emissões dos outros gases de efeito estufa². Seguindo essa orientação, as emissões de CO₂ da queima de combustíveis foram estimadas para os vários setores da economia. As Tabelas 3.1.4 e Tabela 3.1.5 apresentam as emissões por combustível e por setor de atividade para o período de 1990 a 1994.

As emissões de CO₂, em 1994, foram estimadas em 231 Mt. Essas emissões cresceram 17% no período de 1990 a 1994, enquanto o crescimento do consumo de energia foi 13%. Isso permite concluir que houve um leve aumento da intensidade de carbono do sistema energético do país.

A Tabela 3.1.4 mostra as emissões de CO₂, por combustível, para o consumo de combustíveis fósseis.

Tabela 3.1.4 - Emissões de CO₂ dos combustíveis fósseis, por combustível - 1990 a 1994

Combustível	1990	1991	1992	1993	1994	Part. 1994	Variação 90/94
	(Gg)						
Gasolina	21.620	23.406	23.288	24.494	26.825	11,6	24
Querosene de Aviação	5.677	5.960	5.616	5.920	6.054	2,6	7
Querosene Iluminante	568	550	480	413	364	0,2	-36
Óleo Diesel	65.680	68.336	70.163	72.109	75.067	32,4	14
Óleo Combustível	32.869	31.089	33.270	35.392	36.366	15,7	11
GLP	14.445	14.773	15.540	15.701	16.012	6,9	11
Nafta	2.982	2.903	3.166	3.270	3.693	1,6	24
Lubrificantes	1.067	1.026	853	937	978	0,4	-8
Coque de Petróleo	1.574	1.685	1.552	1.664	2.183	0,9	39
Carvão Vapor	7.634	9.498	8.052	7.129	7.650	3,3	0
Carvão Metalúrgico	-	-	-	685	1.031	0,4	-
Alcatrão	660	840	996	1.021	918	0,4	39
Coque de Carvão Mineral	22.904	27.458	27.840	29.439	30.012	13,0	31
Gás Natural	6.363	6.374	6.974	7.725	7.945	3,4	25
Gás de refinaria	4.126	4.623	4.748	4.948	5.302	2,3	28
Outros Produtos Secundários do Petróleo	2.894	2.738	3.222	3.209	3.911	1,7	35
Gás Canalizado	566	568	507	468	302	0,1	-47
Gás de Coqueria	5.711	6.062	6.176	6.417	6.211	2,7	9
Outras Primárias Fósseis	630	685	729	795	585	0,3	-7
TOTAL	197.972	208.573	213.170	221.734	231.408	100	17

²Outros gases de efeito estufa reportados, conhecidos genericamente como gases não-CO₂, são: CO, CH₄, NO_x, N₂O e NMVOC.

O óleo diesel aparece como o combustível responsável pela maior parcela das emissões de CO₂ (32% em 1994). No entanto, o aumento de 14% no período 1990 a 1994 é um pouco mais baixo do que o aumento médio das emissões totais dos combustíveis, de 17%. O segundo combustível que mais contribuiu para as emissões de CO₂ foi o óleo combustível (16% em 1994), mas com taxa de crescimento igualmente baixa, de 11%. Seguem em ordem decrescente de participação em 1994: coque de carvão mineral (13%),

gasolina (12%), GLP (7%) e gás natural (3,4%). A maior parte desses combustíveis apresentou significativo crescimento no período: coque de carvão mineral (31%), gasolina (24%) e gás natural (25%).

A Tabela 3.1.5 mostra as emissões de CO₂, por setor, para os combustíveis fósseis.

Tabela 3.1.5 - Emissões de CO₂ dos combustíveis fósseis, por setor - 1990 a 1994

Setor	1990	1991	1992	1993	1994	Part. 1994	Varição 90/94
	(Gg)					(%)	
Setor Energético	22.914	22.704	24.886	25.119	25.602	11,1	12
Centrais Elétricas Serviço Público	5.999	6.889	7.551	6.626	7.242	3,1	21
Centrais Elétricas Autoprodutoras	3.076	3.231	4.146	4.263	3.607	1,6	17
Consumo Setor Energético	13.839	12.584	13.189	14.229	14.753	6,4	7
Consumo Não Energético	5.482	5.438	5.423	5.614	6.204	2,7	13
Residencial	13.750	14.122	14.633	15.168	15.176	6,6	10
Comercial	2.046	1.899	1.952	1.526	1.557	0,7	-24
Público	502	520	499	878	1.962	0,8	291
Agropecuário	9.998	10.425	10.729	11.854	12.516	5,4	25
Transportes	82.020	86.052	86.760	89.989	94.324	40,8	15
Aéreo	5.818	6.089	5.728	6.047	6.204	2,7	7
Rodoviário	71.150	75.052	75.923	78.338	83.302	36,0	17
Ferroviário	1.614	1.611	1.657	1.682	1.260	0,54	-22
Marítimo	3.437	3.300	3.452	3.922	3.558	1,5	4
Industrial	61.260	67.412	68.289	71.587	74.066	32,0	21
Cimento	5.628	6.384	4.999	5.011	4.940	2,1	-12
Ferro-Gusa e Aço	28.536	33.343	33.925	36.055	37.606	16,3	32
Ferroligas	208	155	246	264	281	0,1	35
Mineração e Pelotização	2.405	2.384	2.637	2.791	3.215	1,4	34
Não-Ferrosos	3.085	3.194	3.213	4.092	3.860	1,7	25
Química	8.552	8.733	8.990	8.504	9.038	3,9	6
Alimentos e Bebidas	3.201	3.214	3.514	3.594	3.615	1,6	13
Têxtil	1.599	1.523	1.497	1.583	1.332	0,6	-17
Papel e Celulose	2.445	2.710	3.098	2.885	2.936	1,3	20
Cerâmica	1.680	1.775	2.220	2.465	2.501	1,1	49
Outros	3.921	3.997	3.950	4.344	4.741	2,0	21
TOTAL	197.972	208.573	213.170	221.734	231.408	100	17



O setor que mais contribuiu para as emissões, em 1994, foi o setor de transportes (41%), onde somente o modo rodoviário foi responsável por 36% das emissões totais. O setor industrial contribuiu com 32% das emissões. O subsetor industrial que mais contribuiu para as emissões de gases de efeito estufa foi o de ferro-gusa e aço, com 16% das emissões totais. Deve-se acrescentar que as emissões do setor industrial cresceram 21% no período de 1990 a 1994, ou seja, acima da média nacional. Dos setores de pouco peso, o agropecuário e o público apresentaram altas taxas de crescimento das emissões no período, respectivamente 25% e 291%, enquanto o setor comercial apresentou uma queda de 24% nas emissões³.

A Tabela 3.1.6 apresenta a comparação entre as estimativas das emissões de CO₂ obtidas pelos dois métodos. O valor encontrado empregando-se o método *Top-Down* é cerca de 2% maior do que aquele obtido pelo *Bottom-Up*. Essa diferença é esperada, pois as estimativas pelo método *Bottom-Up* não contabilizam as perdas de energia na transformação e na distribuição, o que resulta em uma estimativa um pouco menor.

Tabela 3.1.6 - Emissões de CO₂ dos combustíveis fósseis estimadas pelos métodos *Top-Down* e *Bottom-Up*

	1990	1991	1992	1993	1994
Método de Referência (Gg) (A)	202.911	213.220	217.465	226.369	236.598
Método <i>Bottom-Up</i> (Gg) (B)	197.972	208.573	213.170	221.734	231.408
DIFERENÇA (%) ((A-B) / B)	2,5	2,2	2,0	2,1	2,2

3.1.2.2 Emissões de outros Gases de Efeito Estufa por Queima de Combustíveis

Os outros gases de efeito estufa estimados são: CH₄, N₂O, CO, NO_x e NMVOC. Esses gases são tratados de forma genérica como gases "não-CO₂" e suas emissões foram estimadas para todos os combustíveis, inclusive os derivados de biomassa.

Para aplicar a metodologia *Bottom-Up*, os usos finais das fontes energéticas devem ser conhecidos, bem como as características dos equipamentos utilizados. Os dados referentes à utilização final foram obtidos do Balanço de Energia Útil (MME, 1993), publicado pelo Ministério das Minas e Energia.

Foram usados, preferencialmente, os fatores de emissão da abordagem detalhada (*Tier 2*) da metodologia do IPCC (IPCC, 1997). Nos casos, onde não havia fatores adequados, foram utilizados os fatores de emissão do *Tier 2* da versão anterior do IPCC (IPCC, 1995). Quando nenhuma informação estava disponível, foram utilizados os fatores de emissão da abordagem simplificada (*Tier 1*) do IPCC (IPCC, 1997). Para gasolina e etanol consumidos no modo de transporte

rodoviário foram adotados os fatores de emissão para a frota nacional de veículos leves, calculados a partir dos dados obtidos na CETESB (CETESB, 1994).

A Tabela 3.1.7 apresenta as emissões dos outros gases de efeito estufa por queima de combustíveis para o período de 1990 a 1994.

Tabela 3.1.7 - Emissões de outros gases por queima de combustíveis - 1990 a 1994

Gás	1990	1991	1992	1993	1994	Varição 90/94
	(Gg)					(%)
CH ₄	332	306	290	290	293	-12
N ₂ O	7,9	8,1	8,1	8,1	8,7	10
CO	13.880	13.668	13.016	12.362	12.266	-12
NO _x	1.448	1.500	1.524	1.559	1.601	11
NMVOC	1.892	1.841	1.714	1.639	1.596	-16

Em 1994, foram emitidos 12.266 Gg CO; 293 Gg CH₄; 1.601 Gg NO_x; 8,7 Gg N₂O; e 1.596 Gg NMVOC. Apesar do aumento do consumo de combustíveis, no período de 1990 a 1994, as emissões de CH₄, CO e NMVOC decresceram significativamente devido a duas causas principais: melhoria tecnológica nos veículos rodoviários e redução do consumo de lenha.

Uma análise mais detalhada dos resultados acima encontra-se nos itens a seguir. Para cada gás são apresentadas tabelas com as emissões por combustível e setor, para o período de 1990 a 1994. Cada uma dessas tabelas apresenta, também, a distribuição percentual em 1994 e a correspondente taxa de crescimento no período.

Metano

Em 1994, foram emitidos 293 Gg CH₄ por queima de combustíveis. As emissões reduziram-se no período de 1990 a 1994.

A Tabela 3.1.8 mostra que os combustíveis de biomassa são as principais fontes emissoras de CH₄ (96% em 1994). No entanto, verificou-se um decréscimo de 12% no período. As emissões dos combustíveis fósseis, que foram responsáveis por apenas 4% das emissões, apresentaram redução de 1%. O principal combustível, em termos de emissões de CH₄, foi a lenha (73%), seguida do carvão vegetal (15%) e do bagaço (6,5%). Dentre eles, apenas o bagaço apresentou crescimento das emissões de CH₄.

³Esses dados têm que ser interpretados à luz da estrutura energética do Brasil. O crescimento do consumo de energia no setor comercial deu-se, exclusivamente, pela eletricidade, enquanto o consumo dos combustíveis fósseis diminuiu. Nos setores público e agropecuário houve, além do aumento do consumo de eletricidade, um aumento do consumo de combustíveis fósseis.

Tabela 3.1.8 - Emissões de CH₄, por combustível - 1990 a 1994

Combustível	1990	1991	1992	1993	1994	Part. 1994	Variação 90/94
	(Gg)						
Combustíveis Fósseis							
Total Fóssil	12	12	12	12	12	4,1	-1
Gasolina	5,0	4,9	4,5	4,1	3,8	1,3	-24
Querosene de Aviação	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,0	7
Querosene Iluminante	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,0	-38
Óleo Diesel	5,0	5,2	5,4	5,6	5,8	2,0	15
Óleo Combustível	0,87	0,85	0,91	0,95	0,93	0,3	8
GLP	0,26	0,26	0,28	0,28	0,29	0,1	12
Coque de Petróleo	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,0	52
Carvão Vapor	0,08	0,10	0,09	0,07	0,08	0,0	-3
Carvão Metalúrgico	-	-	-	0,01	0,01	0,0	-
Alcatrão	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,0	54
Coque de Carvão Mineral	0,22	0,26	0,26	0,28	0,28	0,1	31
Gás Natural	0,11	0,12	0,14	0,20	0,23	0,1	105
Gás de Refinaria	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,0	26
Outras Secundárias Petróleo	0,05	0,05	0,05	0,06	0,07	0,0	31
Gás Canalizado	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,0	-40
Gás de Coqueria	0,07	0,08	0,09	0,09	0,07	0,0	2
Outras Primárias Fósseis	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,0	-7
Biomassa							
Total Biomassa	320	294	278	278	281	95,9	-12
Lenha	251	230	217	215	215	73,4	-14
Carvão Vegetal	51	45	42	44	45	15,4	-13
Bagaço	15	16	17	16	19	6,5	29
Resíduos Vegetais	0,73	0,76	0,89	0,88	0,76	0,3	4
Lixívia	0,10	0,11	0,13	0,15	0,16	0,1	64
Etanol	1,7	1,8	1,8	1,7	1,8	0,6	4
TOTAL	332	306	290	290	293	100	-12

Em termos de emissões setoriais em 1994 (Tabela 3.1.9), o setor energético foi o principal responsável pelas emissões de CH₄ (51%) devido à participação das carvoarias (48%). Seguem-se os setores residencial (22%) e industrial (19%). Os setores que apresentaram as maiores taxas de crescimento de emissões no período foram o público (48%) e a indústria de alimentos e bebidas (41%).

Cruzando as três variáveis equipamento, combustível e setor identifica-se a lenha para carvoejamento como a principal fonte de emissão, com 48% das emissões de CH₄ resultantes da queima de combustíveis em 1994. Seguem-se lenha dos fornos do setor residencial (21%) e o carvão vegetal queimado nos altos-fornos da indústria de ferro-gusa e aço (11%).

A diminuição das emissões de CH₄ é fortemente influenciada pela redução do consumo de lenha, cujas emissões decresceram em 14% no período de 1990 a 1994.

Tabela 3.1.9 - Emissões de CH₄, por setor - 1990 a 1994

Setor	1990	1991	1992	1993	1994	Part. 1994	Varição 90/94
	(Gg)					(%)	
Setor Energético	172	153	141	148	150	51,3	-13
Centrais Elétricas Serviço Público	0,11	0,12	0,15	0,13	0,14	0,0	24
Centrais Elétricas Autoprodutoras	0,92	1,0	1,1	1,1	1,0	0,4	12
Carvoarias	163	143	131	138	140	47,6	-14
Consumo Setor Energético	8,7	10	9,2	8,9	10	3,3	12
Residencial	77	76	76	67	65	22,1	-16
Comercial	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	0,5	-12
Público	0,07	0,07	0,06	0,06	0,10	0,0	48
Agropecuário	13	13	12	11	11	3,9	-11
Transportes	10	11	10	10	10	3,4	-6
Aéreo	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,0	7
Rodoviário	10	10	9,7	9,5	9,5	3,2	-6
Ferroviário	0,11	0,11	0,11	0,11	0,09	0,0	-22
Marítimo	0,23	0,22	0,23	0,26	0,23	0,1	3
Industrial	58	52	50	53	55	18,9	-4
Cimento	3,0	2,2	1,8	2,0	2,3	0,8	-25
Ferro-Gusa e Aço	37	31	29	32	33	11,2	-11
Ferroligas	3,0	4,1	3,5	4,2	3,7	1,3	21
Mineração e Pelotização	0,31	0,33	0,29	0,06	0,06	0,0	-80
Não-Ferrosos	2,2	1,8	1,8	1,0	1,1	0,4	-49
Química	0,75	0,72	0,68	0,69	0,72	0,2	-4
Alimentos e Bebidas	7,3	7,3	8,6	8,5	10,3	3,5	41
Têxtil	0,20	0,19	0,14	0,15	0,13	0,0	-33
Papel e Celulose	1,1	1,1	1,3	1,3	1,3	0,4	17
Cerâmica	2,2	2,1	1,9	2,0	2,1	0,7	-7
Outros	0,89	0,88	0,66	0,71	0,75	0,3	-16
TOTAL	332	306	290	290	293	100	-12

Óxido Nitroso

Em 1994, foram emitidos 8,7 Gg N₂O por queima de combustíveis. A taxa de crescimento das emissões foi 10% entre 1990 e 1994.

Tabela 3.1.10 - Emissões de N₂O, por combustível - 1990 a 1994

Combustível	1990	1991	1992	1993	1994	Part. 1994	Variação 90/94
	(Gg)						
Combustíveis Fósseis							
Total Fóssil	1,8	2,0	2,0	2,2	2,4	27,0	30
Gasolina	0,44	0,52	0,53	0,60	0,74	8,5	70
Querosene de Aviação	0,16	0,17	0,16	0,17	0,17	2,0	7
Querosene Iluminante	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	-36
Óleo Diesel	0,54	0,56	0,57	0,59	0,61	7,0	14
Óleo Combustível	0,19	0,17	0,19	0,20	0,21	2,4	11
GLP	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,3	11
Coque de Petróleo	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,3	38
Carvão Vapor	0,09	0,12	0,10	0,08	0,09	1,0	-3
Carvão Metalúrgico	-	-	-	0,01	0,02	0,2	-
Alcatrão	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,1	62
Coque de Carvão Mineral	0,30	0,36	0,37	0,39	0,40	4,6	31
Gás Natural	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1	35
Gás de Refinaria	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1	28
Outras Secundárias Petróleo	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,3	33
Gás Canalizado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	-46
Gás de Coqueria	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1	9
Outras Primárias Fósseis	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	-7
Biomassa							
Total Biomassa	6,1	6,1	6,0	5,9	6,3	73,0	4
Lenha	2,7	2,6	2,5	2,4	2,4	27,2	-12
Carvão Vegetal	0,94	0,82	0,75	0,81	0,82	9,4	-13
Bagaço	2,0	2,1	2,2	2,2	2,5	29,1	29
Resíduos Vegetais	0,10	0,10	0,12	0,12	0,10	1,2	4
Lixívia	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,4	65
Etanol	0,37	0,41	0,39	0,43	0,48	5,6	32
TOTAL	7,9	8,1	8,1	8,1	8,7	100	10

A Tabela 3.1.10 mostra que os combustíveis de biomassa são as principais fontes emissoras de N₂O (73% em 1994). No entanto, a taxa de crescimento das emissões das fontes de biomassa foi relativamente baixa (4% no período) se comparada ao aumento das emissões das fontes fósseis (30%). O principal combustível, em termos de emissões de N₂O em 1994, foi o bagaço (29%), seguido da lenha (27%), do carvão vegetal (9,4%), da gasolina (8,5%), do óleo diesel

(7,0%) e do coque de carvão mineral (4,6%). Dentre esses, são encontradas tendências opostas. Altas taxas de crescimento para uns: gasolina (70%), bagaço (29%), óleo diesel (14%) e coque de carvão mineral (31%); e altas taxas de redução para outros: lenha (-12%) e carvão vegetal (-13%).

Tabela 3.1.11 - Emissões de N₂O, por setor - 1990 a 1994

Setor	1990	1991	1992	1993	1994	Part. 1994	Variação 90/94
	(Gg)					(%)	
Setor Energético	1,4	1,5	1,5	1,4	1,5	17,5	12
Centrais Elétricas Serviço Público	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,6	17
Centrais Elétricas Autoprodutoras	0,13	0,14	0,15	0,16	0,15	1,7	13
Consumo Setor Energético	1,2	1,3	1,2	1,2	1,3	15,2	12
Residencial	1,4	1,4	1,4	1,2	1,2	13,7	-15
Comercial	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,3	-13
Público	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,1	209
Agropecuário	0,46	0,46	0,42	0,43	0,43	4,9	-8
Transportes	1,4	1,6	1,5	1,7	1,9	21,7	35
Aéreo	0,16	0,17	0,16	0,17	0,18	2,0	7
Rodoviário	1,2	1,3	1,3	1,5	1,7	19,3	40
Ferrovário	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1	-23
Marítimo	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,3	3
Industrial	3,2	3,2	3,2	3,3	3,6	41,7	12
Cimento	0,12	0,12	0,09	0,09	0,10	1,1	-22
Ferro-Gusa e Aço	1,0	0,99	0,95	1,0	1,1	12,3	3
Ferroligas	0,06	0,08	0,07	0,09	0,08	0,9	23
Mineração e Pelotização	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,3	9
Não-Ferrosos	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,8	-13
Química	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	1,1	0
Alimentos e Bebidas	1,1	1,1	1,3	1,3	1,5	17,2	35
Têxtil	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,3	-31
Papel e Celulose	0,23	0,22	0,25	0,25	0,27	3,1	17
Cerâmica	0,29	0,27	0,25	0,27	0,28	3,2	-3,2
Outros	0,14	0,14	0,12	0,12	0,13	1,5	-11
TOTAL	7,9	8,1	8,1	8,1	8,7	100	10

Em termos de emissões setoriais em 1994 (Tabela 3.1.11), o setor industrial foi o principal responsável pelas emissões de N₂O (42%), sendo os subsectores alimentos e bebidas (17%) e ferro-gusa e aço (12%) os mais importantes. Seguem-se os setores transportes (22%), energético (18%) e residencial (14%). Dos setores que mais contribuíram para as emissões, todos apresentam taxas de crescimento altas no período de 1990 a 1994, exceto o subsector ferro-gusa e aço com um pequeno crescimento (3%) e o setor residencial (-15%).

As emissões de N₂O não estão muito concentradas em apenas um uso, combustível ou setor. Cruzando as três variáveis - equipamento, combustível e setor - identifica-se que as emissões de N₂O de caldeiras usando bagaço no

consumo do setor energético (15%) e no subsector alimentos e bebidas (14%) e da queima de lenha em fornos do setor residencial (13%) são os principais emissores. Outras emissões importantes provêm do consumo do transporte rodoviário gasolina (8,5%), etanol (5,6%) e diesel (5,2%) e do consumo de carvão vegetal na indústria de ferro-gusa e aço (7,5%).

Monóxido de Carbono

Em 1994, foram emitidos 12.266 Gg CO por queima de combustíveis, apresentando uma redução de 12% no período de 1990 a 1994.

Tabela 3.1.12 - Emissões de CO₂, por combustível - 1990 a 1994

Combustível	1990	1991	1992	1993	1994	Part. 1994	Varição 90/94
	(Gg)					(%)	
Combustíveis Fósseis							
Total Fóssil	5.156	5.095	4.707	4.419	4.224	34,4	-18
Gasolina	4.316	4.217	3.810	3.493	3.274	26,7	-24
Querosene de Aviação	8,0	8,4	7,9	8,4	8,6	0,1	7
Querosene Iluminante	0,27	0,26	0,22	0,19	0,17	0,0	-35
Óleo Diesel	715	745	761	776	801	6,5	12
Óleo Combustível	50	46	49	57	54	0,4	9
GLP	2,8	2,9	3,1	3,2	3,4	0,0	20
Coque de Petróleo	1,2	1,3	1,2	1,3	1,6	0,0	42
Carvão Vapor	4,1	5,2	4,0	3,4	3,7	0,0	-9
Carvão Metalúrgico	-	-	-	0,58	0,88	0,0	-
Alcatrão	0,40	0,54	0,73	0,74	0,67	0,0	69
Coque de Carvão Mineral	46	55	55	59	60	0,5	31
Gás Natural	5,8	5,7	6,4	7,5	7,9	0,1	36
Gás de Refinaria	2,7	3,1	3,2	3,3	3,5	0,0	29
Outras Secundárias Petróleo	0,43	0,39	0,47	0,52	0,61	0,0	43
Gás Canalizado	0,26	0,25	0,21	0,19	0,10	0,0	-60
Gás de Coqueria	3,9	4,1	4,1	4,3	4,3	0,0	9
Outras Primárias Fósseis	0,19	0,22	0,22	0,22	0,18	0,0	-6
Biomassa							
Total Biomassa	8.723	8.573	8.309	7.943	8.042	65,6	-8
Lenha	5.384	5.209	5.055	4.681	4.612	37,6	-14
Carvão Vegetal	1.118	992	911	957	967	7,9	-13
Bagaçõ	842	903	953	931	1.085	8,8	29
Resíduos Vegetais	65	66	78	75	68	0,6	5
Lixívia	4,6	5,1	6,1	7,1	7,5	0,1	63
Etanol	1.311	1.398	1.306	1.292	1.302	10,6	-1
TOTAL	13.880	13.668	13.016	12.362	12.266	100	-12

A Tabela 3.1.12 mostra que os combustíveis de biomassa foram as principais fontes emissoras de CO₂ (66% em 1994). O principal combustível, em termos de emissões de CO₂, foi a lenha (38%). Seguem-se gasolina (27%) e etanol (11%). A redução das emissões da biomassa deve-se à redução do consumo de lenha, cujas emissões recuaram 14% no período de 1990 a 1994. A redução das emissões dos combustíveis fósseis deve-se principalmente à gasolina (-24%).

A redução no caso da gasolina, apesar do aumento do seu consumo no período, deve-se a mudanças tecnológicas na frota de veículos leves, acarretando uma redução progressiva dos fatores de emissão médios.

Tabela 3.1.13 - Emissões de CO₂, por setor - 1990 a 1994

Setor	1990	1991	1992	1993	1994	Part. 1994	Variação 90/94
	(Gg)					(%)	
Setor Energético	1.640	1.568	1.467	1.494	1.551	12,6	-5
Centrais Elétricas Serviço Público	7,4	7,6	10	8,5	9,1	0,1	23
Centrais Elétricas Autoprodutoras	52	55	58	61	57	0,5	10
Carvoarias	1.084	951	873	919	930	7,6	-14
Consumo Setor Energético	496	555	526	506	554	4,5	12
Residencial	3.567	3.545	3.537	3.103	3.013	24,6	-16
Comercial	18	18	20	19	19	0,2	6
Público	1,1	1,1	1,0	1,1	1,4	0,0	29
Agropecuário	521	507	462	450	443	3,6	-15
Transportes	6.368	6.383	5.898	5.593	5.406	44,1	-15
Aéreo	39	37	32	36	41	0,3	6
Rodoviário	6.262	6.281	5.797	5.483	5.301	43,2	-15
Ferrovário	22	22	23	23	17	0,1	-21
Marítimo	45	44	46	52	47	0,4	3
Industrial	1.764	1.645	1.632	1.702	1.832	14,9	3,8
Cimento	68	53	43	46	52	0,4	-23
Ferro-Gusa e Aço	781	676	635	693	716	5,8	-8
Ferroligas	61	82	70	85	74	0,6	21
Mineração e Pelotização	9,2	10	9,1	4,6	5,2	0,0	-44
Não-Ferrosos	48	39	40	25	27	0,2	-44
Química	26	25	22	23	24	0,2	-6
Alimentos e Bebidas	461	463	530	528	629	5,1	37
Têxtil	12	11	7,3	7,7	7,7	0,1	-33
Papel e Celulose	95	92	107	105	111	0,9	16
Cerâmica	146	138	125	136	138	1,1	-6
Outros	58	57	44	46	49	0,4	-16
TOTAL	13.880	13.668	13.016	12.362	12.266	100	-12

Em termos de emissões setoriais (Tabela 3.1.13), o setor transportes foi o principal responsável pelas emissões de CO₂ (44%), sendo o transporte rodoviário responsável por 43% das emissões. Segue-se o setor residencial com 25%.

Cruzando as informações sobre emissões setoriais e combustíveis, a gasolina consumida no transporte rodoviário foi a principal fonte de emissões de CO₂ (26%), seguida da lenha queimada nos fornos do setor residencial (23%) e do etanol utilizado no transporte rodoviário (11%).

Óxidos de Nitrogênio

Em 1994, foram emitidos 1.601 Gg NO_x por queima de combustíveis. A taxa de crescimento das emissões foi 11% no período de 1990 a 1994.

Tabela 3.1.14 - Emissões de NO_x, por combustível - 1990 a 1994

Combustível	1990	1991	1992	1993	1994	Part. 1994	Varição 90/94
	(Gg)					(%)	
Combustíveis Fósseis							
Total Fóssil	1.199	1.246	1.277	1.313	1.347	84,1	12
Gasolina	118	130	128	128	131	8,1	10
Querosene de Aviação	24	25	24	25	26	1,6	7
Querosene Iluminante	1,5	1,4	1,3	1,1	1,0	0,1	-32
Óleo Diesel	634	659	680	682	698	43,6	10
Óleo Combustível	171	157	169	188	188	11,7	10
GLP	16	17	19	20	22	1,4	37
Coque de Petróleo	7,9	8,7	8,2	8,8	11	0,7	35
Carvão Vapor	54	67	59	53	56	3,5	3
Carvão Metalúrgico	-	-	-	3,9	5,9	0,4	-
Alcatrão	2,8	3,7	5,0	5,1	4,6	0,3	65
Coque de Carvão Mineral	7,6	9,1	9,2	10	10	0,6	31
Gás Natural	74	73	80	90	92	5,8	25
Gás de Refinaria	27	31	32	33	35	2,2	30
Outras Secundárias Petróleo	6,1	5,6	6,7	7,3	8,7	0,5	42
Gás Canalizado	1,9	1,8	1,4	1,1	0,4	0,0	-78
Gás de Coqueria	51	53	53	55	56	3,5	10
Outras Primárias Fósseis	2,0	2,3	2,4	2,5	1,9	0,1	-6
Biomassa							
Total Biomassa	248	253	247	245	255	15,9	3
Lenha	77	75	72	68	67	4,2	-12
Carvão Vegetal	26	23	21	22	22	1,4	-13
Bagaçó	34	36	38	37	43	2,7	29
Resíduos Vegetais	2,0	2,0	2,4	2,3	2,1	0,1	5
Lixívia	11	12	15	17	18	1,1	66
Etanol	100	105	99	99	101	6,3	2
TOTAL	1.448	1.500	1.524	1.559	1.601	100	11

A Tabela 3.1.14 mostra que, diferentemente do CH₄ e do CO, as principais fontes emissoras de NO_x são os combustíveis fósseis (84% em 1994), apresentando taxas de crescimento razoavelmente altas (12%) no período de 1990 a 1994. O principal combustível em termos de emissões de NO_x é o óleo diesel (44%). Seguem-se o óleo combustível (12%), a

gasolina (8%), o etanol (6%) e o gás natural (6%). Apresentaram crescimento significativo no período: óleo diesel (10%), óleo combustível (10%), gasolina (10%), etanol (2%) e gás natural (25%).

Tabela 3.1.15 - Emissões de NO_x por setor - 1990 a 1994

Setor	1990	1991	1992	1993	1994	Part. 1994	Variação 90/94
	(Gg)					(%)	
Setor Energético	215	219	236	231	235	14,7	9
Centrais Elétricas Serviço Público	61	68	76	67	72	4,5	18
Centrais Elétricas Autoprodutoras	18	19	22	22	22	1,4	23
Carvoarias	2,7	2,4	2,2	2,3	2,3	0,1	-14
Consumo Setor Energético	133	130	136	139	139	8,7	4
Residencial	54	54	54	49	48	3,0	-11
Comercial	4,0	3,8	3,8	3,7	3,9	0,2	-3
Público	1,0	0,9	0,9	1,7	4,0	0,2	316
Agropecuário	8,5	8,3	7,8	7,7	7,9	0,5	-7
Transportes	869	908	912	938	956	59,7	10
Aéreo	25	26	24	26	26	1,6	7
Rodoviário	750	790	792	807	838	52,3	12
Ferrovário	26	26	27	28	21	1,3	-21
Marítimo	68	66	68	78	70	4,4	3
Industrial	297	306	310	328	347	21,7	17
Cimento	38	41	34	33	33	2,1	-14
Ferro-Gusa e Aço	92	93	94	102	110	6,9	21
Ferroligas	2,6	2,8	2,8	3,7	3,4	0,2	31
Mineração e Pelotização	10	10	11	11	12	0,8	21
Não-Ferrosos	16	17	17	19	19	1,2	19
Química	36	37	39	39	41	2,6	16
Alimentos e Bebidas	33	33	36	36	40	2,5	22
Têxtil	4,2	4,0	3,7	3,9	3,3	0,2	-21
Papel e Celulose	20	21	24	26	27	1,7	36
Cerâmica	19	19	23	25	27	1,7	40
Outros	27	27	26	29	31	1,9	15
TOTAL	1.448	1.500	1.524	1.559	1.601	100	11

Em termos de emissões setoriais em 1994 (Tabela 3.1.15), o setor transportes foi o principal responsável pelas emissões de NO_x (60%), com 52% referente ao transporte rodoviário. Seguem-se os setores industrial (22%) e energético (15%). Os setores que mais contribuíram para as emissões apresentaram altas taxas de crescimento no período de 1990 a 1994: transportes (10%), industrial (17%) e energético (9%).

Cruzando as três variáveis - equipamento, combustível e setor - identifica-se que as emissões estão muito

concentradas no uso motor no transporte rodoviário: óleo diesel (38%), gasolina (8%) e etanol (6%).

Compostos Orgânicos Voláteis Não Metânicos

Em 1994, foram emitidos 1.596 Gg NMVOC por queima de combustíveis. As emissões decresceram 16% entre 1990 e 1994.

Tabela 3.1.16 - Emissões de NMVOC, por combustível - 1990 a 1994

Combustível	1990	1991	1992	1993	1994	Part. 1994	Variação 90/94
	(Gg)						
Combustíveis Fósseis							
Total Fóssil	967	946	867	807	760	48	-21
Gasolina	807	779	697	631	579	36,3	-28
Querosene de Aviação	4,0	4,2	4,0	4,2	4,3	0,3	7
Querosene Iluminante	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,0	-36
Óleo Diesel	141	147	150	153	159	9,9	12
Óleo Combustível	8,4	7,8	8,3	9,7	9,0	0,6	8
GLP	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	0,1	11
Coque de Petróleo	0,08	0,08	0,08	0,08	0,11	0,0	39
Carvão Vapor	1,0	1,3	1,0	0,88	0,95	0,1	-8
Carvão Metalúrgico	-	-	-	0,15	0,22	0,0	-
Alcatrão	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,0	53
Coque de Carvão Mineral	3,5	4,1	4,2	4,4	4,5	0,3	31
Gás Natural	0,45	0,45	0,50	0,57	0,58	0,0	29
Gás de Refinaria	0,31	0,35	0,36	0,37	0,40	0,0	28
Outras Secundárias Petróleo	0,14	0,13	0,16	0,17	0,20	0,0	45
Gás Canalizado	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,0	-47
Gás de Coqueria	0,27	0,28	0,29	0,30	0,29	0,0	9
Outras Primárias Fósseis	0,04	0,05	0,05	0,06	0,04	0,0	-7
Biomassa							
Total Biomassa	924	896	847	832	836	52	-10
Lenha	598	555	526	513	511	32	-14
Carvão Vegetal	26	23	21	22	22	1,4	-13
Bagaço	25	26	28	27	32	2,0	29
Resíduos Vegetais	1,2	1,3	1,5	1,5	1,3	0,1	4
Lixívia	0,28	0,31	0,37	0,42	0,46	0,0	66
Etanol	275	290	270	267	269	17	-2
TOTAL	1.892	1.841	1.714	1.639	1.596	100	-16

A Tabela 3.1.16 mostra que as emissões são bem distribuídas entre os combustíveis fósseis (48%) e as fontes da biomassa (52%). As emissões de ambas fontes diminuiram no período de 1990 a 1994: fontes fósseis (-21%) e fontes da biomassa (-10%).

Em 1994, o principal combustível em termos de emissões de NMVOC foi a gasolina (36%). Seguiram-se a lenha (32%) e o etanol (17%). A acentuada redução das emissões, no período, teve como razão principal a redução das emissões da gasolina no setor de transporte rodoviário, devido à melhoria tecnológica da frota circulante.



Tabela 3.1.17 - Emissões de NMVOC, por setor - 1990 a 1994

Setor	1990	1991	1992	1993	1994	Part. 1994	Varição 90/94
	(Gg)					(%)	
Setor Energético	342	304	280	294	298	18,7	-13
Centrais Elétricas Serviço Público	0,35	0,40	0,45	0,39	0,43	0,0	22
Centrais Elétricas Autoprodutoras	1,7	1,8	2,0	2,1	2,0	0,1	13
Carvoarias	325	285	262	276	279	17,5	-14
Consumo Setor Energético	15	17	16	15	17	1,1	12
Residencial	206	205	206	180	175	11,0	-15
Comercial	3,3	3,1	3,0	2,9	2,7	0,2	-19
Público	0,10	0,10	0,07	0,10	0,17	0,0	71
Agropecuário	56	54	50	49	48	3,0	-14
Transportes	1232	1225	1127	1063	1017	63,7	-17
Aéreo	4,6	4,8	4,5	4,7	4,9	0,3	7
Rodoviário	1214	1207	1109	1043	999	62,6	-18
Ferrovário	4,4	4,4	4,5	4,6	3,4	0,2	-21
Marítimo	9,1	8,7	9,1	10	9,4	0,6	3
Industrial	51	49	49	51	55	3,4	7
Cimento	2,2	2,0	1,5	1,5	1,7	0,1	-25
Ferro-Gusa e Aço	22	20	19	21	21	1,3	-3
Ferroligas	1,5	2,1	1,8	2,2	1,9	0,1	22
Mineração e Pelotização	0,3	0,36	0,36	0,24	0,28	0,0	-18
Não-Ferrosos	1,4	1,1	1,1	0,86	0,89	0,1	-34
Química	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	0,1	-1
Alimentos e Bebidas	14	14	16	16	19	1,2	35
Têxtil	0,45	0,43	0,32	0,33	0,32	0,0	-29
Papel e Celulose	2,8	2,7	3,1	3,1	3,3	0,2	17
Cerâmica	3,6	3,5	3,2	3,4	3,5	0,2	-3
Outros	1,8	1,8	1,5	1,6	1,6	0,1	-11
TOTAL	1.892	1.841	1.714	1.639	1.596	100	-16

Em termos de emissões setoriais em 1994 (Tabela 3.1.17), o setor transportes foi o principal responsável pelas emissões de NMVOC (64%), com predominância do transporte rodoviário (63%). Seguiram-se os setores energético (19%), com predominância das carvoarias (17%), e residencial (11%). Os três setores que mais contribuíram para as emissões apresentaram reduções no período de 1990 a 1994.

Cruzando as três variáveis - equipamento, combustível e setor - identifica-se que os veículos a gasolina (36%), a lenha consumida nas carvoarias (17%), os veículos rodoviários a etanol (17%), os fornos a lenha do setor residencial (11%) e os veículos rodoviários a óleo diesel (10%) foram os principais emissores de NMVOC.

3.1.3 Emissões fugitivas

3.1.3.1 Emissões fugitivas da mineração de carvão

Nesta seção são apresentadas as estimativas das emissões de gases de efeito estufa da indústria de carvão mineral para o período de 1990 a 1994.

As estimativas compreendem as emissões fugitivas de CH₄ das minas a céu aberto e subterrâneas, bem como as emissões de CO₂ dos depósitos de carvão mineral e pilhas de rejeitos.

O carvão mineral é formado a partir do soterramento e da decomposição de matéria vegetal. Gradualmente, esses materiais, ao sofrerem soterramento e compactação em bacias de deposição, apresentam enriquecimento no teor de carbono. Fatores externos, tais como pressão, temperatura, tectônica e tempo de exposição, determinam as características do carvão, dentre elas, o grau de carbonificação desses combustíveis.

É inerente ao processo de formação de carvão a geração de CH₄, que é liberado para a atmosfera no processo de mineração. A quantidade de CH₄ liberada durante a mineração é função inicialmente da classificação do carvão, da profundidade em que se encontra, do seu conteúdo de gás e do método de mineração. Emissões de CO₂ também podem ocorrer em consequência da queima de carvão em depósitos e pilhas de dejetos.

O carvão brasileiro tem características muito diferentes da maior parte dos tipos de carvão de outros países. O carvão nacional tem baixo poder calorífico e alto teor de cinzas. Sendo assim o consumo do carvão só se justifica próximo à área de produção. A produção de carvão no país se concentra nos três estados do sul: Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Dois tipos de carvão mineral são produzidos no Brasil: o carvão energético, também chamado de carvão vapor, de aplicação industrial na geração de vapor e energia; e o carvão metalúrgico, de aplicação industrial para a redução nas indústrias siderúrgicas. A maior parte do carvão metalúrgico é importada.

A produção total de carvão em 1994, segundo o Sindicato Nacional da Indústria de Extração de Carvão Mineral - SNIIEC, foi de 9,7 milhões de toneladas, com 59% extraídos de minas subterrâneas e 41% de minas a céu aberto, conforme a Tabela 3.1.18.

Tabela 3.1.18 - Produção de carvão run-of-mine - 1990 a 1994

Tipo de Mina	1990	1991	1992	1993	1994	Part. 1994	Variação 90/94
	(10 ³ t)					(%)	(%)
Subterrânea	6.341	7.142	5.923	6.112	5.671	59	-10,6
A Céu Aberto	3.912	3.479	3.502	3.470	4.021	41	2,8
TOTAL	10.253	10.621	9.425	9.583	9.692	100	-5,5

Fonte: DNPM, 1995.

Emissões de Metano

Neste Inventário, foi adotada a abordagem Tier 2 do IPCC *Basin Specific Method*, que se baseia nas informações obtidas a partir dos valores de produção e dos fatores de emissão estimados por especialistas, por mina.

As emissões totais de CH₄ em 1990 foram estimadas em 59 Gg, diminuindo para 53 Gg em 1994, conforme a Tabela 3.1.19. Desse total, as minas subterrâneas contribuíram com 89%, as minas a céu aberto com 2% e as emissões pós-mineração com 9%. A redução das emissões (10%) no período de 1990 a 1994 deveu-se principalmente à redução na atividade de mineração subterrânea (-11%). Em 1991 foi registrado o máximo de emissões no período.

Tabela 3.1.19 - Emissões de CH₄ das minas de carvão - 1990 a 1994

Tipo de Mina	1990	1991	1992	1993	1994	Part. 1994	Variação 90/94
	(Gg)					(%)	
Mineração							
Subterrâneas	52,8	60,4	49,7	50,9	47,3	88,9	-10,4
A Céu Aberto	0,98	0,83	0,87	0,87	1,0	1,9	2,0
Total	53,8	61,2	50,5	51,8	48,3	90,8	-10,2
Pós-Mineração							
Subterrâneas	5,44	6,29	5,13	5,23	4,85	9,1	-10,8
A Céu Aberto	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,1	-
Total	5,51	6,35	5,20	5,29	4,92	9,2	-10,7
EMISSIONES TOTAIS	59,3	67,6	55,7	57,1	53,2	100,0	-10,3

Emissões de dióxido de carbono

O carbono presente no carvão mineral pode ser convertido em emissões de CO₂ a partir da combustão espontânea na armazenagem e nos rejeitos. Considera-se neste Inventário que todo o carvão *run-of-mine* - ROM extraído foi processado, produzindo carvão lavado e rejeitos. Para a avaliação das emissões de CO₂ decorrentes da combustão espontânea em pilhas de rejeito, estimou-se a quantidade do rejeito deste por meio dos registros nas empresas, dos balanços de massa e do teor médio de carbono no carvão mineral ROM e nos produtos beneficiados. Nessa avaliação, considerou-se o carvão ROM como um produto que não permanece como tal na mina após a extração, sendo imediatamente beneficiado ou vendido. Considerou-se, também, que todo o carbono presente no carvão ROM foi transferido tanto para os produtos beneficiados quanto para os rejeitos, sendo as perdas do processo contabilizadas nos rejeitos. Para o cálculo das emissões de CO₂, utilizou-se uma fração de oxidação de 50% para os rejeitos.

As emissões de CO₂ dos depósitos de carvão e pilhas de rejeitos foram estimadas em 1.653 Gg em 1990, reduzindo-se para 1.355 Gg em 1994.



Tabela 3.1.20 - Emissões de CO₂ das minas de carvão - 1990 a 1994

CO ₂	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(Gg)					(%)
Total	1.653	1.690	1.338	1.350	1.355	-18

3.1.3.2 Emissões fugitivas do petróleo e do gás natural

Nesta categoria estão incluídas as emissões da produção, processamento, transporte e uso do petróleo e do gás natural e da combustão não relacionada à produção. Exclui o uso de óleo, gás natural e seus derivados que provêm energia para uso interno, para processos de produção de energia e para transporte, considerados queima de combustíveis e contabilizados no item 3.1.2. Inclui, no entanto, emissões resultantes da combustão de gás natural durante as operações de *flaring*.

A Tabela 3.1.21 mostra as emissões estimadas usando os fatores de emissão do IPCC. As emissões de CH₄ incluem aquelas liberadas durante a produção de petróleo e gás natural (*venting*), transporte, refino e estocagem. As emissões de CO₂ são aquelas relacionadas às atividades de *flaring*.

Tabela 3.1.21 - Emissões fugitivas de petróleo e gás natural - 1990 a 1994

Emissões Fugitivas	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(Gg)					(%)
CO₂						
Total CO₂	3728	3647	3223	3593	3741	0,3
CH₄						
Transporte	2,87	2,76	2,91	3,05	2,82	- 1,7
Refinarias / Estocagem	1,98	1,92	1,98	1,99	2,13	7,6
Venting and Flaring	42,61	43,98	46,65	48,92	49,51	16,2
Petróleo	6,53	6,46	6,52	6,67	6,92	6,0
Gás Natural	2,71	3,04	2,98	3,28	4,31	59,0
Gás e Óleo combinados	33,37	34,48	37,15	38,97	38,28	14,7
Total CH₄	47,46	48,66	51,54	53,96	54,46	14,7



Processos Industriais





3.2 Processos Industriais

O setor industrial é responsável por uma parte das emissões de CO₂ por queima de combustíveis fósseis. Além dessas emissões, que são incluídas no item 3.1.2, referente ao setor Energia, algumas indústrias geram gases de efeito estufa como subproduto dos seus processos produtivos.

Os principais processos industriais que produzem emissões de CO₂ no Brasil são a produção de cimento, a produção de cal, a produção de alumínio e a produção de amônia. Emissões de N₂O ocorrem principalmente no processo de produção de ácido adípico. Durante a produção de alumínio podem ocorrer emissões de PFC (CF₄ e C₂F₆). Emissões de HFC ocorrem durante a sua utilização no setor de refrigeração e durante a produção de HCFC-22. Durante a produção de alumínio também ocorrem emissões de CO. O principal processo gerador de NO_x é a produção de papel e celulose. O subsetor de alimentos e bebidas é responsável pela grande maioria das emissões de NMVOC pelos processos industriais.

3.2.1 Produtos Minerais

3.2.1.1 Produção de Cimento

Em 1994, o Brasil ocupava a 11ª posição na produção de cimento no mundo, com 1,9% da produção mundial. O cimento é produzido em diversas Unidades da Federação, sendo o estado de Minas Gerais o maior produtor (24%). O estado de São Paulo ocupava o segundo lugar (20%), seguido dos estados do Paraná (9%) e do Rio de Janeiro (8%).

O cimento Portland é, basicamente, uma mistura de clínquer com gesso. O clínquer é obtido a partir da calcinação de calcário, processo onde ocorrem as emissões de CO₂. Em 1994, a produção de cimento foi de 25 milhões de toneladas e a de clínquer, 18 milhões de toneladas. A Tabela 3.2.1 apresenta os dados para o período de 1990 a 1994.

Tabela 3.2.1 - Produção de cimento - 1990 a 1994

Produto	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(10 ⁶ t)					(%)
Clínquer	20,16	21,46	17,75	18,41	18,41	- 8,7
Cimento	25,85	27,49	23,90	24,84	25,23	- 2,4

Fonte: Sindicato Nacional das Indústrias de Cimento - SNIC.

Cerca de 90% do cimento brasileiro apresenta-se misturado a outros compostos, resultando em um conteúdo de clínquer no cimento (73%) bem mais baixo que a média mundial. O valor *default* do IPCC para o conteúdo de clínquer no cimento é de 98%.

Por esse motivo as emissões de CO₂ na indústria do cimento foram estimadas a partir da produção de clínquer e não a partir da produção de cimento. Utilizou-se o valor *default* do IPCC de 0,5071 t CO₂/ t clínquer, obtendo-se um total de 9,3 Tg CO₂ em 1994, como se observa na Tabela 3.2.2.

Tabela 3.2.2 - Emissões da produção de cimento - 1990 a 1994

Gás	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(Gg)					(%)
CO ₂	10.224	10.881	9.000	9.334	9.337	-8,7

3.2.1.2 Produção de cal

O processo de produção de cal consiste na decomposição térmica (calcinação) do carbonato de cálcio contido no calcário (CaCO₃) e dolomita (CaCO₃·MgCO₃), com produção de cal calcítica (CaO) e cal dolomítica (CaO·MgO) e liberação de CO₂.

Em 1994, o Brasil era o sétimo maior produtor mundial de cal. A Tabela 3.2.3 apresenta a produção de cal virgem e cal hidratada (Ca(OH)₂ ou Ca(OH)₂·Mg(OH)₂), para o período de 1990 a 1994.

Tabela 3.2.3 - Produção de cal

Produto	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(10 ⁶ t)					(%)
Cal Virgem	3,47	3,45	3,77	4,05	3,90	12
Cal Hidratada	1,43	1,55	1,47	1,58	1,52	7
TOTAL	4,90	5,00	5,24	5,63	5,42	11

Fontes: DNPM, 1995 e 1997;
Associação Brasileira de Produtores de Cal -

As emissões de CO₂ resultantes do processo de produção de cal foram estimadas em 3,7 Tg em 1990 e 4,2 Tg em 1994, com um crescimento de 11% no período, conforme a Tabela 3.2.4.

Tabela 3.2.4 - Emissões da produção de cal - 1990 a 1994

Gás	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(Gg)					(%)
CO ₂	3.743	3.807	4.009	4.312	4.152	10,9

3.2.1.3 Produção e consumo de barrilha

A barrilha (carbonato neutro de sódio, Na₂CO₃) é usada como insumo em um grande número de indústrias, incluindo a manufatura de vidro, sabão e detergente, produção de papel e de polpa de celulose e tratamento de água. O CO₂ é emitido a partir do uso da barrilha e pode ser emitido também durante sua produção, dependendo do processo industrial usado para fabricá-la.

Quatro diferentes processos podem ser usados comercialmente para produzir barrilha. Três deles são referidos como processos naturais e usam trona como insumo básico. O quarto, o processo Solvay, é classificado como processo sintético. Os processos naturais são os únicos que produzem emissões de CO₂ durante a fabricação

de barrilha. Toda a produção brasileira é feita usando o processo sintético e, portanto, nenhuma emissão líquida ocorre.

Também é emitido CO₂ quando a barrilha é consumida na indústria. Os dados sobre produção, importação e exportação de barrilha no Brasil são mostrados na Tabela 3.2.5. O consumo de barrilha foi 439 mil toneladas em 1990, chegando a 451 mil toneladas em 1994.

Tabela 3.2.5 - Dados sobre o consumo de barrilha - 1990 a 1994

	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(10 ³ t)					(%)
Produção	195,89	207,61	220,60	231,39	219,47	12
Importação	242,79	253,61	179,78	218,95	231,83	- 5
Exportação	0,00	0,00	0,00	0,01	0,26	-
Consumo Líquido	438,68	461,22	400,38	450,33	451,04	3

Fonte: ABIQUIM, 1997.

As estimativas das emissões de CO₂ foram feitas utilizando o fator de emissão *default* do IPCC. Em 1990, totalizaram 182 Gg, aumentando para 187 Gg em 1994, conforme a Tabela 3.2.6.

Tabela 3.2.6 - Emissões pelo consumo de barrilha - 1990 a 1994

Gás	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(Gg)					(%)
CO ₂	182,1	191,4	162,3	186,9	187,2	2,8

3.2.2 Indústria química

3.2.2.1 Produção de amônia

A produção de amônia (NH₃) está baseada na reforma a vapor catalítico do gás natural. Como resultado do processo de manufatura, há produção de CO₂, que depende da quantidade e composição do gás natural usado no processo. Pode-se, porém, estimar essas emissões baseando-se na produção total de amônia.

Depois de uma queda significativa de 12% em 1991, a produção de amônia retomou o índice de 1990 em 1993, chegando a 1,2 milhões de toneladas em 1994, conforme a Tabela 3.2.7.

Tabela 3.2.7 - Produção de amônia - 1990 a 1994

Produto	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(10 ³ t)					(%)
Amônia	1.153	1.012	1.038	1.153	1.157	0,4

Fonte: ABIQUIM, 1995 e 1997.

Na avaliação das emissões foi utilizado um fator específico do país, de 1,125 t CO₂ / t amônia, de acordo com as tecnologias utilizadas, conforme informação da Associação Brasileira da Indústria Química - ABIQUIM. As emissões de 1994 foram estimadas em 1,3 Tg CO₂, conforme a Tabela 3.2.8.

Tabela 3.2.8 - Emissões da produção de amônia - 1990 a 1994

Gás	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(Gg)					(%)
CO ₂	1.297	1.139	1.168	1.298	1.301	0,4

3.2.2.2 Produção de Ácido Nítrico

O ácido nítrico é usado como matéria prima principalmente na manufatura de fertilizantes de base nitrogenada. Pode também ser usado na produção de ácido adípico e de explosivos, para a gravação em metais e no processamento de metais ferrosos.

A produção de ácido nítrico gera N₂O como subproduto da oxidação catalítica de alta temperatura da amônia. Além disso, pode haver emissões de NO_x não derivadas de combustão.

A produção de ácido nítrico totalizou 554 mil toneladas em 1994, com um aumento de 43% em relação a 1990, conforme a Tabela 3.2.9.

Tabela 3.2.9 - Produção de ácido nítrico - 1990 a 1994

Produto	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(10 ³ t)					(%)
Ácido nítrico	386,89	404,82	398,61	416,79	554,26	43

Fonte: ABIQUIM, 1995 e 1997.

Para estimar as emissões de N₂O e NO_x foram utilizados fatores de emissão específicos do país, de 1 kg N₂O e 1,75 kg NO_x, por tonelada de ácido nítrico produzido, respectivamente, de acordo com as tecnologias utilizadas. Esses valores foram informados pela ABIQUIM. As emissões foram estimadas em 0,55 Gg N₂O e 0,97 Gg NO_x, em 1994, conforme a Tabela 3.2.10.

Tabela 3.2.10 - Emissões da produção de ácido nítrico - 1990 a 1994

Gás	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(Gg)					(%)
N ₂ O	0,39	0,40	0,40	0,42	0,55	43
NO _x	0,68	0,71	0,70	0,73	0,97	43



3.2.2.3 Produção de Ácido Adípico

O ácido adípico é utilizado na manufatura de um grande número de produtos, como fibras sintéticas, capas, plásticos, espumas de uretana, elastômeros e lubrificantes sintéticos. Num dos estágios da sua produção há uma oxidação operada pelo ácido nítrico, gerando N₂O como subproduto. A produção de ácido adípico também resulta em emissões de CO e NO_x.

Em 1994, a produção de ácido adípico foi de 52 mil toneladas, tendo crescido 62% em relação a 1990, conforme a Tabela 3.2.11.

Tabela 3.2.11 - Produção de ácido adípico - 1990 a 1994

Produto	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(10 ³ t)					(%)
Ácido adípico	31,95	41,68	38,54	51,26	51,82	62

Fonte: ABIQUIM, 1995 e 1997.

Para estimar as emissões de N₂O, CO e NO_x foram utilizados-se fatores de emissão específicos do país, de 250 kg N₂O, 16 kg CO e 5 kg NO_x, por tonelada de ácido nítrico produzido,

respectivamente, de acordo com as tecnologias utilizadas. Esses valores foram informados pela ABIQUIM. As emissões foram estimadas em 13 Gg N₂O, 0,83 Gg CO e 0,26 Gg NO_x em 1994, conforme a Tabela 3.2.12.

Tabela 3.2.12 - Emissões da produção de ácido adípico - 1990 a 1994

Gás	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(Gg)					(%)
N ₂ O	7,99	10,42	9,64	12,82	12,96	62
CO	0,51	0,67	0,62	0,82	0,83	62
NO _x	0,16	0,21	0,19	0,26	0,26	62

3.2.2.4 Produção de outros Produtos Químicos

A fabricação de outros produtos químicos pode resultar em emissões de gases de efeito estufa, principalmente de NMVOC. Tais emissões dependem diretamente dos processos industriais e das condições operativas.

A Tabela 3.2.13 mostra a produção anual de outros produtos químicos no período de 1990 a 1994.

Tabela 3.2.13 - Produção de outros produtos químicos - 1990 a 1994

Produto	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(t)					(%)
ABS	27.000	26.300	28.300	32.000	32.100	19
Acrilonitrila	78.000	63.470	74.159	74.258	76.522	-2
Anidrido ftálico	65.645	77.364	77.210	76.037	91.390	39
Borracha de butadieno estireno (SBR)	184.692	188.639	196.400	191.623	209.409	13
Caprolactama	42.059	47.193	41.699	50.824	50.838	21
Cloreto de vinila monômero (MVC)	480.415	331.897	333.782	381.824	409.757	-15
Dicloroetano	538.183	369.538	420.540	495.139	499.934	-7
Estireno	306.217	279.963	253.605	223.413	261.613	-15
Eteno	1.499.714	1.448.812	1.505.573	1.709.460	1.895.754	26
Etilbenzeno	441.007	314.440	286.812	237.793	345.514	-22
Formaldeído	177.391	194.594	206.421	244.942	261.775	48
Negro de fumo	178.395	182.567	186.422	197.248	204.301	15
Policloreto de vinila (PVC)	504.330	500.264	488.940	510.794	593.413	18
Poliestireno	134.332	154.718	136.572	163.356	153.641	14
Polietileno PEAD	322.219	339.233	311.100	429.565	478.549	49
Polietileno PEBD	626.028	585.374	570.475	609.139	609.248	-3
Polietileno PELBD	-	-	-	103.610	133.433	-
Polipropileno	303.841	356.319	374.992	478.288	521.540	72
Propeno	793.544	779.224	826.543	974.982	1.086.330	37

Fonte: ABIQUIM, 1995 e 1997.

Os fatores de emissão utilizados para os demais produtos químicos foram os *default* do IPCC, com algumas exceções anotadas na Tabela 3.2.14. As emissões brasileiras correspondentes são apresentadas na Tabela 3.2.15.

Tabela 3.2.14 - Fatores de emissão dos outros produtos químicos - 1990 a 1994

Produto	CH ₄	N ₂ O	NO _x	NMVOC
	(kg/t)			
ABS				27,2
Acrilonitrila				1
Anidrido ftálico*				1,3
Borracha de butadieno estireno (SBR)**				5,8
Caprolactama**		0,35		
Cloreto de vinila monômero (MVC)**				8,5
Dicloroetano				2,2
Estireno	4			18
Eteno	1			1,4
Etilbenzeno				2
Formaldeído				5
Negro de fumo**			0,14	
Policloreto de vinila (PVC)*				1,5
Poliestireno*				3,3
Polietileno PEAD				6,4
Polietileno PEBD				3
Polietileno PELBD				2
Polipropileno				12
Propeno				1,4

* Fonte: CORINAIR, 1996.

** Fonte: GRUMAN *et al*, 2002.

Tabela 3.2.15 - Emissões totais da produção de outros produtos químicos - 1990 a 1994

Gás	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(Gg)					(%)
CH ₄	2,73	2,57	2,52	2,60	2,94	8
N ₂ O	0,015	0,017	0,015	0,018	0,018	20
NO _x	0,025	0,026	0,026	0,028	0,029	16
NMVOC	26,5	24,8	24,7	27,8	30,6	15

3.2.3 Indústria Metalúrgica

3.2.3.1 Produção de Ferro e Aço

O Brasil ocupou, em 1994, a oitava posição no *ranking* mundial, com uma produção de 25,7 milhões de toneladas, o que representou aproximadamente 4% da produção mundial de aço, conforme a Tabela 3.2.16.

Tabela 3.2.16 - Produção de aço bruto

	1970	1980	1990	1994	Variação 90/94
	(10 ⁶ t)				(%)
Mundo	595,4	715,6	770,5	725,2	-6
América Latina	13,2	28,9	38,2	46,0	20
Brasil	5,4	15,3	20,6	25,7	25
Participação brasileira no mundo	1%	2%	3%	4%	
Participação brasileira na América Latina	41%	53%	54%	56%	
Posição relativa do Brasil no mundo	18°	10°	9°	8°	

Fontes: *International Iron & Steel Institute - IISI*; *Instituto Latinoamericano del Hierro y el Acero - ILAFA*; *Instituto Brasileiro de Siderurgia - IBS*.

Na América Latina, o Brasil é o maior produtor de aço (56% em 1994).

O parque brasileiro conta com 11 usinas integradas e 15 semi-integradas, administradas por 15 empresas, sendo que cerca de 80% da produção brasileira de aço bruto provém das usinas integradas.

A siderurgia usa principalmente o coque de carvão mineral e carvão vegetal para geração de energia e como agente redutor do minério de ferro (este último no caso de usinas integradas, onde cerca de 70% da produção de ferro-gusa utiliza coque como agente redutor e o restante, carvão vegetal). Posteriormente, uma fração do carbono é incorporada aos produtos e a maior parte é emitida para a atmosfera na forma de CO₂.

Para a estimativa das emissões de CO₂, é importante fazer distinção entre o combustível utilizado para gerar energia e o combustível utilizado no processo químico.

Segundo o *International Iron and Steel Institute - IISI*, o processo de produção de ferro-gusa (coqueria, sinterização/pelotização e alto-forno) consome entre 60 e 70% do total da energia consumida em usinas integradas, sendo devido, principalmente, ao uso do coque como agente redutor na transformação do minério de ferro em ferro gusa.

Além do coque de carvão mineral e do carvão vegetal, outros combustíveis, como o óleo diesel, o óleo combustível, o GLP e o gás natural podem também ser utilizados no processo siderúrgico tanto para combustão quanto para redução do minério de ferro.

As usinas semi-integradas não têm a etapa de redução e, em consequência, consomem carbono basicamente com fins energéticos.

Neste Inventário, foram utilizadas as informações de consumo de combustíveis provenientes do Balanço Energético Nacional (MME, 1998), não tendo sido possível separar as emissões por combustão das emissões por redução do minério. Por esse motivo a emissão total foi estimada no setor Energia (item 3.1).

3.2.3.2 Produção de Ferroligas

Ferroligas é um termo usado para descrever ligas concentradas de ferro e um ou mais metais, tais como silício, manganês, cromo, molibdênio, vanádio e tungstênio. Tais ligas são usadas para desoxidar e alterar as propriedades físicas do aço. As fábricas de ferroligas produzem compostos



concentrados que são despachados para as aciarias para serem incorporados às diversas ligas de aço. A produção de ferroligas envolve o processo de redução metalúrgica, que resulta em emissões de CO₂.

Na produção de ferroligas, o minério é derretido junto com coque e escória sob alta temperatura. Durante a fusão das ferroligas, a reação de redução ocorre em alta temperatura. O carbono captura o oxigênio dos óxidos metálicos para formar CO₂, enquanto que os minerais são reduzidos a metais básicos derretidos. Conseqüentemente, os metais presentes combinam-se na solução.

A metodologia mais adequada é estimar as emissões a partir das quantidades de agente redutor usadas. As emissões também podem ser estimadas a partir do volume de produção. O IPCC sugere valores *default*, supondo a utilização somente de carbono fóssil.

Os dados de produção nacional por tipo de liga estão dispostos na Tabela 3.2.17.

Tabela 3.2.17 - Produção de ferroligas

Tipo de Liga	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(10 ³ t)					(%)
Ferro-silício (50% Si)	5,47	5,49	4,62	5,34	3,06	-44
Ferro-silício (75% Si)	223,94	185,38	239,22	233,53	195,45	-13
Silício metálico	131,61	106,00	93,73	90,38	90,02	-32
Ferroligas à base de manganês	170,50	169,10	178,94	201,52	199,67	17
Silício-manganês	216,78	272,05	300,00	284,15	248,16	14
Ferro-cromo	83,75	82,22	91,10	83,89	77,16	-8
Ferro-cromo-silício	4,97	4,52	6,76	4,13	7,74	56
Outras	102,25	110,52	104,18	117,23	115,11	13
TOTAL	939,28	935,28	1.018,55	1.020,16	936,35	- 0,3

Fonte: ABRAFE, 1996.

No Brasil, a produção de ferroligas utiliza carvão vegetal predominantemente, conforme a Tabela 3.2.18.

Tabela 3.2.18 - Produção brasileira de ferroligas a carvão vegetal - 1990 a 1994

	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(10 ³ t)					(%)
Produção Total	939,28	935,28	1.018,55	1.020,16	936,35	-0,3
Produção a Carvão Vegetal	911,10	907,22	998,18	999,76	908,26	-0,3
Participação da Produção a Carvão Vegetal	97%	97%	98%	98%	97%	

Fontes: ABRAFE, 1996; ABRACAVE, 1996.

A partir dessas informações, é possível estimar a parcela da produção de ferroligas que utiliza carvão mineral e coque e que, portanto, emite o CO₂, que deve ser contabilizado. Neste Inventário, no entanto, dada a impossibilidade de se separar as emissões por combustão das emissões por redução do minério, todas foram estimadas conjuntamente no setor Energia (item 3.1).

3.2.3.3 Produção de alumínio

O Brasil possui a terceira maior reserva de bauxita do mundo. Esse fator, aliado ao grande potencial hidráulico, às condições geográficas favoráveis e à tradição industrial brasileira na área de metalurgia, coloca o Brasil na sexta posição entre os maiores produtores mundiais de alumínio primário. Em 1994, foram produzidas 1,2 milhão de toneladas de alumínio primário, representando 6% do total mundial. A Tabela 3.2.19 apresenta os dados de produção, importação e exportação de alumínio no Brasil.

Tabela 3.2.19 - Produção, importação e exportação de alumínio - 1990 a 1994

Produção, importação e exportação de alumínio	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94	
	(10 ³ t)					(%)	
Produção primária de alumínio (por processo)	Soderberg	378,9	407,4	409,3	385,5	384,7	2
	Prebaked Anode	551,7	732,2	784,0	786,5	799,9	45
	Total	930,6	1.139,6	1.193,3	1.172,0	1.184,7	27
Importações (metais primários, ligas e manufaturados)	16,1	19,6	19,7	32,6	55,0	242	
Exportações (metais primários, ligas e manufaturados)	639,4	829,5	872,6	873,0	876,1	37	

Fonte: Associação Brasileira do Alumínio - ABAL.

O alumínio primário é produzido por meio de um processo de redução eletrolítica. A reação ocorre num recipiente de carbono que age como cátodo e que contém a solução eletrolítica. O ânodo de carbono é parcialmente submerso na solução e consumido ao longo do processo.

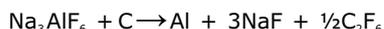
A eletrólise do óxido de alumínio produz alumínio fundido, que se deposita no cátodo, e oxigênio, que se deposita no ânodo e reage com o carbono produzindo emissões de CO₂. Alguma quantidade de CO₂ é também produzida quando o ânodo reage com outras fontes de oxigênio (como o ar). O processo de produção de alumínio primário pode utilizar dois tipos principais de tecnologia, Soderberg e Prebaked Anode. A distinção entre essas tecnologias está relacionada ao tipo de ânodo utilizado.

A metodologia indicada pelo IPCC para estimar as emissões de CO₂ resultantes do processo de produção de alumínio consiste em multiplicar a quantidade produzida de alumínio por um fator de emissão, dependendo da tecnologia utilizada: 1,8 t CO₂/ t Al, para o processo Soderberg, e 1,5 t CO₂/ t Al, para o processo Prebaked Anode.

Na indústria do alumínio, as principais emissões são de gases PFC, que são produzidos, eventualmente, quando não se consegue controlar adequadamente a relação entre as substâncias na

cuba eletrolítica, durante a produção primária do alumínio. Essas ocorrências são indesejáveis também do ponto de vista da indústria, pois acarretam uma baixa na produtividade.

Na produção primária do alumínio, a alumina (Al₂O₃) é dissolvida num fluoreto fundido, que consiste principalmente de criolita (Na₃AlF₆). Quando uma célula eletrolítica de alumínio está operando normalmente, as mensurações demonstram que não há produção de PFC. Contudo, se o óxido de alumínio contido na solução dilui-se muito, abaixo de 1,5%, ocorre um rápido aumento de voltagem (efeito anódico) e a solução passa a reagir com o carbono, produzindo gases PFC, de acordo com as seguintes reações:



Portanto, a emissão de PFC durante os efeitos anódicos depende da frequência e duração desses efeitos.

Como as emissões de CF₄ e C₂F₆ variam dependendo do tipo de tecnologia utilizada, os fatores de emissão devem ser escolhidos de acordo com a tecnologia e aplicados à produção nacional de alumínio primário.

As emissões de CF₄ e C₂F₆ foram reportadas pelas próprias indústrias, tendo sido estimadas utilizando-se a metodologia de Tabereaux ou o método de espectrometria infravermelha com transformada de Fourier. Os fatores de emissão foram estimados pelas indústrias apenas a partir do ano de 1994 e são mostrados na Tabela 3.2.20. As emissões para os anos no período 1990 a 1993 foram estimadas utilizando os fatores de 1994.

Tabela 3.2.20 - Fatores de emissão de PFC para o Brasil, em 1994

Tecnologia	CF ₄	C ₂ F ₆
	(kg/t alumínio produzido)	
Soderberg	0,46	0,046
Prebaked Anode	0,21	0,021

Fonte: Associação Brasileira do Alumínio - ABAL.

Na produção de alumínio também ocorrem emissões de CO e NO_x que podem ser estimadas a partir de fatores de emissão sugeridos pelo IPCC.

As emissões referentes ao cozimento do ânodo estão presentes apenas no processo Prebaked Anode, onde os ânodos são preparados previamente.

As emissões de CO₂ da produção de alumínio foram estimadas em 1,9 Tg em 1994. As emissões de PFC foram estimadas em 0,34 Gg CF₄ e 0,034 Gg C₂F₆. A Tabela 3.2.21 apresenta as estimativas de emissão para o período de 1990 a 1994.

Tabela 3.2.21 - Emissões totais da produção de alumínio - 1990 a 1994

Gás	1990	1991	1992	1993	1994	Varição 90/94
	(Gg)					(%)
CO ₂	1.510	1.832	1.913	1.874	1.892	25
CF ₄	0,290	0,341	0,352	0,342	0,345	19
C ₂ F ₆	0,029	0,034	0,035	0,034	0,034	19
NO _x	2,00	2,45	2,57	2,52	2,55	28
CO	346	447	475	473	480	39

3.2.4 Indústria de Papel e Celulose

O setor de Papel e Celulose é composto por 220 empresas que operam 255 unidades industriais localizadas em 16 estados brasileiros.

Essa indústria conta com 1,4 milhão de hectares de florestamentos próprios, principalmente os gêneros *Eucalyptus* (62%) e *Pinus* (35%) A produção de celulose é feita, exclusivamente, a partir de madeira oriunda de florestas plantadas.

A preparação da pasta celulósica para papéis e outras finalidades consiste na separação das fibras dos demais componentes da madeira, principalmente a lignina, que confere rigidez à madeira.

Alguns tipos de madeira, tais como pinho e araucária, possuem fibras longas (3 a 5 mm), enquanto que as de eucalipto possuem fibras mais curtas e finas (0,8 a 1,2 mm). As do primeiro grupo são denominadas coníferas ou *softwood* (madeira macia), enquanto as do segundo grupo são conhecidas por folhosas ou *hardwood* (madeira dura).

Os processos de preparação da pasta celulósica são muitos e variam desde os puramente mecânicos até os químicos, nos quais a madeira é tratada com produtos químicos, pressão e calor (temperaturas maiores que 150°C) para dissolver a lignina. O uso de produtos químicos no processo é que gera emissões de gases de efeito estufa.

A produção de papel e pasta de celulose possui três fases principais: a polpação, o branqueamento e a produção de papel. O tipo de polpação e a quantidade de branqueamento usados dependem da natureza da matéria-prima e a qualidade desejada do produto final. A polpação do tipo Kraft é o processo mais largamente utilizado.

No Brasil, o processo mais utilizado é uma variação do Kraft, o Sulfato, que utiliza os mesmos produtos químicos, empregando-se, porém, maiores dosagens de sulfeto de sódio e soda cáustica, além do cozimento ser feito por mais tempo e a temperaturas mais elevadas. É considerado como o mais adequado para a obtenção de pastas químicas provenientes de eucalipto. Durante o processo ocorrem emissões de CO, NO_x e NMVOC.

A Tabela 3.2.22 apresenta a produção brasileira de pastas de celulose para cada ano do período de 1990 a 1994, por tipo de processo produtivo.



Tabela 3.2.22 - Produção brasileira de pastas de celulose por tipo de processo produtivo

Tipo de celulose / processo químico	1990	1991	1992	1993	1994
	(t)				
Celulose Química	3.843.747	4.275.509	4.795.270	4.958.204	5.342.744
Sulfato	3.593.547	4.018.086	4.512.600	4.723.283	5.127.981
Soda	218.989	225.286	252.447	210.287	188.304
Sulfito	22.386	22.153	21.956	16.448	19.331
Cal	8.825	9.984	8.267	8.186	7.128
Celulose Semiquímica	70.941	71.011	75.297	51.984	33.527
Sulfito Neutro	10.281	12.759	10.498	10.196	3.522
Soda	45.083	40.856	48.377	28.898	27.225
Cal	15.577	17.396	16.422	12.890	2.780
Pastas de Alto Rendimento	436.455	431.596	431.777	460.742	452.599
Mecânica	338.161	331.146	312.714	316.185	307.663
Quimimecânica	6.748	5.526	7.676	8.772	6.415
Termomecânica	88.564	93.465	80.560	82.452	89.722
Quimitermomecânica	2.982	1.459	30.827	53.333	48.799
TOTAL	4.351.143	4.778.116	5.302.344	5.470.930	5.828.870

Fonte: Associação Brasileira de Celulose e Papel - BRACELPA.

Tabela 3.2.24 - Produção brasileira de alimentos - 1990 a 1994

Neste Inventário, os fatores de emissão sugeridos pelo IPCC para o processo Kraft foram utilizados para o processo Sulfato, responsável por 88% da produção em 1994, não estando disponível informação sobre ocorrência de emissões para os outros processos. As emissões de gases de efeito estufa do setor são apresentadas na Tabela 3.2.23.

Produto	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(10 ³ t)					(%)
Carnes, peixes e aves	7.010	7.635	7.981	8.511	8.821	26
Açúcar	9.342	9.607	10.647	10.164	10.372	11
Margarinas e gorduras sólidas para cozinha	356	336	314	304	366	3
Bolos, biscoitos e cereais matinais	580	676	600	665	742	28
Pães	3.548	3.612	3.587	3.587	3.712	5
Rações animais	8.258	8.613	8.639	8.998	9.832	19
Café torrado	394	408	427	437	446	13

Fonte: Associação Brasileira das Indústrias de Alimentação - ABIA.

Tabela 3.2.23 - Emissões relativas à produção de celulose no Brasil - 1990 a 1994

Gás	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(Gg)					(%)
CO	20,12	22,50	25,27	26,45	28,72	43
NO _x	5,39	6,03	6,77	7,08	7,69	43
NMVOC	13,30	14,87	16,70	17,48	18,97	43

3.2.5 Alimentos e bebidas

No processamento industrial de alimentos e na produção de bebidas pode ocorrer a emissão de NMVOC. O IPCC apresenta fatores de emissão para alguns subsetores. Na ausência de informação adicional, tais fatores foram adotados neste Inventário. A Tabela 3.2.24 apresenta a produção brasileira para essas indústrias, para o período de 1990 a 1994. Os processos de extração de óleos vegetais são tratados no setor Uso de Solventes e Outros Produtos (item 3.3).

Na produção de bebidas alcoólicas, ocorrem emissões de NMVOC durante a fermentação de cereais e frutas. Para a estimativa dessas emissões foram também utilizados os fatores de emissão *default* do IPCC. A Tabela 3.2.25 apresenta a produção brasileira de bebidas, para o período de 1990 a 1994.

Tabela 3.2.25 - Produção brasileira de bebidas - 1990 a 1994

Produto	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(10 ⁶ l)					(%)
Vinho	309	293	277	261	245	-21
Cerveja	5.499	5.786	4.966	5.145	6.088	11
Destilados (cachaca)	1.125	1.080	1.035	1.080	1.035	-8

Fontes: Associação Brasileira das Indústrias de Alimentação - ABIA;
 União Brasileira de Vitivinicultura - UVIBRA;
 Associação Brasileira de Bebidas - ABRABE.

As emissões do setor alimentos e bebidas estão apresentadas, para o período de 1990 a 1994, na Tabela 3.2.26.

Tabela 3.2.26 - Emissões de NMVOC da produção de alimentos e bebidas - 1990 a 1994

Setor	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(Gg)					(%)
Indústria de Alimentos	136,52	140,13	150,17	145,83	150,54	10
Indústria de Bebidas	170,92	164,26	157,21	164,01	157,58	-8
TOTAL	307,44	304,39	307,38	309,84	308,12	0

3.2.6 Emissões Relacionadas à Produção de Hidrofluorcarbonos

No Brasil no período de 1990 a 1994, não há produção de HFC, ocorrendo somente a emissão do gás HFC-23, gerado como subproduto da produção de HCFC-22. As emissões foram estimadas utilizando-se os fatores de emissão *default* pelo IPCC, conforme a Tabela 3.2.27.

Tabela 3.2.27 - Emissões de HFC-23 devido à produção de HCFC-22 - 1990 a 1994

Produto/sub produto	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(Gg)					(%)
Produção de HCFC-22	3,01	3,44	4,09	4,31	3,92	30
Emissões de HFC-23	0,120	0,138	0,164	0,172	0,157	30

3.2.7 Emissões Relacionadas ao Consumo de Hidrofluorcarbonos

Em refrigeração e condicionamento de ar, os gases HFC são utilizados como as principais alternativas para os CFC, como fluidos refrigerantes. Esse foi praticamente o único setor em que houve utilização de HFCs no período de 1990 a 1994.

Outro setor passível de utilizar hidrofluorcarbonos é a indústria de fabricação de espumas plásticas, onde são também usados em substituição aos gases CFC como agentes de expansão tanto para espumas rígidas (isolamento) quanto para espumas flexíveis (estruturais). No caso brasileiro nesse período, este setor não registrou utilização significativa de HFC, não tendo havido, conseqüentemente, emissões. Da mesma forma, HFC poderiam ser utilizados como substitutos de CFC em extintores de incêndio específicos, que, no entanto, não eram encontrados no Brasil.

A metodologia do IPCC para estimar as emissões de fluidos refrigerantes requer informações, tais como inventário de equipamentos por tipo e quantidade de gás utilizado e estimativa de perda por equipamento, que, por ora, não estão disponíveis no Brasil. Como o uso de HFC no país era

pequeno no período, optou-se pelo uso da metodologia simplificada (*Tier 1*), que permite uma estimativa do potencial das emissões, segundo a fórmula:

$$\text{Potencial de Emissões} = \text{Produção} + \text{Importação} - \text{Exportação} - \text{Destruição}$$

Para o setor refrigeração e ar condicionado, apenas a partir de 1994 é que começou a utilização significativa de HFC no Brasil, quando ocorreu a importação de 125 t de HFC-134a. Não há registro de produção, exportação ou destruição do gás no período de 1990 a 1994.

A Tabela 3.2.28 apresenta as estimativas de emissões de HFC devidas à sua utilização.

Tabela 3.2.28 - Emissões relativas à utilização de HFC - 1990 a 1994

Gás	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(t)					(%)
HFC-134a	-	-	-	-	125	-

3.2.8 Emissões Relacionadas ao Consumo de Hexafluoreto de Enxofre

O SF₆, em face de suas excelentes propriedades como isolante inerte, não tóxico, de alta rigidez dielétrica, refrigerante não inflamável, termicamente estável e com poder de auto-regeneração, permitiu o desenvolvimento de equipamentos elétricos de alta capacidade e desempenho, além de mais compactos, leves e seguros. Destacam-se, dentre os equipamentos elétricos que foram desenvolvidos em função do SF₆, os disjuntores e as subestações blindadas, que utilizam cerca de 10% do espaço físico das subestações convencionais equivalentes.

No Brasil, não há produção de SF₆, mas ocorrem emissões devido a vazamentos de gás em subestações blindadas isoladas a SF₆. Pesquisa realizada no período de 1991 a 1993 concluiu que, para uma quantidade total de 207.553 kg instalados, foram lançados na atmosfera cerca de 1.800 kg/ano devido a vazamentos nessas subestações. Não estando disponíveis outras informações, esse valor foi considerado como estimativa anual de emissão para o período de 1990 a 1994.

A Tabela 3.2.29 apresenta as estimativas de emissões de SF₆, devidas à sua utilização.

Tabela 3.2.29 - Emissões da utilização de SF₆ - 1990 a 1994

Gás	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(t)					(%)
SF ₆	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	-



Uso de Solventes e outros Produtos





3.3 Uso de Solventes e Outros Produtos

Neste item são apresentadas as séries de emissões de NMVOC provenientes do uso de solventes no Brasil, para o período de 1990 a 1994. Em alguns setores, as emissões podem eventualmente incluir o CH₄, sendo então representadas como compostos orgânicos voláteis - VOC.

Seguindo a abordagem da metodologia CORINAIR (1996), são enfocadas as seguintes atividades: aplicação em tintas, desengraxe de metais, limpeza a seco, processamento de espumas de poliestireno e de poliuretano, indústria de impressão, extração de óleos vegetais comestíveis, uso doméstico, aeração de asfalto e preservação de madeira.

Cabe de antemão, destacar dois obstáculos na geração de estimativas: a precariedade dos dados estatísticos, particularmente, nos níveis de desagregação de informação requeridos e a inexistência de fatores de emissões apropriados para os gases NMVOC e as atividades abrangidas nesse setor.

Assim sendo, ao se abordar uma atividade específica que possa ter alguma relevância para o caso brasileiro, mesmo com a ausência de informações estatísticas, considera-se neste inventário, como primeira aproximação, os fatores de emissão *per capita* observados em um conjunto de países, aplicados à população economicamente ativa do Brasil.

Os dados relativos às vendas internas e importações de produtos químicos foram extraídos do Anuário da ABIQUIM (ABIQUIM, 1995 e 1997). A Tabela 3.3.1 consolida as emissões de NMVOC e VOC nas diversas atividades, para o período de 1990 a 1994.

Tabela 3.3.1 - Evolução das emissões de NMVOC e VOC, por atividade - 1990 a 1994

Classe de gás	Atividade	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
		(Gg)					(%)
NMVOC	Aplicação de tintas	253,34	271,98	296,39	355,51	396,12	56
	Desengraxe de metais	12,70	15,22	13,75	11,61	15,76	24
	Limpeza a seco	0,61	0,73	0,66	0,55	0,75	24
	Processamento de espumas	0,56	0,60	0,69	0,65	0,88	55
	Indústria de impressão	39,76	42,07	44,31	46,62	47,67	20
VOC	Extração de óleos vegetais comestíveis	13,67	11,56	13,06	14,85	16,59	21
	Uso doméstico	36,35	38,46	40,51	42,62	43,58	20
NMVOC + VOC	EMISSIONES TOTAIS	356,99	380,62	409,37	472,41	521,35	46

3.3.1 Aplicação em Tintas

Esta atividade é desagregada em quatro subatividades: produção de autoveículos; construção e edifícios; uso doméstico; e outras aplicações industriais.

3.3.1.1 Produção de Autoveículos

A indústria brasileira de autoveículos é de grande porte e intensivamente consumidora de tintas.

A atividade compreende tanto o revestimento quanto a proteção contra corrosão. As estatísticas de produção brasileira de autoveículos utilizadas para estimar as emissões são apresentadas na Tabela 3.3.2.

Tabela 3.3.2 - Produção brasileira de autoveículos - 1990 a 1994

Categoria	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(1.000 veículos)					(%)
AUTOMÓVEIS	663,1	705,3	815,9	1.100,3	1.248,8	88
Passageiros	267,5	292,9	338,3	391,6	366,8	37
Uso Misto	395,6	412,4	477,6	708,7	882,0	123
COMERCIAIS LEVES	184,8	182,7	201,6	224,4	251,0	36
Camionetas/Uso Misto	17,3	12,0	16,1	25,5	39,0	125
Utilitários	1,8	1,7	0,4	0,3	0,2	-89
Camionetas de Carga	165,7	169,0	185,1	198,6	211,8	28
COMERCIAIS PESADOS	66,6	72,3	56,3	66,8	81,5	22
Caminhões	51,6	49,3	32,0	47,9	64,1	24
Ônibus	15,0	23,0	24,3	18,9	17,4	16

Fonte: ANFAVEA, 1997.

A Tabela 3.3.3 apresenta os fatores de emissão em pintura de autoveículos utilizados neste Inventário.

Tabela 3.3.3 - Fatores de emissão correlacionados com a área pintada

Tipo de autoveículo	Superfície pintada	Fator de emissão de NMVOC
	(m ²)	(g/ m ²)
Carro pequeno	65	203
Carro grande	117	277
Caminhão	171,5	120
Van	120	120
Ônibus	271,5	500

Fonte: CORINAIR, 1996.

Para compatibilizar a Tabela 3.3.2 com a Tabela 3.3.3, automóveis de passageiros foram equiparados a carros pequenos; automóveis de uso misto a carros grandes; e todos os comerciais leves a vans. Na Tabela 3.3.5 são apresentadas as emissões de NMVOC para essa subatividade.

3.3.1.2 Construção e edifícios

Refere-se ao uso de tintas em aplicações arquitetônicas por empresas de construção e pintores profissionais. Para estimar as emissões de NMVOC, utilizou-se o fator de emissão médio *per capita* de 1,2 kg/pessoa/ano, associado à evolução da população economicamente ativa - PEA no Brasil, no período de 1990 a 1994. Na Tabela 3.3.5 são apresentadas as emissões de NMVOC para essa subatividade.

3.3.1.3 Uso Doméstico

Essa subatividade considera o uso de tintas em aplicações domésticas.

De modo análogo à subatividade anterior, usou-se um fator médio de emissão de 0,73 kg/pessoa/ano, em associação com a evolução da PEA. Na Tabela 3.3.5 apresenta as emissões de NMVOC para essa subatividade.

3.3.1.4 Outras Aplicações Industriais

Esta subatividade compreende a utilização de tintas na construção de navios, na manufatura de artigos metálicos, em produtos de madeira e na produção de artigos de plástico.

Para estimar as emissões dessa subatividade utilizou-se a razão entre a participação dessa subatividade, nas emissões totais de NMVOC, e subatividade produção de autoveículos, em 28 países. Essa razão é apresentada na Tabela 3.3.4.

Tabela 3.3.4 - Razão entre as médias de participação nas emissões de NMVOC totais de "Outras Aplicações Industriais" e de "Produção de Autoveículos" em 28 países

Subatividade	Contribuição nas emissões totais de NMVOC
A - Produção de autoveículos	0,6 %
B - Outras aplicações industriais	3,3 %
Razão (B / A)	5,5

A Tabela 3.3.5 apresenta as emissões totais de NMVOC na utilização de solventes em tintas, para o período de 1990 a 1994.

Tabela 3.3.5 - Emissões de NMVOC - aplicação em tintas - 1990 a 1994

População / Emissões por subatividade	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94 (%)	
PEA (10⁶ hab)	56,8	60,1	63,3	66,6	68,1	20	
Emissões (Gg)	Produção de autoveículos	22,11	24,00	26,80	34,92	40,72	84
	Construções e edifícios	68,16	72,12	75,96	79,92	81,72	20
	Uso doméstico	41,46	43,87	46,21	48,62	49,71	20
	Outras aplicações industriais	121,61	131,99	147,42	192,05	223,96	84
	EMISSIONES TOTAIS	253,34	271,98	296,39	355,51	396,11	56

3.3.2 Desengraxe de Metais

Essa atividade consiste no processo de remoção de sujeira provocada por agentes como graxa, gorduras, óleos, ceras, depósitos de carbono, em metais, plásticos, fibra de vidro, circuitos impressos e outras superfícies, empregando-se, principalmente, solventes clorados.

Tetracloroetileno (também chamado de percloroetileno - PER); cloreto de metileno; tricloroetileno; 1,1,1-tricloroetano e triclorotrifluoreto, são indicados como sendo os solventes clorados mais utilizados nessa atividade. No período de 1990 a 1994 foram identificadas apenas importações de PER.

Identificaram-se dois dos produtos acima como tendo produção local (ABIQUIM, 1995 e 1997):

- 1,1,1-tricloroetano, produzido até 1991, teve a sua produção descontinuada em função do Protocolo de Montreal. Não foi possível obter a destinação do produto no mercado interno.
- percloroetileno, regularmente produzido no país, tendo na aplicação Desengraxe de Metais 93% das vendas.

Face ao exposto, a estimativa das emissões de NMVOC para essa atividade foi baseada no consumo brasileiro de percloroetileno, que é apresentado na Tabela 3.3.6. Considerando que desengraxe de metais representa 93% das vendas de PER (ABIQUIM, 1997) e adotando o fator de emissão *default* de 1,0 kg NMVOC/1,0 kg de solvente usado (CORINAIR, 1996), obteve-se as emissões apresentadas na Tabela 3.3.1.

Tabela 3.3.6 - Consumo de percloroetileno no Brasil - 1990 a 1994

	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(10 ³ t)					(%)
Vendas internas	13,66	15,35	14,30	11,26	11,63	-15
Importações	-	1,02	0,49	1,22	5,32	-
CONSUMO TOTAL	13,66	16,37	14,79	12,48	16,95	24

Fonte: ABIQUIM, 1995 e 1997.

3.3.3 Limpeza a Seco

Essa atividade refere-se ao processo para a limpeza de diversos materiais como peles, couros, produtos têxteis e fibras, a partir da utilização de solventes clorados. O principal solvente empregado na limpeza a seco é o percloroetileno. Para estimar a utilização deste solvente no Brasil será considerado o mesmo percentual de *market share* verificado na Europa, onde PER representa 90% do consumo total de solventes para limpeza a seco (CORINAIR, 1996), em função de haver produção local deste insumo no país. Considerou-se ainda que 4% do consumo de PER destinaram-se às lavanderias (ABIQUIM, 1997) e assumiu-se o fator de emissão de 100% do solvente usado. A Tabela 3.3.7 o consumo de solventes na limpeza a seco no período de 1990 a 1994, resultando nas emissões de NMVOC apresentadas na Tabela 3.3.1.



Tabela 3.3.7 - Consumo de solventes - limpeza a seco - 1990 a 1994

	1990	1991	1992	1993	1994	Varição 90/94
	(10 ³ t)					(%)
Consumo total de PER	13,66	16,37	14,79	12,48	16,95	24
Consumo de PER em lavanderias (4%)	0,55	0,65	0,59	0,50	0,68	24
Consumo total de solventes em lavanderias	0,61	0,73	0,66	0,55	0,75	24

Fonte: ABIQUIM, 1995 e 1997.

3.3.4 Processamento de Espumas de Poliéstireno

A produção de espumas ocorre pela ação de um agente de expansão. No caso das espumas de poliéstereno - EPS, utilizadas, principalmente, nos setores de isolamento e embalagens, o agente é o pentano. Já para as espumas flexíveis, utiliza-se água como agente de expansão.

De acordo com CORINAIR (1996), o agente de expansão é incorporado às espumas na proporção de 6%, antes da expansão. Assim, para estimar as emissões de NMVOC nessa atividade, utilizou-se a produção de espumas EPS apresentada na Tabela 3.3.8. As emissões de NMVOC são apresentadas na Tabela 3.3.1.

Tabela 3.3.8 - Produção de EPS - 1990 a 1994

Produto	1990	1991	1992	1993	1994	Varição 90/94
	(10 ³ t)					(%)
EPS	9,39	10,01	11,43	10,86	14,59	55

Fonte: ABIQUIM, 1995 e 1997.

3.3.5 Indústria de Impressão

A metodologia proposta para estimar as emissões de NMVOC nessa atividade requer o conhecimento das séries históricas do consumo de tintas verificados nos setores de imprensa, publicação/edição, embalagens e outros. A exemplo do que foi feito em outros setores, foi utilizada a média dos fatores de emissão *per capita* observados em outros países, associando-a à PEA.

Foi utilizado um fator de emissão médio de 0,7 kg/pessoa/ano. As emissões de NMVOC dessa atividade são apresentadas na Tabela 3.3.1.

3.3.6 Extração de óleos vegetais comestíveis

Essa atividade envolve a extração, por meio de solventes, de óleos comestíveis oriundos de sementes/grãos oleaginosos. Embora em outros países os solventes possam, eventualmente, ser utilizados na secagem dos resíduos provenientes do esmagamento dos grãos/sementes, esse processo não é utilizado no Brasil.

De acordo com a metodologia (CORINAIR, 1996), o fator de emissão de VOC situa-se em um amplo intervalo, de 0,85 a

19 kg VOC/t de semente/grão esmagado. É razoável supor que esses fatores dependem de variáveis como tecnologia,

eficiência no controle das emissões e tipo de semente/grão processado. Como o Brasil tem uma indústria moderna de processamento de soja, exportadora e de tecnologia de ponta, optou-se pelo limite inferior do intervalo (0,85 kg VOC/t de semente/grão esmagado).

A Tabela 3.3.9 mostra, para o período de 1990 a 1994, os dados sobre a

indústria de óleos comestíveis contidos em semente/grãos oleaginosos. As emissões de VOC correspondentes são apresentadas na Tabela 3.3.1.

Tabela 3.3.9 - Dados da indústria de óleos vegetais comestíveis - 1990 a 1994

Produto	1990	1991	1992	1993	1994	Varição 90/94
	(10 ³ t)					(%)
Produção de soja	20.444	15.757	19.456	22.780	24.813	21
Soja esmagada	15.435	13.057	14.756	16.771	18.736	21
Total de grãos / sementes esmagados ¹	16.078	13.601	15.371	17.470	19.517	21

Fonte: Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais - ABIOVE.

¹ Considerando a soja como uma fração equivalente a 96% do total de sementes/grãos esmagados;

3.3.7 Uso Doméstico

Essa atividade abrange as seguintes categorias de produtos: cosméticos e de toalete (aerossóis de todos os tipos, perfumes, loções para após a barba, desodorantes, removedores de esmalte), produtos para o lar (aerossóis de todos os tipos, limpadores, desinfetantes, ceras e polidores), construção (adesivos para carpetes e ladrilhos, solventes, removedores de tinta, adesivos para construção) e automóveis (aerossóis de todos os tipos, fluidos para freios, ceras e polidores).

A metodologia para estimar as emissões resultantes dessa atividade sugere o fator médio anual de emissão de 2.566 g VOC/pessoa. Tal fator resulta da média dos fatores de emissão de países selecionados. A utilização direta deste fator médio (oriundo de economias altamente desenvolvidas) acarreta uma superestimação das emissões, ainda que seja utilizada apenas a PEA. Especialistas brasileiros, levando em conta o PIB *per capita*, sugeriram o valor anual de 640 g VOC/pessoa. Os valores estimados de VOC são apresentados na Tabela 3.3.1.

Agropecuária





3.4 Agropecuária

A agricultura e a pecuária são atividades econômicas de grande importância no Brasil. Devido à sua grande extensão de terras agricultáveis e disponíveis para pastagem, o país ocupa também um lugar de destaque no mundo quanto à produção desse setor. Segundo dados da FAO, o Brasil ocupava, em 1994, o primeiro lugar na produção de cana-de-açúcar, com 27% do total mundial e o segundo lugar na produção de soja, com 18% do total mundial. Possuía, ainda, o segundo maior rebanho bovino do mundo, com 12% do total mundial de cabeças de gado.

Nesse setor, as emissões de gases de efeito estufa ocorrem por diversos processos. A fermentação entérica nos ruminantes é uma das fontes de emissão de metano mais importantes no país (71%). Também na pecuária, os sistemas de manejo de dejetos de animais são responsáveis por emissão de CH_4 e N_2O .

O cultivo de arroz inundado, que é também uma das principais fontes de emissão de CH_4 no mundo, não é fonte tão expressiva no Brasil, em virtude de uma grande parcela de arroz ser produzida em áreas não inundadas.

A queima imperfeita de resíduos agrícolas produz emissões de CH_4 , N_2O , NO_x , CO e NMVOC. No Brasil essa prática ocorre nas culturas de cana-de-açúcar e algodão.

A emissão de N_2O em solos agrícolas ocorre principalmente pela deposição de dejetos de animais em pastagem e também pelas práticas de fertilização do solo. Estas últimas incluem o uso de fertilizantes sintéticos e produtos do manejo de dejetos de animais. O processo de fixação biológica de nitrogênio, que ocorre na cultura da soja, e a utilização de solos orgânicos para cultivo, também geram emissões de N_2O .

Finalmente, emissões resultam da combustão imperfeita que ocorre durante a queima prescrita do cerrado nativo (não antropizado).

3.4.1 Pecuária

Em 1994, o total de cabeças de gado atingiu 158 milhões, valor 7% superior ao de 1990. Desse total, o gado de corte representou 87% e o gado de leite, 13%. O país possui também quantidades significativas de suínos, ovinos e aves, conforme a Tabela 3.4.1.

Tabela 3.4.1 - População dos rebanhos - 1990 a 1994

Tipo de animal	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94 (%)
	(milhões de animais)					
Gado de leite	19,2	20,0	20,5	20,1	20,1	5
Gado de corte	128,3	132,2	133,8	135,3	138,2	8
Asininos	1,3	1,4	1,4	1,3	1,3	- 2
Bubalinos	1,4	1,4	1,4	1,5	1,6	12
Caprinos	11,9	12,2	12,2	10,6	10,9	- 9
Equinos	6,2	6,2	6,3	6,3	6,4	4
Muare	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	- 2
Ovinos	20,0	20,1	20,0	18,0	18,5	- 8
Suínos	33,7	34,3	34,5	34,3	35,1	4
Aves	549,2	597,0	642,1	657,3	683,5	24

Fonte: IBGE, 1990, 1991, 1992a, 1993, 1994.

Na atividade de criação de animais, existem vários processos em que ocorrem emissões de gases de efeito estufa. A produção de CH_4 é parte do processo de digestão dos ruminantes herbívoros (fermentação entérica); o manejo de dejetos de animais gera emissões tanto de CH_4 quanto de N_2O ; a utilização de esterco animal como fertilizante e a deposição no solo dos dejetos de animais em pastagem também produzem N_2O .

As estimativas das emissões por fermentação entérica e manejo de dejetos são apresentadas a seguir. As emissões de N_2O devidas à adição de esterco ao solo, intencionais ou por animais em pastagem, são tratadas em conjunto com os outros tipos de fertilizantes no item 3.4.4.

3.4.1.1 Fermentação Entérica

A produção de CH_4 é parte do processo digestivo normal dos animais ruminantes, ocorrendo em quantidades bem menores em outros animais herbívoros. A intensidade de emissão depende do tipo de animal, do tipo e quantidade do alimento, do seu grau de digestibilidade e da intensidade de atividade física do animal, em função das diversas práticas de criação.

A avaliação das emissões implica em conhecer bem esses parâmetros, que são fundamentais para estimar os fatores de emissão. No Brasil, devido à grande extensão territorial e à grande dispersão da atividade, com diversidade de práticas e de tipos de alimentação fornecida aos animais, há uma grande variação desses parâmetros. Infelizmente, as pesquisas nessa área, no Brasil, ainda são limitadas. Mesmo assim, buscou-se obter, por meio da contribuição de especialistas brasileiros, os fatores de emissão para o gado bovino que melhor representassem as características de criação no Brasil e as suas diferenças regionais. Os valores obtidos mostraram-se consistentemente superiores aos valores *default* do IPCC (1997), conforme a Tabela 3.4.2.

Tabela 3.4.2 - Fatores de emissão de CH₄ por fermentação entérica - 1990 a 1994

Tipo de animal	Subpopulação	Região	Fator de emissão utilizado	Fator de emissão IPCC
			kg/cabeça/ano	
Gado de leite		Norte	59	57
		Nordeste	61	
		Centro-Oeste	61	
		Sudeste	65	
		Sul	62	
Gado de corte	Fêmeas adultas	Norte	65	58
		Nordeste	73	
		Centro-Oeste	67	
		Sudeste	67	
		Sul	65	
	Machos adultos	Norte	62	57
		Nordeste	73	
		Centro-Oeste	64	
		Sudeste	64	
		Sul	66	
	Jovens	Norte	47	42
		Nordeste	56	
		Centro-Oeste	48	
		Sudeste	48	
		Sul	50	

Fonte: Empresa Brasileira de Agropecuária - EMBRAPA.

Para os outros animais, utilizaram-se os fatores de emissão *default* do IPCC, por não se dispor de melhor informação, aumentando o grau de incerteza das estimativas.

Estimou-se em 9,4 Tg a emissão de metano devida à fermentação entérica no ano de 1994, com um crescimento

de 6% em relação à de 1990. O gado bovino de corte foi responsável por 82% desse total, contribuindo com 7,7 Tg.

Tabela 3.4.3 - Emissão de CH₄ por fermentação entérica - 1990 a 1994

Tipo de animal	1990	1991	1992	1993	1994	Part. 1994	Variação 90/94
	(Gg)						
Gado de leite	1.200	1.249	1.281	1.259	1.257	13,4	5
Gado de corte	7.191	7.403	7.491	7.549	7.705	82,2	7
Bubalinos	77	79	78	82	86	0,9	12
Ovinos	100	101	100	90	92	1,0	-8
Caprinos	60	61	61	53	54	0,6	-10
Eqüinos	111	112	114	114	115	1,2	4
Muares e asininos	34	34	34	33	33	0,4	-3
Suínos	34	34	35	34	35	0,4	3
TOTAL	8.807	9.073	9.193	9.215	9.377	100,0	6



3.4.1.2 Manejo de Dejetos de Animais

Tabela 3.4.5 - Fatores de emissão de CH₄ por manejo de dejetos de animais

Quando o material orgânico dos dejetos de animais é decomposto sob condições anaeróbias, bactérias metanogênicas podem produzir quantidades consideráveis de CH₄. Essas condições são favorecidas quando os dejetos são estocados na forma líquida (em lagoas, charcos e tanques).

No Brasil, devido às características de pecuária extensiva, as lagoas de tratamento anaeróbio constituem apenas uma pequena fração dos sistemas de manejo. Mesmo para o gado confinado, observa-se um número limitado de instalações de tratamento de dejetos. Os dejetos produzidos por grandes rebanhos de gado acabam sendo dispostos no campo como material sólido. Os

parâmetros relativos aos sistemas de manejo são apresentados na Tabela 3.4.4.

Tipo de animal	Subpopulação	Região / estado	Fator de emissão utilizado		Fator de emissão IPCC	
			Faixa Climática		Faixa Climática	
			Temperado	Quente	Temperado	Quente
(kg/cabeça/ano)						
Gado de leite		Sul	1	-	1	-
		Outras regiões	3	5	1	2
Gado de corte	Fêmeas adultas	Sul	1	-	1	-
		Outras regiões	2	2	1	1
	Machos adultos	Nordeste	2	3	1	1
		Sul	2	-	1	-
	Jovens	Outras regiões	2	2	1	1
		Sul	1	-	1	-
Suínos		Norte	-	0,4	-	2
		Nordeste	1	1	1	2
		Sul e São Paulo	0,5	-	1	-
		Outros estados	1	-	1	-

Fonte: Empresa Brasileira de Agropecuária - EMBRAPA.

As emissões de CH₄ por manejo de dejetos de animais, em 1994, foram estimadas em 368 Gg, com crescimento de 9% em relação às emissões de 1990. O gado de corte foi a categoria que mais contribuiu, com emissões estimadas em 198 Gg (54%). A Tabela 3.4.6 apresenta as estimativas de

emissões de CH₄ para o período de 1990 a 1994.

Tabela 3.4.4 - Sistemas de manejo de dejetos de animais

Tipo de animal	Região / Estado	Pastagem	Estocagem sólida	Sistema líquido	Lagoa anaeróbia	Daily Spread	Outros
Gado de Leite	Sul	75	-	-	-	20	5
	Outras	45	20	3	1	20	11
Gado de Corte	Sul	75	-	-	-	20	5
	Outras	97	3	-	-	-	-
Ovinos	Todas	100	-	-	-	-	-
Suínos	Sul e São Paulo	-	-	-	-	10	90
	Sudeste e Centro-Oeste	-	-	-	-	5	95
	Outras	-	-	-	-	-	100
Aves	Todas	-	20	-	-	80	-
Outros	Todas	99	-	-	-	-	1

Fonte: Empresa Brasileira de Agropecuária - EMBRAPA.

A estimativa das emissões de CH₄ foi feita utilizando as metodologias recomendadas pelo IPCC (IPCC, 1997). Para o gado bovino e para os suínos foi utilizada a metodologia detalhada, que leva em conta parâmetros nacionais de alimentação, digestibilidade e sistemas de manejo, obtidos com a colaboração de especialistas brasileiros.

A Tabela 3.4.5 apresenta os fatores de emissão resultantes para o gado bovino e para os suínos, e sua comparação com os valores *default* do IPCC.

Para os outros animais foi utilizada a metodologia simplificada, utilizando os fatores de emissão *default* do IPCC.

Tabela 3.4.6 - Emissão de CH₄ por manejo de dejetos de animais - 1990 a 1994

Tipo de animal	1990	1991	1992	1993	1994	Part. 1994	Variação 90/94
	(Gg)					(%)	
Gado de leite	59,3	62,2	63,8	61,6	61,1	16,6	3
Gado de corte	183	189	191	193	198	53,8	8
Bubalinos	2,4	2,4	2,4	2,5	2,7	0,7	12
Ovinos	3,5	3,5	3,4	3,1	3,2	0,9	-9
Caprinos	2,3	2,4	2,4	2,1	2,1	0,6	-9
Eqüinos	10,8	10,9	11,1	11,1	11,2	3,0	4
Muare e asininos	3,5	3,5	3,6	3,4	3,4	0,9	-3
Suínos	25,1	25,4	25,4	24,8	25,4	6,9	1
Aves	48,4	53,3	57,8	59,2	61,3	16,7	27
TOTAL	338	353	361	361	368	100,0	9

O manejo de dejetos de animais também pode produzir emissões de N₂O durante seu processamento, dependendo do sistema empregado. Os dejetos processados são eventualmente utilizados como fertilizante, como é o caso no sistema *daily spread*. Nesse caso, são relatadas apenas as emissões que ocorrem antes de os dejetos de animais serem adicionados aos solos, compreendendo basicamente as emissões de animais em regime de confinamento. As emissões de N₂O induzidas após a adição dos dejetos de animais ao solo, incluindo os de animais em regime de pastagem, são estimadas no item 3.4.4, que compreende as emissões provenientes da adição de nitrogênio aos solos agrícolas.

A estimativa das emissões de N₂O foi feita utilizando a metodologia recomendada pelo IPCC (IPCC, 1997), considerando a participação dos diversos sistemas utilizados para cada tipo de animal. Na ausência de informação sobre fatores de emissão específicos para o Brasil, foram utilizados os valores *default* do IPCC.

As emissões de N₂O por manejo de dejetos de animais foram estimadas em 20 Gg em 1994, com crescimento de 7% em relação a 1990, conforme a Tabela 3.4.7. Observa-se que a maior participação nas emissões é do gado de leite, já que a maioria do gado de corte é criado em regime de pastagem.

Tabela 3.4.7 - Emissões de N₂O por manejo de dejetos de animais - 1990 a 1994

Tipo de animal	1990	1991	1992	1993	1994	Part. 1994	Variação 90/94
	(Gg)					(%)	
Gado de leite	8,3	8,7	8,9	8,7	8,6	42,6	4
Gado de corte	4,3	4,5	4,5	4,6	4,7	23,3	8
Suínos	4,0	4,1	4,1	4,1	4,2	20,8	4
Aves	2,1	2,3	2,4	2,5	2,6	12,9	24
Outros	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	-3
TOTAL	18,8	19,6	20,1	19,9	20,2	100,0	7

3.4.2 Cultivo de Arroz

A decomposição anaeróbia de matéria orgânica em campos de arroz irrigados ou inundados é uma importante fonte de CH₄. Esse processo não ocorre, porém, quando o arroz é cultivado em terras altas (arroz de sequeiro).

Em contraste com o que ocorre em termos globais, onde o arroz de sequeiro responde por apenas 15% das áreas cultivadas, no Brasil essas áreas representam a maior parte da área cultivada (67% em 1994). Essa é a forma de cultivo mais usada nas regiões Nordeste e Centro-Oeste. Apesar de ocupar uma menor área de cultivo, o arroz irrigado responde pela maior parte da produção (55%), concentrada na região Sul

(68%). O arroz é cultivado, ainda, em sistema de várzea úmida, em menor escala, principalmente no estado de Minas Gerais.

A área total cultivada de arroz em regimes de irrigação ou de várzea foi de 1,5 milhão de hectares em 1994, crescendo 17% em relação ao ano de 1990, conforme a Tabela 3.4.8.

Tabela 3.4.8 - Área colhida de arroz - 1990 a 1994

Área colhida	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94	
	(10 ³ ha)					(%)	
Regime contínuo	1.077	1.142	1.220	1.305	1.305	21	
Regime intermitente	Aeração única	-	1	0,4	0,1	0,1	-
	Múltiplas aerações	20	17	17	15	14	-30
Regime de várzea	Várzea seca	30	32	31	31	29	-3
	Várzea úmida	132	134	133	129	119	-10
TOTAL	1.258	1.326	1.402	1.480	1.468	17	

Fonte: Empresa Brasileira de Agropecuária - EMBRAPA.

Estudos realizados em vários países têm mostrado a influência de vários fatores sobre a emissão de CH₄ em campos de arroz inundado. Esses fatores incluem temperatura, radiação solar, tipo de adubação, tipo de cultivares e tipos de solos. No Brasil, não existem, ainda, dados experimentais que permitam definir fatores de emissão específicos, sob diferentes condições regionais e climáticas. Por esse motivo foram utilizados os fatores *default* do IPCC.

As emissões de metano foram estimadas em 283 Gg em 1994, com um aumento de 18% em relação a 1990, conforme a Tabela 3.4.9.



Tabela 3.4.9 - Emissões de CH₄ pelo cultivo de arroz - 1990 a 1994

3.4.3.1 Cana-de-açúcar

Regime de Cultivo		1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
		(Gg)					(%)
Regime contínuo		215	228	244	261	261	21
Regime intermitente	Aeração única	-	0,10	0,04	0,01	0,01	-
	Múltiplas aerações	0,78	0,68	0,68	0,60	0,57	-27
Regime de várzea	Várzea seca	2,4	2,6	2,5	2,4	2,3	-4
	Várzea úmida	21	21	21	21	19	-10
TOTAL		240	253	269	285	283	18

3.4.3 Queima de Resíduos Agrícolas

Apesar de a queima de resíduos liberar uma grande quantidade de CO₂, ela não é considerada como uma emissão líquida, pois, através da fotossíntese, a mesma quantidade de CO₂ é necessariamente absorvida durante o crescimento das plantas. Porém, durante o processo de combustão, outros gases não-CO₂ são produzidos. As taxas de emissão desses gases dependem do tipo de biomassa e das condições da queima. Na fase de combustão com chama, são gerados os gases N₂O e NO_x, sendo que os gases CH₄ e CO são formados sob condições de queima com predomínio de fumaça.

A principal cultura que envolve queima de resíduos no Brasil é a da cana-de-açúcar, ocorrendo também, em menor escala, na cultura do algodão herbáceo. As emissões provenientes de queima de resíduos, em 1994, foram estimadas em 133 Gg CH₄; 6,6 Gg N₂O; 2.787 Gg CO; e 239 Gg NO_x conforme a Tabela 3.4.10.

Tabela 3.4.10 - Emissões por queima de resíduos agrícolas - 1990 a 1994

Gás	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(Gg)					(%)
Cana-de-açúcar						
CH ₄	117	116	121	109	130	11
N ₂ O	5,8	5,7	6,0	5,4	6,4	11
CO	2.455	2.438	2.537	2.285	2.730	11
NO _x	208	207	215	194	232	11
Algodão herbáceo						
CH ₄	4,2	4,7	4,3	2,6	2,7	-35
N ₂ O	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	-35
CO	88	98	91	55	57	-35
NO _x	10,5	11,7	10,9	6,5	6,8	-35
Total						
CH ₄	121	121	125	111	133	10
N ₂ O	6,1	6,1	6,3	5,5	6,6	10
CO	2.543	2.536	2.628	2.340	2.787	10
NO _x	219	219	226	201	239	10

ficativamente com um maior incentivo a produção de etanol com a implementação do programa Proalcool, tendo sua produção se expandido por todos os estados brasileiros, principalmente São Paulo, Alagoas e Pernambuco.

A prática da queima da cana-de-açúcar na pré-colheita é generalizada no país, sendo utilizada para melhorar o rendimento do corte manual (aumentando-o em até 10 vezes), evitar problemas com animais peçonhentos, comuns nas plantações, e facilitar o preparo do terreno para novos plantios.

A área média anual colhida de cana-de-açúcar, no período de 1990 a 1994, foi 4,3 milhões de hectares. As emissões de gases de efeito estufa por queima de cana-de-açúcar, em 1994, foram estimadas em 130 Gg CH₄; 6,4 Gg N₂O; 2.730 Gg CO; e 232 Gg NO_x.

3.4.3.2 Algodão Herbáceo

A cultura do algodão encontra-se distribuída em dezessete estados, sob diversas condições ambientais. A área média colhida de algodão herbáceo, no período de 1990 a 1994, foi 1,3 milhão de hectares. Além do algodão herbáceo, também é cultivado o algodão arbóreo, cultura perene onde não ocorre a queima de resíduos.

No Brasil, a colheita do algodão é feita quase sempre de forma manual. Após a colheita, os restos culturais são queimados, visando eliminar focos de pragas (bicudo, lagarta rosada) e doenças fúngicas. A erradicação dos restos culturais requer que todas as partes da planta sejam incineradas, inclusive as raízes. Entretanto, essa prática não vem sendo amplamente adotada no país. Apesar de alguns estados possuírem leis que obrigam os agricultores a efetuar a queima dos resíduos, a crescente mecanização da cultura tem substituído essa prática pela incorporação dos resíduos da colheita ao solo e pela adoção de outras medidas para controle de pragas e doenças.

Na região Nordeste, onde há, também, a recomendação da prática de queima como medida de combate ao bicudo, a grande maioria dos produtores não a realiza, aproveitando os restos de cultura para alimentação animal, sobretudo as cápsulas, ricas em proteínas. Por esse motivo, a produção de algodão na região Nordeste não foi considerada nas estimativas das emissões.

As emissões de gases de efeito estufa,

em 1994, foram estimadas em 2,7 Gg CH₄; 0,2 Gg N₂O; 57 Gg CO₂; e 6,8 Gg NO_x.

3.4.4 Emissões de N₂O provenientes de Solos Agrícolas

A utilização de fertilizantes nitrogenados é apontada como o principal motivo do aumento global das emissões de N₂O por solos agrícolas. No Brasil, entretanto, a principal fonte de emissões são os dejetos de animais em pastagem. Emissões de N₂O ocorrem, também, pela aplicação de esterco animal como fertilizante, pela fixação biológica de nitrogênio, pelo nitrogênio proveniente de resíduos agrícolas e pela deposição atmosférica de NO_x e NH₃.

As emissões de N₂O provenientes de solos agrícolas foram subdivididas em três categorias, conforme o IPCC:

- emissões de N₂O provenientes dos dejetos de animais em pastagem;
- outras fontes diretas de emissão de N₂O, que incluem o uso de fertilizantes sintéticos, o nitrogênio de dejetos de animais usados como fertilizantes, a fixação biológica de nitrogênio e os resíduos de colheita; e
- fontes indiretas de emissão de N₂O, a partir do nitrogênio usado na agricultura, que incluem a volatilização e subsequente deposição atmosférica de NO_x e NH₃ provenientes da aplicação de fertilizantes, e a lixiviação e o escoamento de nitrogênio de fertilizantes.

A Tabela 3.4.11 apresenta as estimativas das emissões de N₂O por solos agrícolas no período de 1990 a 1994.

Tabela 3.4.11 - Emissões de N₂O por solos agrícolas - 1990 a 1994

Tipos de emissão	1990	1991	1992	1993	1994	Part. 1994	Varição 90/94
	(Gg)					(%)	(%)
Animais em pastagem	207,1	213,2	215,7	214,6	218,5	46	6
Gado de leite	20,8	21,7	22,2	21,9	21,9	5	5
Gado de corte	150,2	155,0	156,9	158,8	162,1	34	8
Asininos	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	0	-6
Muares	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	0
Bubalinos	1,7	1,8	1,8	1,9	2,0	0	18
Caprinos	14,8	15,1	15,1	13,2	13,5	3	-9
Equinos	7,7	7,8	7,9	7,9	7,9	2	3
Ovinos	7,6	7,6	7,5	6,8	7,0	1	-8
Outras emissões diretas	98,8	96,1	107,3	114,6	125,7	26	27
Fertilizante sintético	13,8	13,8	15,3	17,9	20,8	4	51
Esterco animal	11,6	12,1	12,6	12,7	13,0	3	12
Gado de leite	4,2	4,4	4,5	4,4	4,4	1	5
Gado de corte	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	1	4
Suíños	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0	25
Aves	4,1	4,5	4,8	5,0	5,2	1	27
Fixação biológica	21,1	15,8	20,3	23,9	26,4	6	25
Resíduos culturais	36,1	35,1	38,8	38,3	43,1	9	19
Solos orgânicos	16,3	19,3	20,3	21,9	22,5	5	38
Emissões indiretas	119,8	123,2	125,9	127,5	131,8	28	10
Deposição de NO _x e NH ₃	24,2	25,0	25,4	25,6	26,3	6	9
Lixiviação	95,5	98,2	100,5	101,9	105,5	22	10
TOTAL	425,7	432,4	448,9	456,7	476,0	100	12

3.4.4.1 Emissões de N₂O devidas aos animais em pastagem

Os dejetos depositados nos solos por animais durante a pastagem são a fonte mais importante das emissões de N₂O por solos agrícolas no Brasil, devido ao grande rebanho e ao fato de a criação extensiva ser a prática predominante de gado no país. A Tabela 3.4.4 indica a participação dos sistemas de manejo de dejetos no Brasil, mostrando que 75% do gado bovino na região Sul é criado em regime de pastagem, assim como 97% do gado de corte e 45% do gado de leite nas demais regiões. Excetuando-se os suínos e as aves, todos os outros animais são criados quase que totalmente nesse mesmo regime.

As emissões de N₂O foram estimadas utilizando os fatores *default* do IPCC para o conteúdo de nitrogênio nos dejetos de animais e para o fator de emissão de N₂O por quantidade de nitrogênio depositado. As emissões de N₂O devidas aos animais em pastagem representaram 46% das emissões de N₂O de solos agrícolas, em 1994 (sendo 34% relativas ao gado de corte e 5% ao gado de leite), crescendo 6% em relação ao valor estimado para 1990, conforme a Tabela 3.4.11.

3.4.4.2 Emissões de N₂O por outras fontes diretas

Uso de fertilizante sintético

Os principais fertilizantes nitrogenados utilizados no Brasil são a uréia, a amônia, o nitrato de amônio anidro e o sulfato de amônio. O consumo total de fertilizantes nitrogenados sintéticos no Brasil, em 1994, foi 1,17 milhão de toneladas de conteúdo de nitrogênio, com um crescimento de 51% em relação ao consumo de 1990. Parte desse nitrogênio é incorporado nas plantas e no solo, parte volatiliza na forma de NO_x e NH₃ e parte é emitida na forma de N₂O. Na ausência de estudos específicos de fatores de emissão para as condições de manejo e clima do Brasil, foram utilizados os fatores *default* do IPCC. As emissões diretas de N₂O por uso de fertilizantes sintéticos representaram 4% das emissões de N₂O de solos agrícolas, em 1994, conforme a Tabela 3.4.11.

Uso de esterco como fertilizante

As informações sobre o aproveitamento dos resíduos e efluentes gerados pela criação de animais em confinamento, como fertilizante orgânico, são ainda escassas no país. Com base na experiência de especialistas brasileiros que acompanham as práticas utilizadas em cada região, considerou-se que apenas os dejetos manejados utilizando o sistema *daily spread* são aplicados no campo como fertilizante. Como fatores de emissão de N₂O, foram adotados os valores *default* do IPCC. As emissões diretas de N₂O por uso de esterco animal como fertilizante representaram 3% das emissões de N₂O de solos agrícolas em 1994, conforme a Tabela 3.4.11.

Fixação biológica de nitrogênio

O processo de redução de N₂ atmosférico para formas combinadas de N-amoniacal, por intermédio de organismos vivos, é denominado de fixação biológica do nitrogênio.



No Brasil, a prática de inoculação com bactérias específicas para fixação de N_2 é rotineiramente utilizada apenas na cultura da soja, não existindo informações disponíveis sobre sua aplicação em outras culturas. Em 1994, a área cultivada de soja foi de 11,5 milhões de hectares, não tendo apresentado aumento significativo em relação a 1990. A produção de soja, em 1994, foi 24,9 milhões de toneladas, com crescimento de 25% em relação à quantidade produzida em 1990. Para a estimativa da emissão de N_2O foi adotado um conteúdo de matéria seca de 89,8% e fator de emissão *default* do IPCC. Esse fator foi calculado utilizando a quantidade de nitrogênio contido na planta como aproximação da quantidade de nitrogênio fixado pela cultura, assumindo uma relação fixa entre a produção e a quantidade de resíduos. Essa relação foi revista posteriormente pelo IPCC sem reavaliar a consistência da relação entre a quantidade de nitrogênio fixado e o total de nitrogênio contido na biomassa. Essa reavaliação deveria ser feita, levando em conta, também, a possibilidade de ocorrência de dupla contagem em função dos resíduos de colheita serem também considerados no item a seguir. Pesquisas específicas para as práticas e condições da cultura no país são, portanto, necessárias. As emissões diretas de N_2O pela fixação biológica de nitrogênio representaram 6% das emissões de N_2O de solos agrícolas, em 1994, conforme a Tabela 3.4.11.

Resíduos de colheita

O nitrogênio contido nos resíduos de colheita de culturas que são incorporados ao solo é também fonte de emissão de N_2O . Para estimar essas emissões utilizaram-se as produções anuais e a quantidade de matéria seca por tipo de cultura, tendo sido estimado um total de 155 milhões de toneladas de matéria seca em 1994. As principais culturas foram a cana-de-açúcar, o milho, a soja, o arroz e a mandioca. Na ausência de melhor informação, foram utilizados os fatores de emissão *default* do IPCC para o conteúdo de nitrogênio nos resíduos e para a parcela de resíduo que permanece no campo. As emissões diretas de N_2O devidas aos resíduos de colheita representaram 9% das emissões de N_2O dos solos agrícolas em 1994, conforme a Tabela 3.4.11.

Solos com alto conteúdo de matéria orgânica

Não estão disponíveis, no Brasil, informações sobre solos, em escalas adequadas, para se estimar a área de solos orgânicos efetivamente cultivada em cada ano. Por esse motivo, optou-se por estimar essa área por meio do conhecimento dos sistemas de produção das principais culturas do país. Sabe-se que o arroz de várzea, o palmito e a juta são quase que exclusivamente cultivados em solos de várzeas; também o milho na região Norte é majoritariamente plantado nesses solos. Utilizou-se a soma das áreas plantadas com essas culturas como estimativa da área cultivada em solos orgânicos, ainda que nem toda a área ocupada por essas culturas pudesse estar efetivamente localizada sobre solos orgânicos e que, eventualmente, pequenas parcelas das demais culturas pudessem estar sendo cultivadas em solos desse tipo. A incerteza associada a essa estimativa é, portanto, alta, com tendência à sobreestimação dos valores. Estimou-se um valor de 2,1 milhões de hectares, em 1994, com um crescimento de 38% com relação ao ano de 1990. As emissões diretas de N_2O devidas ao cultivo em solos orgânicos representaram 5% das emissões de N_2O de solos agrícolas em 1994, conforme a Tabela 3.4.11.

3.4.4.3 Emissões de N_2O por fontes indiretas

Deposição atmosférica de NO_x e NH_3

Parte do nitrogênio contido nos fertilizantes sintéticos e nos dejetos de animais, usados como fertilizantes, volatiliza na forma de NO_x e NH_3 . Essa parte é descontada quando se estima as emissões devidas às fontes diretas. Entretanto, parte desses gases volta a se depositar na superfície terrestre e, se essa deposição ocorrer em solos agrícolas, pode resultar em emissão adicional de N_2O . É impossível determinar em que área essa deposição irá ocorrer, podendo, inclusive, ser nos oceanos. Da mesma forma, NO_x e NH_3 , originados de outras fontes, como combustão, podem depositar-se em solos agrícolas. Portanto, a incerteza sobre essa parcela de emissões é muito grande. Adotou-se o critério de considerar a deposição total correspondente aos gases volatilizados a partir dos solos agrícolas. Foram utilizados os fatores de emissão *default* do IPCC. As emissões de N_2O devidas à deposição atmosférica de NO_x e NH_3 , em 1994, representaram 6% das emissões de N_2O dos solos agrícolas crescendo 9% com relação ao valor estimado em 1990, conforme a Tabela 3.4.11.

Lixiviação e escoamento superficial de nitrogênio

Parte do nitrogênio que é aplicado aos solos agrícolas através de fertilizantes sintéticos ou dejetos de animais é lixiviado e escoado por meio de rios até o oceano. Nesses ambientes ocorrem também emissões de N_2O , classificadas como emissões indiretas da aplicação de fertilizantes. A incerteza sobre os fatores de emissão de N_2O pelo escoamento desse nitrogênio é muito grande, não existindo avaliação sobre os valores mais apropriados às variadas condições no Brasil. Utilizaram-se os fatores de emissão *default* do IPCC. Em 1994, as emissões de N_2O devidas à lixiviação e ao escoamento do nitrogênio aplicado como fertilizante representaram 22% das emissões de N_2O de solos agrícolas, crescendo 10% com relação ao valor estimado para 1990, conforme a Tabela 3.4.11.

3.4.5 Queima Prescrita de Cerrado

Áreas de cerrado nativo queimam durante a estação seca, por motivos diversos, incluindo a influência antrópica (estímulo à brotação de novas gramíneas, controle de pragas). Essas queimadas caracterizam-se pela regeneração da vegetação, durante a estação úmida, nas áreas afetadas. Apresentam emissões líquidas nulas de CO_2 , mas liberam outros gases como CH_4 , N_2O , CO e NO_x .

O IPCC assume que toda queimada em área de cerrado não-antrópico é consequência de uma ação antrópica. Pesquisas realizadas no Brasil sobre recorrência de queimadas e datação de resíduos carbonizados sugerem que a queima periódica de áreas de cerrado já ocorria em épocas anteriores à influência antrópica. Assim, é necessário promover uma ampla discussão sobre esse assunto no âmbito do IPCC, que poderá resultar, oportunamente, na revisão do critério atual.

Para estimar as emissões de gases de efeito estufa resultantes da queima antrópica em cerrado, é necessário estimar uma série de parâmetros, incluindo a área queimada, a eficiência da queima, os tipos de fisionomia vegetal afetados, as densidades da biomassa dessas fisionomias e a fração queimada. Dentre esses, a densidade da biomassa submetida à queima e a fração da biomassa que efetivamente queima são conhecidas por meio de estudos realizados no Brasil (MIRANDA *et al.*, 1996). Entretanto, as estimativas de área queimada por tipo de vegetação afetada não eram confiáveis e foram estimadas utilizando uma metodologia apoiada em dados de sensoriamento remoto.



Imagens de satélites meteorológicos, apesar de sua baixa resolução espacial, são utilizadas para detectar queimadas. O Brasil foi o primeiro país do mundo a implementar um sistema operacional para a detecção de queimadas, com base nas imagens do sensor *Advanced High Resolution Radiometer* (AVHRR) a bordo do satélite em órbita polar da *National Oceanographic and Atmospheric Administration* (NOAA). Tradicionalmente, esses satélites de baixa resolução têm demonstrado ser úteis para monitorar focos de calor, em função da cobertura diária do globo terrestre. Um sensor termal sensível a temperaturas do solo fornece dados importantes ao monitoramento. Entretanto, esses não são os instrumentos mais adequados para quantificar as áreas queimadas. Sensores de maior resolução espacial, tais como o sensor TM/Landsat 5 e o HRV/Spot, são mais adequados para esse fim. Porém, apresentam limitações importantes, relacionadas à baixa resolução temporal (tempo de revisita do satélite a um mesmo ponto no terreno) — 16 dias para o Landsat; 26 dias para alguns sensores do SPOT — e ao uso de um sistema ótico, que impede a obtenção de dados da superfície sob nuvens. Neste caso, em função da rápida regeneração em algumas áreas afetadas no cerrado, a não existência de imagens úteis (sem nuvens ou com baixo percentual de nuvens) pode levar à não identificação de algumas áreas afetadas pela queima, provocando uma subestimativa da área queimada. É praticamente impossível obter, para cada cena do cerrado, uma série temporal com imagens úteis, durante todo o período de seca (Abril a Novembro, quando as queimadas são mais frequentes). Estudos recentes (LOMBARDI, 2003) indicam que o tempo de permanência das cicatrizes das queimadas varia em função do tipo de fisionomia de vegetação afetado, de alguns dias a poucos meses.

Para tentar solucionar esse problema, e considerando a extensão do cerrado brasileiro, que cobre aproximadamente 2,0 milhões de km², foi desenvolvida uma metodologia que relaciona as estimativas de área queimada a partir do sensor TM/Landsat 5 aos focos de calor diários fornecidos pelo sensor AVHRR/NOAA.

As densidades de biomassa nas diferentes fisionomias de vegetação do cerrado, a fração queimada e a distribuição dos diferentes tipos de fisionomia do cerrado foram obtidas por meio de instituições de pesquisa no Brasil.

A metodologia foi desenvolvida e testada utilizando informações e imagens de satélite disponíveis para 1999. Para estimar a área total de cerrado não-antropizado submetido à queima, foi desenvolvido um plano de amostragem estatística, tendo como universo amostral a grade do sensor TM/Landsat 5 sobre a área de cerrado. Cenas TM-Landsat 5 do período de junho/julho de 1999 foram selecionadas como amostras, de acordo com uma estrutura de estratificação por área de cerrado e grau de intervenção humana. A área queimada em junho/julho (apenas para o cerrado não-antrópico), obtidas através das imagens amostradas, foi estimada em 12.522 km². Extrapolando esses resultados para todo o cerrado, para os meses de junho/julho de 1999, obteve-se o valor de 25.787 km², com um desvio padrão de 5.678 km².

A fim de extrapolar os resultados para a estação inteira de queimadas (junho-novembro) em todo o cerrado brasileiro, dados do AVHRR foram utilizados. Esses dados, referentes ao ano de 1999, indicaram que 15% dos focos de calor detectados no cerrado não-antrópico brasileiro ocorreram no período de junho-julho. Assumindo-se que existe uma correlação entre a área queimada observada nos dados do AVHRR e os dados do TM/Landsat 5 e aplicando-se um fator de correção para as datas, a área total queimada no cerrado foi estimada em 197.602 km². As estimativas por tipo de vegetação resultam em 16.401 km² em campo limpo/sujo (8,3%); 20.748 km² em cerradão (10,5%); 131.206 km² em

cerrado *sensu stricto* (66,4%); e 29.245 km² em parque de cerrado (14,8%).

As estimativas das densidades de biomassa (combustível fino) nas diferentes fisionomias de vegetação do cerrado variaram de 7,2 t/ha (fisionomia de campo sujo/campo limpo) a 9,4 t/ha (cerrado *sensu stricto*).

Esses dados, incorporados à metodologia do IPCC, geraram as seguintes estimativas de emissões de gases não-CO₂ em 1999: 306 Gg CH₄; 3,8 Gg N₂O; 8.036 Gg CO; e 137,3 Gg NO_x.

O ano de 1999 foi um ano em que a ocorrência de queimadas foi particularmente elevada, tendo sido detectada nesse ano, pelo satélite NOAA-12 uma quantidade de focos de calor 3 vezes maior que o número de focos de calor detectados em 1996. A ocorrência de queimadas é extremamente variável de ano para ano, não sendo possível, portanto, utilizar esses resultados para estimar as emissões no período de 1990 a 1994. Entretanto, os valores apresentados, além de ilustrarem uma metodologia que poderá ser aplicada em futuros inventários, indicam a ordem de magnitude das emissões de gases não-CO₂ resultantes da queima no cerrado. Este estudo foi realizado para 1999 devido à disponibilidade de dados (imagens de satélite) para outros trabalhos. Não foi realizado para o período de 1990 a 1994 devido a limitações de natureza financeira.

Mudanças no Uso da Terra e Florestas





3.5 Mudanças no Uso da Terra e Florestas

Este setor compreende quatro categorias: (1) Mudança nos Estoques de Biomassa em Floresta e Outras Formações Lenhosas; (2) Conversão de Florestas para Outros Usos; (3) Abandono de Áreas Manejadas; e (4) Emissão e Remoção de CO₂ pelos Solos.

Na categoria Mudança nos Estoques de Biomassa em Floresta e Outras Formações Lenhosas consideraram-se somente as mudanças nos estoques de carbono de florestas plantadas, baseadas em dados reportados pela Associação Brasileira de Florestas Renováveis - ABRACAVE e pela Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose - ANFPC.

Para as categorias Conversão de Florestas para Outros Usos e Abandono de Áreas Manejadas utilizou-se uma abordagem objetiva com dados de satélite. À exceção da Mata Atlântica, a análise das imagens de satélite incluiu mudanças na cobertura da terra resultantes tanto da conversão efetiva de florestas para outros usos quanto de alterações decorrentes de práticas de manejo sustentável de florestas.

Desta forma, as emissões reportadas neste Inventário sob a categoria Conversão de Florestas para Outros Usos incluem emissões por desflorestamentos, além daquelas que deveriam ser incluídas na categoria Mudança nos Estoques de Biomassa em Floresta e Outras Formações Lenhosas. De forma análoga, na categoria Abandono de Áreas Manejadas incluem-se as remoções resultantes da rebrota por abandono das áreas desflorestadas e das áreas convertidas, bem como aquelas sob manejo sustentável.

A metodologia aplicada neste Inventário pode resultar em uma sobreestimação das emissões de CO₂ no Brasil, em função dos seguintes fatores: (1) contabilização instantânea de todo o estoque de carbono na área convertida como emissão de CO₂, no lugar de sua distribuição ao longo do tempo, conforme o destino da biomassa (uso nas indústrias metalúrgica e energética, papel e celulose, mobiliário, construção civil e arquitetura, queima, decomposição dos resíduos florestais na área convertida); e (2) contabilização de emissões de CO₂ que ocorrem em outros países, devido à exportação de madeira e seus derivados pelo Brasil.

Adicionalmente, conforme mencionado acima, a consideração da rebrota foi feita com base em dados objetivos de observação por satélite. Independe, portanto, da consideração de se a rebrota ocorreu como resultado de uma prática declarada de manejo sustentável ou por abandono da atividade agrícola ou pecuária.

3.5.1 Mudanças nos Estoques de Florestas Plantadas

As florestas plantadas, no Brasil, atendem a diversas finalidades, dentre as quais se destacam os plantios com fins industriais que têm como objetivo principal produzir madeira destinada à indústria de celulose e papel, à indústria siderúrgica, às serrarias, à indústria de laminados e de chapas e à geração de energia a partir da lenha. Essas florestas são plantadas com finalidades específicas, obedecendo a um plano de manejo (i.e. desbastes, corte raso e rotação) que influi na quantidade e qualidade da madeira. Os plantios com outras finalidades, por sua vez, não obedecem a um plano de manejo e cumprem, prioritariamente, funções de proteção e recuperação ambiental, tais como proteção de encostas, barreiras para redução da velocidade do vento, proteção de mananciais hídricos e recuperação de áreas degradadas.

Para estimar as mudanças nos estoques de florestas plantadas no período de 1990 a 1994, foram consideradas

apenas as florestas implantadas com finalidades industriais. As de uso não industrial não foram consideradas por não apresentarem variações significativas de estoque de carbono ao longo do tempo, já que não são submetidas a desbaste ou rotação.

Para estimar as mudanças anuais de estoque ocorridas no período de 1990 a 1994, foram estimadas, primeiramente, as quantidades de carbono fixadas ano a ano. Para subsidiar este cálculo, foram coletadas informações referentes a área ocupada pelas florestas de uso industrial, espécies plantadas, tipo de manejo, taxas anuais de produção de matéria seca e fração de carbono contida na matéria seca.

Com relação à área de florestas plantadas no Brasil, os dados disponíveis apresentam divergências, sendo pequeno o número de entidades que mantêm um registro histórico com valores confiáveis das áreas de florestas plantadas a cada ano pelas suas empresas associadas, tais como a Associação Brasileira de Florestas Renováveis - ABRACAVE e a Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose - ANFPC. Os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* representam mais de 80% dos plantios. As áreas de floresta plantada apresentadas na Tabela 3.5.1, foram baseadas em relatórios referentes ao período de 1969 a 1994 (ANFPC, 1994) e (FARIA, 1997).

Tabela 3.5.1 - Área de florestas plantadas - 1969 a 1994

Ano	<i>Eucalyptus</i>	<i>Pinus</i>
	(10 ³ ha)	
1969	35,0	-
1970	49,0	11,6
1971	64,8	11,4
1972	73,4	13,9
1973	77,1	12,1
1974	99,1	21,2
1975	160,5	25,3
1976	217,1	24,6
1977	235,3	27,7
1978	287,3	19,2
1979	295,1	21,0
1980	263,2	24,6
1981	509,7	19,8
1982	232,1	23,6
1983	171,2	21,7
1984	209,5	22,6
1985	233,6	19,9
1986	210,9	24,5
1987	249,9	29,5
1988	290,0	25,0
1989	303,4	24,8
1990	434,5	22,9
1991	277,1	14,8
1992	244,1	13,5
1993	886,3	17,8
1994	282,0	18,7

Fontes: ANFPC, 1994; Faria, 1997.

Os regimes de manejo, por sua vez, abrangem um conjunto de atividades distribuídas ao longo de um determinado número de anos, que se estende desde o plantio até colheita final da madeira. Estes regimes podem variar entre gêneros, espécies e até mesmo para uma espécie. O regime de produção praticado para florestas do gênero *Pinus*, por exemplo, difere, na maioria das vezes, do regime adotado em florestas do gênero *Eucalyptus*. Para estimar as mudanças de estoque adotou-se, para o gênero *Pinus*, um regime de manejo composto de três desbastes (8, 12 e 16 anos), com corte final aos 20 anos. Com relação ao gênero *Eucalyptus*, adotou-se um regime de manejo com rotação de 21 anos e três cortes rasos.

Nas florestas plantadas, a variável de maior interesse econômico é a produção de madeira, representada pelo volume de madeira do tronco por unidade de área (m³/ha). Essa produção varia ao longo do tempo e sofre influência do regime de manejo. Por esta razão, torna-se necessário uma abordagem diferenciada para

cada gênero. As estimativas de produção anual foram obtidas com base nas publicações científicas e consultas a especialistas brasileiros. A produção média anual por hectare, para o gênero *Pinus*, foi estimada em 26,25 m³ com casca; para o gênero *Eucalyptus* foi 28,33 m³ com casca.

Em razão de a densidade da madeira (relação massa/volume) variar segundo o gênero e a espécie (os valores relatados na literatura científica para a densidade básica da madeira de *Eucalyptus* são ligeiramente superiores aos encontrados para *Pinus*), foram estimados valores médios de densidade da madeira com casca para cada gênero. Para *Pinus* foi estimado um valor médio de 0,385 t/m³, e para *Eucalyptus* um valor médio de 0,425 t/m³.

As taxas anuais de produção de matéria seca variam de gênero para gênero e são representadas, principalmente, pela produção do tronco. São obtidas por meio do produto dos valores de densidade básica pela produção anual de madeira. As taxas médias anuais para os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* foram estimadas em 10,1 t/ha e 12,0 t/ha, respectivamente. As estimativas das taxas de produção de matéria seca das copas foram obtidas a partir da relação entre a produção da copa e a produção do tronco com casca. Com base na literatura, foram obtidos os valores médios de 25% para o gênero *Pinus* e 20% para o gênero *Eucalyptus*.

Quanto à estimativa da produção da parte subterrânea das plantações florestais, são poucas as publicações que tratam deste assunto, e abrangem, basicamente, o gênero *Eucalyptus*. De acordo com os dados disponíveis na literatura, adotou-se para ambos os gêneros o valor médio de 35% para a relação entre a produção de raízes e a produção do tronco com casca.

A fração de carbono na matéria seca, segundo a literatura, é cerca de 50%. Adotou-se este valor para a relação carbono/matéria seca para todas as partes da árvore (tronco, copa e raízes), para ambos os gêneros.

A partir desses dados foram estimadas as mudanças anuais dos estoques de carbono nas florestas plantadas, no período de 1990 a 1994, obtendo-se, para cada ano e gênero, uma estimativa do estoque de carbono acumulado até aquele ano. Isto foi feito somando-se o estoque de carbono remanescente dos plantios com diferentes idades (1 a 21

anos para *Eucalyptus* e 1 a 20 para *Pinus*) para cada ano do período.

A Tabela 3.5.2 apresenta as estimativas anuais de mudança do estoque de carbono em florestas plantadas, no período de 1990 a 1994. De acordo com os resultados apresentados, obteve-se uma estimativa média anual para as mudanças de estoque em florestas plantadas com fins industriais de 11 Tg C por ano, correspondendo a uma remoção anual média de 41,1 Tg CO₂ da atmosfera.

Tabela 3.5.2 - Mudanças de estoques de carbono nas florestas plantadas

Ano	<i>Eucalyptus</i>	<i>Pinus</i>	Total	Mudança Anual	
	(Gg C)			(Gg C)	(Gg CO ₂)
1989	95.938	19.121	115.058	-	-
1990	107.314	20.031	127.345	12.287	45.051
1991	117.597	20.975	138.572	11.227	41.167
1992	125.700	21.695	147.394	8.822	32.348
1993	135.540	22.744	158.284	10.890	39.931
1994	148.004	23.067	171.071	12.787	46.885

3.5.2 Conversão de Florestas e Abandono de Terras Manejadas

Este item do Inventário aborda emissões e remoções resultantes da conversão de florestas para agricultura, pecuária ou outros usos, assim como as remoções decorrentes do abandono de terras manejadas. A conversão de florestas para outros usos caracteriza desflorestamento e é normalmente feita através da limpeza do sub-bosque e posterior derrubada de árvores, seguida da retirada parcial da madeira para uso comercial ou uso como lenha, da queima e/ou da decomposição dos resíduos florestais.

As áreas desflorestadas ou em regeneração (rebrotam) foram obtidas por meio da análise de imagens do satélite Landsat, cujo sensor (TM) tem uma resolução espacial (30 metros), adequada para este fim. Entretanto, a análise das imagens não permite inferir sobre o destino da área desflorestada. Os dados de desflorestamento do Brasil incluem como desflorestadas todas as áreas identificadas nas imagens de satélite como tendo um padrão espectral de solo exposto (independentemente do destino final daquela área). Assim sendo, emissões resultantes de cortes em áreas manejadas são incluídas no Inventário, pela dificuldade de se discriminar áreas sob manejo florestal de outras áreas florestais.

3.5.2.1 Emissões Líquidas de CO₂

A metodologia do IPCC propõe que seja estimada a mudança no estoque de biomassa ocorrida entre o ano do Inventário e 10 anos antes. De acordo com o documento do IPCC, as emissões de CO₂ resultantes da mudança no estoque de carbono acima do solo, pela conversão, devem ser computadas como emissões imediatas, no ano da conversão. Quanto às emissões pela degradação da biomassa acima do solo, estas deveriam ser distribuídas ao longo de um período de dez anos. Sugere também que se estimem as emissões decorrentes das mudanças de estoque de carbono dos solos, as quais foram consideradas no item 3.5.3.

A metodologia utilizada neste Inventário para estimar as emissões líquidas de CO₂ seguiu, em linhas gerais, a metodologia *default* do IPCC. Entretanto, algumas adaptações foram feitas, em função da não disponibilidade



de dados, da limitação de recursos financeiros e do grau de incerteza. Assim, a mudança nos estoques de carbono foi estimada a partir das áreas de desflorestamento bruto em 1988 e em 1994 (ou seja, 6 anos, ao invés dos 10 anos sugeridos na metodologia). Considerou-se, também, que as emissões líquidas de CO₂ por conversão de florestas ocorrem no mesmo ano da conversão, independentemente do destino da biomassa da área convertida: retirada de madeira para uso comercial, queima, ou decomposição dos resíduos florestais. Isto representa uma simplificação metodológica. O IPCC sugere alternativas metodológicas onde, por exemplo, as emissões resultantes da decomposição dos remanescentes florestais podem ser distribuídas ao longo de um período de 10 anos, não necessitando, portanto, ser contabilizadas como emissões instantâneas.

O Inventário estima as emissões líquidas de CO₂, implicando que tanto as emissões quanto as remoções de CO₂ foram estimadas. Para as estimativas de emissão de CO₂ por desflorestamento (com conversão ou não de uso), foi utilizada uma metodologia mais abrangente para os biomas com maior conteúdo de biomassa, a exemplo da floresta amazônica, Pantanal e Mata Atlântica, que totalizam 64% do território nacional e compreendem a maior parte do estoque de carbono na vegetação do Brasil. Nesses casos, as estimativas das áreas desflorestadas foram geradas com base em todas as imagens úteis do satélite Landsat que cobrem esses biomas (281 cenas), e não de forma amostral. No total, 324 cenas foram analisadas. Já as estimativas das remoções foram geradas de forma amostral para quase todos os biomas considerados (à exceção do Pantanal e Mata Atlântica, que compreendem 26% do território nacional, onde todas as cenas disponíveis foram utilizadas). Foram analisadas, no total, 172 cenas Landsat (representando 22% na floresta amazônica; 26% no cerrado; 30% na caatinga; 88% na Mata Atlântica e 100% no Pantanal). Como remoção foram consideradas as áreas de regeneração das áreas desflorestadas (com conversão ou não). A relação entre número de imagens analisadas para estimar as emissões e remoções permite afirmar que as estimativas de emissão de CO₂ são mais precisas do que as de remoção.

Para estimar as emissões líquidas de CO₂ por conversão de florestas, foi desenvolvido um projeto, baseado em tecnologias de sensoriamento remoto e de sistemas de informações geográficas, que buscou desenvolver uma base de dados, por bioma, contendo os seguintes dados: a) distribuição espacial das áreas desflorestadas em dois momentos diferentes (1988 e 1994); b) distribuição espacial das áreas regeneradas nestes dois momentos; c) distribuição espacial das fisionomias florestais; e d) distribuição espacial das densidades de biomassa por tipo de vegetação.

O território do brasileiro foi dividido em seis grandes regiões: Amazônia, Cerrado, Caatinga, Pantanal, Mata Atlântica e Pampas. A área dos Pampas, localizada no extremo sul do país, não foi incluída nesse Inventário devido às suas características campestres e ao equilíbrio estável de seus remanescentes florestais.

Com relação aos dados de área desflorestada, buscou-se aproveitar a importante base de dados já existente, derivada de projetos de larga escala, tais como o Projeto de Monitoramento do Desflorestamento Bruto da Amazônia Legal (PRODES), realizado anualmente a partir de 1988 pela FUNCATE para o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e o sistema de monitoramento dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, desenvolvido pela organização não governamental Fundação SOS Mata Atlântica em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Para as áreas em regeneração, dados estavam disponíveis apenas para a Mata Atlântica, uma vez que o projeto PRODES avalia apenas o desflorestamento bruto, ou seja, o

desflorestamento acumulado ao longo do tempo, sem considerar as áreas regeneradas ou em regeneração. Para as áreas não abrangidas por projetos de monitoramento, optou-se por realizar uma amostragem dos dados de desflorestamento e regeneração, utilizando-se, como amostra, cenas selecionadas da grade do sensor TM/Landsat 5.

Devido ao elevado número de cenas do sensor TM que recobrem as áreas dos cinco biomas estudados, e considerando que o antropismo não ocorre de forma homogênea sobre o território, adotou-se um procedimento de amostragem baseado na estratificação das imagens segundo o grau de antropismo (percentual de área desflorestada na imagem), para estimar a regeneração da vegetação na Amazônia, o desflorestamento e regeneração no Cerrado e o desflorestamento na Caatinga. Uma análise completa de todas as cenas foi utilizada para estimar o desflorestamento na Amazônia, e o desflorestamento e regeneração no Pantanal. Na Caatinga, não foi possível estimar a regeneração, por limitações de análise das imagens devido à variação sazonal relacionada ao ciclo vegetativo.

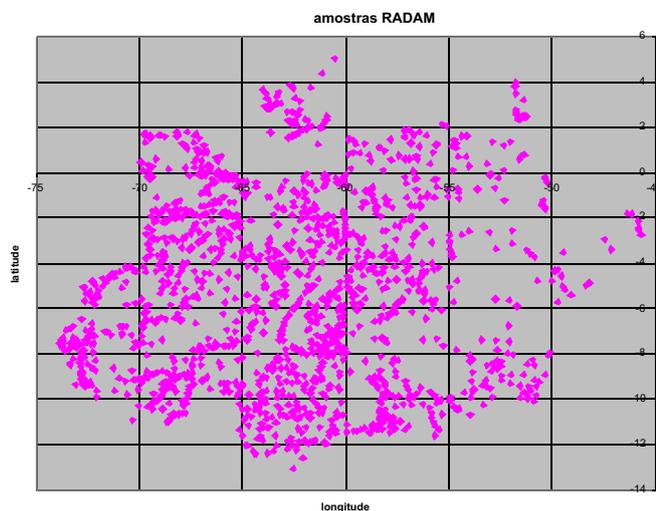
Abaixo detalha-se a metodologia utilizada para cada bioma considerado.

Amazônia

Para estimar as emissões líquidas no bioma Amazônia, foram necessários dados de área desflorestada, de área regenerada e valores de densidade de biomassa para as diferentes fisionomias vegetais. Informações sobre a área de desflorestamento bruto foram obtidas por meio da análise de 196 das 229 imagens do sensor TM/Landsat que cobrem a Amazônia Legal.

Os dados de rebrota foram estimados por meio da análise visual de um conjunto de 44 cenas amostradas do sensor TM/Landsat 5 e extrapolados para o restante do bioma. A distribuição espacial das diferentes fisionomias florestais e seus conteúdos de biomassa foram derivados do projeto RADAMBRASIL (PROJETO RADAMBRASIL, 1973-1983). O projeto coletou dados de circunferência à altura do peito e altura de árvores em unidades amostrais distribuídas pela Amazônia (Figura 3.1). Os dados de circunferência foram utilizados para estimar a biomassa e o conteúdo de carbono nas diferentes fisionomias de vegetação.

Figura 3.1 - Distribuição das amostras do Projeto RADAMBRASIL



As estimativas de biomassa foram geradas utilizando as seguintes equações alométricas (HIGUCHI *et al.*, 1998):

$$\ln P = -1,754 + 2,766 \ln D \quad \text{para } 5 \text{ cm} \leq D < 20 \text{ cm; e}$$

$$\ln P = -0,151 + 2,170 \ln D \quad \text{para } D \geq 20 \text{ cm.}$$

onde

P é a biomassa acima do solo da árvore (kg); e

D é o diâmetro à altura do peito da árvore (cm).

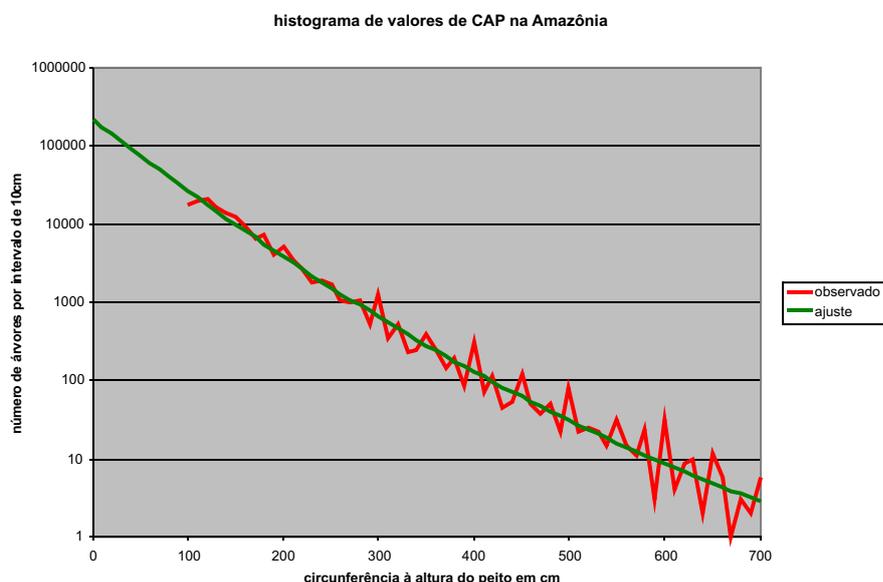
A conversão da biomassa para conteúdo de carbono, C, utilizou a relação (HIGUCHI *et al.*, 1998):

$$C \text{ (kg)} = 0,2859 P$$

Para cada unidade amostral, o conteúdo de carbono de todas as árvores foi somado e dividido pela área da unidade, resultando na estimativa da densidade de carbono na amostra.

Em razão de o RADAMBRASIL coletar dados apenas em árvores com circunferência superior a 100 cm, foi aplicado um fator de correção nos valores de densidade de carbono, de 1,316, de forma a incluir as árvores com circunferência menor (MEIRA FILHO, 2000). Esse fator baseia-se na extrapolação do histograma de circunferências das árvores amostradas no RADAMBRASIL (Figura 3.2).

Figura 3.2 - Histograma de valores de circunferência à altura do peito na Amazônia



O RADAMBRASIL não considerou palmeiras e cipós nas unidades amostradas. Assim, de forma a compensar essa omissão nas estimativas de densidade de carbono, utilizaram-se dados da literatura (HIGUCHI, 2004), que indicam valores adicionais médios de 2% para palmeiras e 1% para cipós. Essa correção foi incorporada no fator de correção de 1,316, resultando em um fator global de 1,35.

A consideração do carbono na biomassa abaixo do solo (raízes) é complexa e não foi incluída neste Inventário. Esta complexidade é reconhecida pelo IPCC, que inclui este tema no item "Refinamentos Metodológicos" (IPCC, 1997), por reconhecer que a dinâmica dos fluxos não é conhecida e que a aplicação de modelos simples pode gerar resultados não confiáveis. O IPCC indica que a consideração das raízes deve

ser incluída quando o destino do carbono nelas contido puder ser estabelecido. Esse destino depende, entretanto, da quantidade de carbono que será ou não incorporada ao solo após o corte da árvore, em consequência do novo uso da terra e das práticas de manejo. Dados na literatura científica brasileira (HIGUCHI, 2004) indicam uma razão de 0,21 entre a quantidade de biomassa nas raízes e a biomassa acima do solo para áreas avaliadas na Amazônia. Esse valor é abaixo do limite inferior (0,23) fornecido pelo IPCC (IPCC, 1997).

Para estimar a remoção de CO₂ pela rebrota em áreas desflorestadas considerou-se uma taxa anual de remoção de carbono de 4,5 tC/ha (HOUGHTON *et al.*, 2000) para fisionomias vegetais com densidade de carbono superior a 93 tC/ha; e para as fisionomias vegetais com densidades inferiores, 3,7 tC/ha (adaptado de ALVES *et al.*, 1997). Para a conversão da densidade de biomassa seca em densidade de carbono empregou-se um fator constante igual a 0,48 (CARVALHO *et al.*, 1995). O valor *default* do IPCC é 0,50 tC por tonelada de matéria seca.

Cerrado

Para estimar as emissões líquidas do bioma Cerrado, foram identificadas as áreas desflorestadas e em regeneração por abandono de terras manejadas, em imagens amostradas do sensor TM/Landsat 5. Das 103 imagens que cobrem o bioma, foram analisadas 27, selecionadas por amostragem estratificada segundo o grau de antropismo.

As estimativas da densidade média de carbono nas diferentes fisionomias vegetais foram obtidas da literatura científica brasileira (FUNCATE, 2004). Os valores calculados de carbono por tipo de vegetação foram considerados representativos dos estoques originais, sob condições de vegetação primária e sem perturbação significativa.

A partir dos dados na Tabela 3.5.3 infere-se que o conteúdo de carbono médio adotado no desflorestamento foi 45,4 tC/ha; na rebrota, 53,0 tC/ha. Considerou-se, para fins de extrapolação dos dados de desflorestamento e regeneração para todo o bioma, que os desflorestamentos e regeneração nas cenas não amostradas ocorreriam de forma proporcional àquelas observadas nas cenas amostradas, para cada classe de grau de antropismo considerada.

Na estimativa das emissões líquidas considerou-se que a regeneração, no estágio em que é identificada através da análise das imagens de satélite, recompõe a densidade de carbono aos níveis originais.

Caatinga

Para o bioma Caatinga, as estimativas das emissões líquidas foram geradas de forma similar ao bioma Cerrado. As remoções de CO₂ pelas áreas em regeneração não puderam ser estimadas devido à dificuldade de se discriminar essas áreas nas imagens de satélite, em função da variação sazonal devida ao ciclo vegetativo. Foram analisadas 16 das 53 cenas que cobrem o bioma Caatinga, selecionadas por amostragem. Os resultados foram extrapolados para toda a área. Foi atribuído um valor médio de biomassa para cada classe fitofisionômica da caatinga, utilizando dados na literatura científica brasileira (SAMPAIO, 1997).



Considerou-se, para fins de extrapolação dos dados de desflorestamento para todo o bioma, que, para cada classe de grau de antropismo considerada, os desflorestamentos nas cenas não amostradas ocorreriam de forma proporcional àqueles observados em cenas amostradas.

A partir dos dados na Tabela 3.5.3 infere-se que o conteúdo de carbono médio adotado no desflorestamento foi 24,9 tC/ha.

Pantanal

Imagens do TM/Landsat 5 foram também utilizadas para estimar as áreas desflorestadas e em regeneração no bioma Pantanal. Todas as 15 cenas que englobam o bioma Pantanal foram consideradas. Foram constituídas classes homogêneas de cobertura, seguindo indicações de especialistas. A cada classe agrupada foi associado um valor médio de densidade de biomassa acima do solo, com base nos dados da literatura (GOODLAND, 1971; DELITTI, 1984; CESAR *et al.*, 1988, citados por DELITTI e MEGURO, 1997).

Na estimativa das emissões líquidas considerou-se que a regeneração, no estágio em que é identificada através da interpretação das imagens de satélite, recompõe a densidade de carbono aos níveis originais.

A partir dos dados na Tabela 3.5.3 infere-se que o conteúdo de carbono médio adotado no desflorestamento foi 63,0 tC/ha; na rebrota, 49,7 tC/ha.

Mata Atlântica

Para estimar as emissões e remoções de CO₂ no bioma Mata Atlântica, utilizou-se os dados do projeto Remanescentes da Mata Atlântica e Outros Ecossistemas Associados, desenvolvido pela Fundação SOS Mata Atlântica em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, abrangendo o período 1990-1995. Foram consideradas 70 cenas TM/Landsat 5, dentre as 80 associadas ao bioma Mata Atlântica. O bioma foi dividido em três classes de vegetação: mata, restinga e mangue. Para cada uma delas foram obtidas as áreas de desflorestamento e de regeneração, no período.

Os valores médios de biomassa atribuídos a cada uma dessas classes foram obtidos da literatura científica brasileira (DELITTI e BURGER, 1997); (SILVA, 1999). As densidades de carbono utilizadas foram:

- Mata: 123,6 tC/ha para desflorestamento e remoção anual de 2,4 tC/ha por rebrota;
- Restinga: 61,8 tC/ha para desflorestamento e 1,44 tC/ha por rebrota; e
- Mangue: 31,4 tC/ha, tanto para desflorestamento quanto para rebrota.

A Tabela 3.5.3 apresenta o resultado líquido das emissões por fontes e remoções por sumidouros associadas à mudança de uso da terra no Brasil, por bioma, conforme foram estimadas neste Inventário, para o período 1988-1994.

Tabela 3.5.3 - Emissões líquidas por conversão de florestas e abandono de terras manejadas, por bioma - 1988 a 1994

Bioma	Desflorestamento		Regeneração		Emissões Líquidas Anuais		
	Área no período (1988 - 1994)	Emissão Bruta Anual	Área Total	Remoção Anual			
	(10 ³ km ²)	(Tg C/ano)	(10 ³ km ²)	(Tg C/ano)	(Tg C/ano)	(Tg CO ₂ /ano)	(%)
Amazônia - cenas amostradas para estimar a regeneração	39,2	66,9	36,0	15,1	51,8	189,9	
Amazônia - demais cenas	52,9	84,9	46,3	19,8	65,1	238,8	
Amazônia	92,1	151,7	82,3	34,9	116,9	428,6	59
Cerrado - cenas amostradas	28,6	22,5	6,6	5,1	17,3	63,6	
Cerrado - demais cenas	60,1	44,7	11,1	10,5	34,1	125,1	
Cerrado	88,7	67,1	17,7	15,7	51,5	188,7	26
Mata Atlântica*	4,6	11,8	2,0	0,5	11,3	41,3	6
Caatinga - cenas amostradas	11,3	5,2	-	-	5,2	19,2	
Caatinga - demais cenas	12,6	4,7	-	-	4,7	17,3	
Caatinga	24,0	10,0	-	-	10,0	36,5	5
Pantanal	9,8	10,3	3,4	2,8	7,5	27,4	4
TOTAL	219,2	250,9	105,5	53,8	197,1	722,5	100

* Período 1990-1995.

A metodologia empregada permite apenas obter as emissões líquidas anuais médias no período estudado. Para avaliar, mesmo que de maneira aproximada, a variação das emissões anuais, utilizou-se as estimativas anuais do

desflorestamento bruto na Amazônia, obtidas pelo projeto PRODES, assumindo correlação perfeita entre esses valores e os valores de emissão líquida em todos os biomas. Os resultados são apresentados na Tabela 3.5.4.

Tabela 3.5.4 - Emissões líquidas por conversão de florestas e abandono de terras manejadas - 1990 a 1994

	1990	1991	1992	1993	1994	Varição 90/94
	Tg CO ₂					(%)
Desflorestamento bruto	882,5	711,2	880,9	951,9	951,9	8
Regeneração	189,4	152,6	189,0	204,3	204,3	8
Emissões líquidas	693,1	558,6	691,9	747,6	747,6	8

EMIÇÃO DE CO₂ POR CORTE SELETIVO DE MADEIRA

Além de atividades de desflorestamento por corte raso, há emissões resultantes do corte seletivo de madeira. As áreas afetadas pelo corte seletivo podem ser posteriormente objeto de corte raso, ou abandonadas, levando a uma regeneração natural e consequente reposição do estoque de carbono. O corte seletivo é desenvolvido de forma diferenciada na Amazônia, desde a exploração por empresas com boa infraestrutura, como em Paragominas, até exploração manual, como em Tailândia, ao longo da rodovia PA150. Uma avaliação das atividades de corte seletivo na Amazônia foi conduzida no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por Krug *et al.* (2001), utilizando imagens TM-Landsat 5 na escala 1:250.000, cobrindo todas as áreas afetadas por corte seletivo identificadas através de análise visual. A observação de todas as 229 imagens que cobrem a Amazônia brasileira levou à identificação de 26 de tais cenas, que apresentaram diferentes graus de intensidade de corte seletivo. Essas cenas foram observadas em cada ano do período entre 1988 e 1998, e apresentaram um incremento médio anual de 1.561 km², com desvio padrão de 713 km². Várias outras estimativas podem ser encontradas na literatura, com estimativas variando entre 3.000 e 19.000 km². São várias as justificativas para tal discrepância, entre elas o fato de alguns autores basearem suas estimativas em inferências não objetivas, como as fornecidas por imagens de satélite; hipóteses sobre o tempo de permanência de cicatrizes de corte seletivo em imagens; hipóteses sobre uma área *buffer* adicional à área de corte seletivo identificada nas imagens de satélite, para considerar os danos resultantes do corte, entre outros. Considerando que as imagens de satélite apresentam limitações na identificação de áreas de corte seletivo de baixa intensidade, a área identificada em Krug *et al.* (2001) foi ampliada 2,5 vezes. Atualmente, pesquisas têm sido realizadas para diminuir as incertezas das estimativas da área afetada por corte seletivo geradas a partir da análise de imagens orbitais. Esses dados, apesar das incertezas associadas, permitem monitorar regularmente uma área tão ampla como a Amazônia, que compreende 3.500.000 km² de área de floresta primária. Adotou-se a estimativa de 4.000 km² anuais de corte seletivo, para fins de se estimar as emissões de CO₂ decorrentes desta atividade. Vários experimentos têm sido conduzidos na Amazônia brasileira, no âmbito do Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA), para estimar os fluxos de gases em áreas de corte seletivo. Esses fluxos são distintos em diferentes áreas de corte seletivo, dependendo, em particular, da intensidade do corte seletivo. Assim, idealmente, essas áreas deveriam ser estratificadas por classes de intensidade de corte. Apesar desta estratificação não ter sido feita, utilizou-se os dados do estudo de Krug *et al.* (2002) que indicou que 15% das áreas de corte seletivo no período de 1988 a 1998 foram posteriormente desflorestadas e 38% estavam em estágio avançado de regeneração (resposta espectral nas imagens Landsat semelhante à da floresta primária). O restante das áreas (47%) ainda apresentava cicatrizes de corte seletivo nas imagens. As emissões de CO₂ nas áreas de corte seletivo posteriormente desflorestadas não foram contabilizadas, uma vez que são incorporadas no projeto PRODES, no tempo apropriado. Segundo Fearnside (1994), no uso de estimativas de biomassa em cálculos de emissões de gases de efeito estufa, deve-se tomar cuidado para evitar a dupla contagem do carbono afetado pela exploração madeireira. Isto ocorreria se a biomassa da floresta pré-exploração fosse utilizada em um cálculo que computasse as emissões de carbono através da exploração madeireira, quando o mesmo valor para biomassa fosse usado para emissões do desmatamento. Desta forma, estaria se contabilizando o mesmo carbono duas vezes: quando as florestas são derrubadas, e quando os produtos da exploração madeireira se decompõem. As emissões nas áreas de corte seletivo, abandonadas para regeneração, também não foram contabilizadas por se admitir que o CO₂ emitido é reincorporado durante o processo de regeneração. Admitiu-se que os restantes 47% sofreram intensidade média de exploração. Segundo Uhl *et al.* (1991), um dano considerável ocorre durante o processo de corte. A maior parte deste dano (55%) se concentra nas aberturas de copa que resultam do processo de queda das árvores. Os resultados ilustram que há uma ampla regeneração natural de espécies madeireiras após o corte seletivo, devido à abundância de luz e nutrientes, na forma de material em decomposição, em tais áreas. Entretanto, as espécies mais abundantes na regeneração não são necessariamente as mesmas extraídas durante a atividade de corte. As emissões líquidas de CO₂ resultantes do corte seletivo dependem da intensidade da exploração. Não há dados confiáveis na literatura para representar esta heterogeneidade, a não ser os dados preliminares resultantes do Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera da Amazônia, baseado em dados coletados em torre instalada em área de corte seletivo de baixa intensidade. Para esta área, os resultados preliminares indicam uma emissão anual líquida de 2 tC/ha. Indicam também que os impactos da atividade de corte seletivo são maiores no ano do corte e se diluem nos anos seguintes. Com base neste resultado, e por falta de dados observacionais em áreas de intensidade média de exploração, admitiu-se uma emissão líquida de 10 tC/ha, e impacto diluído ao longo dos 3 anos subsequente ao corte, com emissão líquida de 1 tC/ha. A utilização dessas hipóteses conduz a uma estimativa anual de emissão por corte seletivo de madeira de 2,4 Tg de carbono. Em função da necessidade de aprofundamento dessa análise, o presente Inventário não inclui uma estimativa de emissão de CO₂ por corte seletivo de madeira.



3.5.2.2 Emissões de outros Gases de Efeito Estufa por Queima na Área de Desflorestamento

A metodologia utilizada para estimativa das emissões de CO₂ considera a emissão imediata de todo o carbono da biomassa existente na área desflorestada, independente do seu destino. Para a estimativa das emissões de outros gases de efeito estufa deve-se considerar apenas a parcela de biomassa que é realmente queimada na área.

Para isso, deve ser descontada do total de biomassa deflorestada a madeira utilizada para fins comerciais (móveis e construção) e a lenha destinada à geração de energia em outros locais. A emissão de gases de efeito estufa não-CO₂ pela combustão de lenha fora da área de desflorestamento já é estimada no setor Energia (item 3.1.2.2).

Para estimar a quantidade de madeira retirada para usos comerciais, exceto a usada como lenha, foram utilizadas as estatísticas do IBGE. Trabalho elaborado para estimar a porcentagem de madeira retirada (RODRIGUES *et al.*, 2004), mostra uma grande variação em função da área estudada, obtendo um valor médio de 4% do total de biomassa contida na área desflorestada. Esse valor é considerado subestimado por apenas considerar a madeira comercializada com registro. Com base em comunicação pessoal com especialistas do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) adotou-se o valor total de 6% para a quantidade de madeira retirada.

Para a estimativa da parcela de biomassa desflorestada utilizada como lenha, foram utilizadas as informações contidas no Balanço Energético Nacional (MME, 1998) sobre o consumo de lenha nos diversos setores, inclusive para produção de carvão vegetal. Os valores estimados para consumo de lenha incluem tanto lenha originada de florestas nativas quanto lenha de áreas de reflorestamento. Adotou-se o critério de que toda a lenha provém de florestas nativas exceto para a utilizada no setor industrial e para a utilizada nas carvoarias. Para quase todos os setores industriais considerou-se que 50% da lenha provém de florestas nativas e o restante, de reflorestamentos. Para os setores de papel e celulose, cimento e metalurgia adotou-se o critério de que toda lenha provém de reflorestamentos. Para as carvoarias adotou-se uma composição variável no tempo, de acordo com informação de consumo de carvão vegetal proveniente de reflorestamento (Parte III, Tabela 1.8.1). Essa análise conduziu a uma estimativa de que 9% do total de biomassa contida na área desflorestada foi utilizada como lenha.

Para a estimativa da emissão dos gases CH₄, N₂O, CO e NO_x foi utilizada a metodologia do IPCC. Para a fração de biomassa efetivamente queimada (eficiência de combustão) adotou-se o valor 0,5 (CARVALHO *et al.*, 2001). Adotou-se os valores *default* do IPCC para fatores de emissão e relação N/C.

A Tabela 3.5.5 apresenta o resultado das emissões desses gases para o período 1988-1994.

Tabela 3.5.5 - Emissões de gases de efeito estufa não-CO₂ por queima de biomassa nas áreas de conversão de florestas - 1990 a 1994

Gás	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(Gg)					(%)
CH ₄	1.615	1.283	1.638	1.793	1.805	12
N ₂ O	11,1	8,8	11,3	12,3	12,4	12
CO	14.132	11.230	14.331	15.693	15.797	12
NO _x	401	319	407	446	449	12

3.5.3 Emissões e Remoções de CO₂ pelos Solos

As emissões líquidas de CO₂ pelos solos estão associadas, principalmente, às mudanças na quantidade de carbono neles estocado. A liberação de CO₂ também pode ser proveniente de fontes inorgânicas como os calcários aplicados ao solo para melhorar a sua fertilidade. Em ecossistemas nativos, o clima e as condições do solo são os determinantes primários do balanço de carbono, porque controlam as taxas de produção e decomposição. Entretanto, em sistemas agrícolas, o tipo de uso e o manejo dos solos atuam modificando tanto a entrada de matéria orgânica como a taxa de decomposição, através da produção de resíduos, da seleção de cultivares, da fertilização, dos procedimentos de colheita, dos métodos de preparo do solo e do manejo dos resíduos.

Invariavelmente, a derrubada da vegetação nativa seguida de cultivo leva à redução do conteúdo de carbono do solo (DETWILLER, 1986; BROWN & LUGO, 1990; SCHLESINGER, 1986). Diversas revisões de literatura mencionam perdas entre 20% a 40% ou mais (DETWILLER, 1986; SCHLESINGER, 1986). Contudo, exceções à regra ocorrem, como nos casos de pastagens bem manejadas, onde o estoque de carbono pode chegar a níveis iguais ou até superiores aos encontrados sob vegetação nativa (NEPSTAD *et al.*, 1991; CERRI *et al.*, 1991; MORAES *et al.*, 1995; e NEILL *et al.*, 1997). Entretanto, essas condições não são encontradas no Brasil, onde se estima que mais de 50% das pastagens estejam degradadas ou em declínio acentuado de produtividade (MACEDO, 1995; SPAIN *et al.*, 1996; FEARNside e BARBOSA, 1998; VEIGA e SERRÃO, 1987).

A metodologia utilizada para estimar as emissões e remoções de CO₂ pelos solos por mudanças de uso da terra segue as diretrizes gerais do IPCC (IPCC, 1997), sendo considerados os seguintes processos: i) emissões e remoções de CO₂ provenientes dos solos minerais em razão das mudanças de uso da terra e práticas de manejo; ii) emissões de CO₂ decorrentes da reação de neutralização de calcários utilizados na agricultura; iii) emissões de CO₂ por uso de solos orgânicos pela rápida oxidação de matéria orgânica. A Tabela 3.5.6 apresenta as estimativas de emissões e remoções para cada um dos processos.

Tabela 3.5.6 - Emissões e remoções de CO₂ pelos solos - 1990 a 1994

Subsetor	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90 - 94
	(Gg CO ₂)					
Mudança no uso da terra e práticas de manejo	93.259	83.887	74.514	65.142	55.769	-40
Uso de calcário	5.103	4.719	6.780	8.650	8.991	76
Solos orgânicos	11.871	12.168	12.041	11.686	10.853	-9
TOTAL	110.233	100.744	93.335	85.478	75.613	-31

3.5.3.1 Emissões e remoções de CO₂ dos solos minerais por mudança do uso da terra e práticas de manejo

Para se estimar as emissões de CO₂ provenientes dos solos causadas por mudanças de uso da terra, são necessárias duas fontes de dados: i) os estoques de carbono representativo de solo (estoque sob condição de floresta primária); ii) as mudanças de uso da terra ocorridas em um período de 20 anos. Em virtude da indisponibilidade de dados sobre estoques de carbono representativos, estes tiveram de ser estimados.

Estimativa do estoque original de carbono de solos sob vegetação nativa

A metodologia para estimar os estoques de carbono representativos baseou-se nas seguintes etapas: 1) elaboração do mapa de Associações Solo-Vegetação (ASV) para o Brasil; 2) organização de uma base de dados contendo os perfis de solos, reunindo informações como concentração de carbono, tipo de solo e vegetação nativa; 3) cálculo dos estoques individuais de carbono (perfil a perfil); 4) estimativa dos valores representativos de carbono de solo sob vegetação nativa para cada categoria ASV.

O mapa de ASV, baseado na hipótese de que existe uma relação direta entre clima, vegetação e estoque de carbono nos solos, é uma adaptação da metodologia proposta pelo IPCC (1997), que prevê um mapa de associações solo-clima.

Esse mapa de associações solo-vegetação foi elaborado em três etapas: i) estratificação do mapa original de solos em seis grandes grupos de solos, de acordo com algumas características recomendadas pelo IPCC (1997), como o tipo de argila (de atividade alta ou baixa), textura e drenagem dos solos;

ii) estratificação do mapa de vegetação do Brasil em 15 grandes classes, de acordo com a tipologia da vegetação e/ou a localização geográfica; iii) combinação dos mapas de solo e de vegetação, resultando em 75 classes (das 90 possíveis).

A organização da base de dados de perfis de solos foi elaborada usando informação já publicada em inventários nacionais e regionais. A maior parte das informações sobre perfis de solos originou-se do projeto RADAMBRASIL (MME, 1973-1983); (IBGE, 1986-1987) e das descrições de solos da

EMBRAPA em escala estadual (EMBRAPA/SNLCS, 1978-1980). As seguintes informações foram consideradas para cada perfil de solo: localização (coordenadas geográficas ou cidade correspondente), tipo de solo, tipo de vegetação ou uso, horizontes analisados, concentração de carbono (métodos do tipo Walkley-Black, WALKLEY e BLACK, 1934), densidade aparente do solo (DAP) e conteúdo de argila (método da pipeta - DAY, 1965). No total, 3.969 perfis de solos foram incorporados à base de dados.

Estimou-se o estoque de carbono representativo (ECR) de cada horizonte, através do produto das seguintes variáveis: densidade aparente dos solos (DAP); concentração de carbono; e espessura de cada horizonte pedogenético (i.e. A, B e C), até o limite de 30 cm de profundidade. Onde não havia registros de DAP, aplicaram-se os modelos desenvolvidos (BERNOUX *et al.*, 1998) para solos da Amazônia.

Os valores de ECR variaram entre 1,51 kg C/m² (Solos Arenosos sob vegetação de Estepe na região nordeste) e 41,8 kg C/ m² (Outros Solos, na Mata Atlântica). Mais de 75% da área de todas as categorias ASV obtiveram o ECR situado entre 3 e 6 kg C/m² e 41% entre 4 e 5 kg C/m².

O potencial de carbono na camada superior (0-30 cm) de solos sob vegetação nativa foi obtido através da combinação da tabela de ECR e do mapa das associações ASV. Os resultados indicam 36,4 ± 3,4 Pg de carbono originalmente armazenados em 8.456.931 km².

Os estoques originais estimados de carbono dos solos na camada de 0 a 30 cm de solo, para cada região, são apresentados na Tabela 3.5.7. Os valores variaram entre 31,7 t C/ha (região Nordeste) e 60,5 t C/ha (região Sul).

Tabela 3.5.7 - Estoque de carbono representativo (ECR) no solo para a camada superior de 30 cm

Região	Área total	Área de uso da terra	Carbono total (0-30 cm) ¹	ECR
	(km ²)	(km ²)	(Tg C)	(t C/ha)
Norte	3.869.638	3.822.534	17.789	46,5
Nordeste	1.561.178	1.540.743	4.886	31,7
Sudeste	927.297	923.105	3.725	40,4
Sul	577.214	559.661	3.388	60,5
Centro-Oeste	1.612.077	1.610.888	6.591	40,9
BRASIL	8.547.404	8.456.931	36.378	43,0

Fontes: Cerri *et al.*, 2002. ¹Bernoux *et al.*, 2001.

Emissões de CO₂

As estimativas de emissões de CO₂ por mudanças de uso da terra, devido às alterações no estoque de carbono, foram feitas a partir da diferença observada em um período de 20 anos. O estoque de carbono em um determinado ano foi obtido através do produto do estoque de carbono representativo, pela área ocupada por cada classe de uso da terra e o fator de impacto.

O fator de impacto representa as alterações no estoque de carbono (na maioria das vezes, perdas) em função da



mudança de uso da terra e das práticas de manejo utilizadas, conforme a metodologia do IPCC (IPCC, 1997). O fator de impacto é obtido multiplicando-se o fator de base pelo fator de intensidade de cultivo e pelo fator nível de entrada. Resumidamente, o fator de base representa a perda de carbono em função da conversão de floresta para uso agrícola, o fator de intensidade de cultivo representa as perdas de carbono em função do manejo do solo (i.e. aração, gradagem) e o fator nível de entrada representa a quantidade de matéria orgânica que é incorporada aos solos. A Tabela 3.5.8 apresenta os coeficientes utilizados para os fatores de impacto.

Tabela 3.5.8 - Fatores usados para as diferentes categorias de uso da terra

Categoria de uso da terra ¹	Fator de base	Fator intensidade de cultivo	Fator nível de entrada	Fator de impacto
	(a)	(b)	(c)	(a x b x c)
Culturas ² : CP / CT / TD	0,6	0,9	0,8	0,432
Pastagens ³ : PN / PP	0,9	NA ⁴	NA	0,9
Florestas ⁵ : FN / FP	1,0	NA	NA	1,0
Outros ⁵ : NU / TI / OU	1,0	NA	NA	1,0

¹ Significado das abreviações: CP - cultura permanente; CT - cultura temporária; TD - terra em descanso; PN - pastagem natural; PP - pastagem plantada; FN - floresta nativa; FP - floresta plantada; NU - terra produtiva não utilizada; TI - terras impróprias para agricultura; OU - área não utilizada por estabelecimentos rurais;

² O fator intensidade de cultivo corresponde ao nível pleno (i.e. com aração e gradagem) e o fator nível de entrada a um nível baixo de entradas (i.e. manejo de solos sem incorporação de matéria orgânica);

³ Considerando 50% das pastagens não melhoradas (MACEDO, 1995; SPAIN *et al.*, 1996), com um fator base associado de 0,7, e 50% da pastagem melhorada, com fator de base de 1,1;

⁴ Não aplicável;

⁵ Valor básico de referência = 1,0.

As emissões anuais pelos solos por mudanças de uso da terra foram estimadas em 93,3 Tg CO₂ e 55,8 Tg CO₂ para o período de 20 anos terminado em 1990 e em 55,8 Tg CO₂ para o período terminado em 1994. A Tabela 3.5.9 apresenta os resultados por região.

Tabela 3.5.9 - Emissões médias de CO₂ por região - 1990 a 1994

Estado/região	1990	1991	1992	1993	1994
	(Gg CO ₂)				
Norte	22.517	21.721	20.925	20.129	19.332
Nordeste	21.433	19.507	17.582	15.657	13.731
Sudeste	6.749	4.672	2.595	517	-1.560
Sul	11.835	8.901	5.966	3.031	97
Centro-Oeste	30.725	29.086	27.447	25.808	24.169
BRASIL	93.259	83.887	74.514	65.142	55.769

Nota: valores positivos representam emissões líquidas de carbono e valores negativos, absorção.

3.5.3.2 Emissões por Uso de Calcário nos Solos

As emissões de CO₂ decorrentes do uso de calcário para combater a acidez de solos agrícolas podem ser estimadas a partir da composição e da quantidade aplicada anualmente no país (IPCC, 1997). As informações sobre as quantidades

de calcário agrícola comercializadas anualmente no Brasil, por estado, no período entre 1990 a 1994, foram fornecidas pela Associação Brasileira de Produtores de Calcário Agrícola - ABRACAL. Devido à falta de dados mais detalhados sobre a composição do calcário vendido no país, assumiu-se que o calcário consumido no país é composto basicamente de carbonato de cálcio. As emissões correspondentes foram obtidas usando-se o fator de emissão de 0,44 t CO₂/ t CaCO₃.

As emissões anuais decorrentes da utilização de calcário foram estimadas em 5,10 Tg CO₂ para o ano de 1990 e em 8,99 Tg CO₂ para o de 1994. A Tabela 3.5.10 apresenta os resultados por região.

Tabela 3.5.10 - Emissões anuais de CO₂ decorrentes da utilização de calcário na agricultura - 1990 a 1994

Estado/ Região	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90 - 94
	(Gg CO ₂)					(%)
Norte	0	0	0	3	3	-
Nordeste	81	97	210	257	505	520
Sudeste	1.666	1.795	2.301	2.654	3.097	86
Sul	2.255	1.428	2.570	3.186	3.243	44
Centro-Oeste	1.101	1.399	1.698	2.549	2.144	95
BRASIL	5.103	4.719	6.780	8.650	8.991	76

3.5.3.3 Emissões de CO₂ pelos Solos Orgânicos

A conversão de solos orgânicos para agricultura é normalmente acompanhada por drenagem artificial, cultivo e calagem, resultando em rápida oxidação de matéria orgânica e estabilização do solo. Por falta de informação específica para as condições brasileiras, foi utilizado o fator de emissão *default* do IPCC para sistemas tropicais, de 20 toneladas de carbono por hectare/ano, nas terras cultivadas. Foram consideradas apenas as áreas de várzea utilizadas para o cultivo de arroz, identificadas como as únicas onde ocorre a drenagem, condição necessária para a ocorrência de emissões de CO₂.

As emissões anuais de CO₂ decorrentes do cultivo de solos orgânicos foram estimadas em 11,9 Tg para o ano de 1990, e 10,9 Tg, para o ano de 1994. A Tabela 3.5.11 apresenta a área dos solos orgânicos cultivados e as emissões correspondentes de CO₂.

Tabela 3.5.11 - Emissões de CO₂ pelos solos orgânicos - 1990 a 1994

	1990	1991	1992	1993	1994
Solos orgânicos cultivados (ha)	161.883	165.922	164.191	159.361	147.998
Emissões de CO ₂ (Gg)	11.871	12.168	12.041	11.686	10.853

3.5.4 Emissões de Dióxido de Carbono e Metano pelos Reservatórios Hidrelétricos Brasileiros

A estimativa das emissões de CO₂ provenientes da biomassa alagada em reservatórios é incluída no presente inventário na estimativa de emissões de CO₂ por conversão de florestas relatada na item 3.5.2. As diretrizes metodológicas do IPCC, utilizadas neste Inventário, não contemplam a estimativa de emissões de CH₄ em reservatórios. No Brasil, excetuando-se os estudos da COPPE/UFRJ para a Eletrobrás e em 1992-1993 (nos reservatórios de Samuel, Tucuruí e Balbina), não havia registro de estudos científicos *in loco*, em que fossem utilizados procedimentos de amostragem sistematizada, sobre as emissões de gases de efeito estufa (tanto por ebulição quanto por difusão molecular). Um estudo específico, com medições de emissões em reservatórios, foi então realizado, visando o desenvolvimento de uma metodologia para estimar as emissões de metano em reservatórios de hidrelétricas no país, para ser aplicada no presente inventário. Em função da limitação de recursos, o número de reservatórios estudados teve que ser limitado.

Estabeleceu-se como critério para a escolha dos reservatórios, a seleção de parâmetros que pudessem explicar as variações nas medições dos gases. Dentre esses parâmetros, destacam-se: latitude geográfica; condições meteorológicas; idade do reservatório (tempo de fechamento); presença de atividades antrópicas; condições de conservação ambiental; e tempo de residência da água. Foram selecionados sete reservatórios localizados em várias latitudes, biomas diferentes e de diversas idades de enchimento do reservatório para avaliar as emissões. Foram feitas medições, em condições meteorológicas distintas, nos reservatórios de Miranda, Barra Bonita, Segredo, Três Marias, Xingó, Samuel e Tucuruí. Empregou-se aqui dados adicionais das medições realizadas nos reservatórios de Itaipu e de Serra da Mesa. Cabe destacar que as metodologias de medição empregadas em todos os casos foram essencialmente as mesmas.

As latitudes abrangidas vão de 2° S a 25° S e os tipos de vegetação compreendem a floresta equatorial úmida, a floresta subtropical, a Mata Atlântica, o cerrado e a caatinga (semi-árido), incluindo os principais ecossistemas brasileiros. As idades de inundação dos reservatórios hidrelétricos variam de um a vinte anos, o que confere boa representatividade temporal ao estudo. A Tabela 3.5.12 a seguir fornece uma descrição sucinta dos reservatórios pesquisados.

Tabela 3.5.12 - Sinopse da caracterização dos reservatórios hidrelétricos estudados e referenciados

Usina	Latitude	Bioma	Potência	Área do reservatório	Densidade de potência
			(MW)	(km ²)	(W/m ²)
Miranda	18°55' S	Cerrado	390	51	7,71
Três Marias	18°13' S	Cerrado	396	1.040	0,38
Barra Bonita	22°31' S	Mata Atlântica	141	312	0,45
Segredo	25°47' S	Mata Atlântica	1.260	82	15,37
Xingó	9°37' S	Caatinga	3.000	60	50,00
Samuel	8°45' S	Amazônia	216	559	0,39
Tucuruí	3°45' S	Amazônia	4.240	2.430	1,74
Serra da Mesa*	13°50' S	Cerrado	1.275	1.784	0,71
Itaipu*	25°26' S	Mata Atlântica	12.600	1.549	8,13

* Reservatórios estudados em campanhas paralelas às deste trabalho.
 FONTE: ANEEL, 2000.

As emissões de metano em cada um dos reservatórios selecionados, seja por bolhas seja pela troca por difusão entre água e atmosfera, foram avaliadas por amostragem, com subsequente extrapolação dos resultados para se obter um valor para o reservatório. Constatou-se uma grande variabilidade na intensidade das emissões, tendo sido identificada a influência de vários fatores entre os quais a temperatura, a profundidade no ponto de medição, o regime de ventos, a insolação, os parâmetros físico-químicos da água, a composição da biosfera e o regime de operação do reservatório. A Tabela 3.5.13 apresenta os valores das emissões encontradas em cada um dos reservatórios pesquisados.

Tabela 3.5.13 - Resumo das emissões de metano dos reservatórios hidrelétricos estudados e referenciados

Hidrelétrica	Ebulição	Difusão	Total
kg CH ₄ /km ² /dia			
Miranda	23,8	130,3	154,1
Três Marias	164,5	31,8	196,3
Barra Bonita	3,9	17,0	20,9
Segredo	1,8	7,0	8,8
Xingó	10,8	29,3	40,1
Samuel	16,5	87,6	104,1
Tucuruí	7,8	101,6	109,4
Serra da Mesa*			51,1
Itaipu*			20,8

* Valores medidos em outros estudos.



Uma constatação importante foi a baixa correlação apresentada entre as emissões e a idade do reservatório, o que pode estar associado ao fato de as emissões variarem não só em função da decomposição do estoque de biomassa terrestre preexistente, mas também em função da matéria orgânica proveniente de outras fontes, tais como as que provêm da drenagem a montante (i.e. carbono de biomassa, de solo, de esgoto e de águas residuais) e a que é produzida internamente no lago (i.e. produção de fitoplâncton). Esse fato dificulta a separação entre emissões antrópicas por alagamento dos reservatórios daquelas que ocorreriam na ausência da barragem. Devido a essas considerações, as incertezas quanto às emissões antrópicas medidas são elevadas e precisam ser melhoradas através do aprofundamento das pesquisas já desenvolvidas.

Por esses motivos não foi possível estimar as emissões antrópicas de CH_4 pelos reservatórios para este Inventário. Com base nas metodologias de medição desenvolvidas neste trabalho, e na experiência de análise dos resultados obtidos, um novo estudo está em andamento visando a obtenção de uma maior quantidade de medidas e diminuição da incerteza dos resultados. Também está prevista a realização de estudo de avaliação das emissões antes da construção de um reservatório, tendo sido selecionada a área da futura hidrelétrica de Belo Monte, para permitir a comparação com emissões a serem medidas após sua construção, com o objetivo de identificar o componente antrópico dessas emissões.

Em relação à comparação entre hidrelétricas e termelétricas, lembrando que os valores estimados para as hidrelétricas incluem emissões não totalmente antrópicas e há possivelmente dupla contagem de emissões de metano de esgotos, principalmente domésticos, lançados nos reservatórios, as hidrelétricas estudadas, de um modo geral, têm emissões associadas menores que termelétricas equivalentes. Hidrelétricas com maiores densidades de potência (potência/área alagada W/m^2), como Itaipu, Xingó, Segredo e Miranda, têm os melhores desempenhos, bem melhores do que termelétricas com a tecnologia mais moderna, a gás natural com ciclo combinado, com eficiência de 50%. Ao contrário, algumas hidrelétricas com baixa densidade de potência, como Samuel (e também Balbina estudada anteriormente), têm desempenhos pouco acima ou piores que termelétricas equivalentes.

Tratamento de Resíduos





3.6 Tratamento de Resíduos

A disposição de resíduos sólidos e o tratamento de esgotos domésticos ou industriais podem produzir emissões de gases de efeito estufa. Emissões de CH_4 ocorrem tanto devido a disposição de resíduos sólidos quanto ao tratamento anaeróbio de esgotos e águas residuárias. Emissões de N_2O também ocorrem devido ao tratamento de esgotos domésticos. A incineração de lixo, como toda combustão, provoca emissões de gases de efeito estufa, dependendo da composição dos resíduos, mas essa atividade é bastante reduzida no Brasil.

A metodologia proposta pelo IPCC (IPCC, 1997) conduz ao levantamento de dados estatísticos para a definição das características populacionais e do parque industrial do Brasil. É necessário conhecer o total da população urbana, além das condições de tratamento dos efluentes e de disposição de resíduos. Isso implica em determinar o volume gerado de resíduos, a concentração de matéria orgânica presente e os recursos de saneamento empregados naquele ano, como instalações de aterros ou lixões e estações de tratamento de esgotos com processos anaeróbios. Muitas dessas informações não estão disponíveis para todo o país e outras têm incertezas muito elevadas.

O Brasil tinha, em 1990, uma população de 150 milhões de pessoas, com densidade populacional de 17,6 hab/km². Essa densidade, porém, varia

muito entre as diversas regiões: Norte, com 5% da população, tinha 1,9 hab/km²; Nordeste, com 29%, 28,2 hab/km²; Sudeste, com 44%, 70,4 hab/km²; Sul, com 16%, 41,6 hab/km² e Centro-Oeste, com 6%, 5,9 hab/km².

O Brasil tem apresentado uma tendência à urbanização muito maior que a média mundial. Segundo o IBGE (1997), no período de 1991 a 1996, 78% da população vivia em áreas urbanas.

Essa tendência à urbanização afeta a escolha dos sistemas de tratamento e coleta de sólidos e águas residuárias. O aumento desordenado da população e o desenvolvimento de grandes núcleos urbanos sem planejamento dificultam as ações de manejo de resíduos.

3.6.1 Disposição de Resíduos Sólidos

Os depósitos de lixo, aterros e lixões geram CH_4 quando os resíduos encontram-se sob condições propícias. Essa geração varia de local para local, em função de fatores como quantidade de resíduos, idade do depósito, presença de ambiente anaeróbio, acidez e condições construtivas e de manejo. Quanto maiores as condições de controle dos aterros e profundidade dos lixões, que melhoram as suas condições sanitárias, maior, no entanto, o potencial de emissão de CH_4 .

De acordo com a metodologia do IPCC (IPCC, 1997) a emissão de CH_4 pode ser estimada a partir da população urbana do país, da taxa de geração de resíduos sólidos, da destinação desses resíduos e da sua composição.

A população urbana no período de 1990 a 1994 foi estimada com base nos censos nacionais de 1980, 1991, 1996 (IBGE, 1997a).

Estudos da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 1992), baseados em um grande número de municípios do estado de São Paulo, constataram que a geração diária por habitante de uma cidade varia entre 0,4 e 0,7 kg/hab conforme seu tamanho, com uma taxa diária média estimada em 0,5 kg/hab. Esse valor foi adotado

neste Inventário. Com base na Pesquisa Nacional de Amostras por Domicílio (IBGE, 1997b), estimou-se que 85% do resíduo sólido gerado era coletado.

A disposição e o tratamento de resíduos sólidos distribuíam-se da seguinte forma: 76% eram depositados em lixões a céu aberto, 22% em aterros sanitários e 2% tiveram outra destinação, como as usinas de compostagem e a incineração. De um modo geral, as condições dos locais de disposição de resíduos sólidos, no Brasil, são precárias e não existe um levantamento detalhado dessas condições, ou da composição média dos resíduos. Desta forma, neste Inventário foram adotados os valores *default* do IPCC para fator de correção do metano (0,6), para carbono orgânico degradável (0,12), fração de carbono orgânico degradável que realmente degrada (0,77) e fração de metano no gás de aterro (0,5).

As emissões de CH_4 por disposição de resíduos sólidos foram estimadas em 0,68 Tg em 1994, aumentando 10% em relação às emissões em 1990, como mostra a Tabela 3.6.1.

Tabela 3.6.1 - Emissões de CH_4 na disposição de resíduos sólidos - 1990 a 1994

	1990	1991	1992	1993	1994	Varição 90/94
População urbana (10 ⁶ habitantes)	107,8	111,0	113,3	115,7	118,1	10%
Emissão de CH_4 (Gg)	618	636	650	663	677	10%

3.6.2 Tratamento de Esgotos

Efluentes com um alto grau de conteúdo orgânico, como o esgoto doméstico e os efluentes da indústria de alimentos e bebidas e os da indústria de papel e celulose têm um grande potencial de emissões de CH_4 . Os esgotos domésticos são fontes, também, de emissões de N_2O , em função do conteúdo de nitrogênio na alimentação humana.

3.6.2.1 Esgotos Domésticos e Comerciais

Vários sistemas são utilizados para o tratamento de águas residuárias no Brasil. Apesar disso, uma grande quantidade de esgoto é despejada diretamente nos rios e oceano, sem tratamento. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 1992b), dos 4.425 municípios do país, 2.091 (47%) possuíam rede para coleta de esgoto e apenas 345 (8%) possuíam algum tipo de tratamento coletivo.

Dentre as várias opções coletivas para o tratamento biológico, as mais utilizadas no Brasil são as lagoas de estabilização e as diversas modificações do processo de lodos ativados, particularmente aquelas que empregam o conceito de aeração prolongada e filtros biológicos.

A emissão de CH_4 é estimada a partir da matéria orgânica presente nos efluentes, expressa em termos de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5), que representa a quantidade de oxigênio consumida por microorganismos em 5 dias na oxidação bioquímica da matéria orgânica.

Para geração de carga orgânica diária foi adotado o valor de 0,05 kg DBO_5 /hab. Levando-se em conta a avaliação da fração de esgotos tratada e o tipo de tratamento, foi considerado o fator de emissão de 0,02 kg CH_4 /kg DBO_5 .

As emissões de CH_4 devidas ao tratamento de esgotos domésticos e comerciais foram estimadas em 43 Gg em 1994, aumentando 10% em relação ao valor estimado para 1990, como pode ser observado na Tabela 3.6.2.

As emissões de N₂O foram estimadas a partir do consumo de proteína *per capita* em cada estado do Brasil, baseadas em estudo (GALEAZZI *et al.*, 1997), que identifica valores variando de 70,3 a 116,8 g/dia/pessoa, dependendo da região. Foram adotados os fatores *default* do IPCC para conteúdo de nitrogênio e posterior emissão de N₂O. Foram estimadas emissões de 12,3 Gg N₂O em 1994, com crescimento de 6% em relação a 1990.

Tabela 3.6.2 - Emissões por tratamento de esgoto doméstico e comercial - 1990 a 1994

Gás	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(Gg)					(%)
CH ₄	39,3	40,5	41,4	42,2	43,1	10
N ₂ O	11,6	11,8	11,9	12,1	12,3	6

3.6.2.2 Esgotos Industriais

Os efluentes da produção industrial de diferentes setores como alimentos, bebidas, química, metalúrgica, têxtil, couro e celulose têm sido tratados tradicionalmente através de lagoas ou pelos processos de lodos ativados e filtros biológicos. Nos últimos anos, no entanto, tem havido uma forte tendência de utilização de reatores anaeróbios devido à baixa necessidade de área dessa tecnologia, além de não consumir energia para aeração.

Para a estimativa das emissões de CH₄, foram utilizados dados da produção industrial e o fator de emissão de carga orgânica para cada um dos subsetores da indústria.

A Tabela 3.6.3 apresenta os valores estimados de carga orgânica gerada pelos setores que mais contribuem para as emissões por esgotos industriais.

Tabela 3.6.3 - Carga orgânica anual por setor da indústria

Setor	1990	1994
	(10 ³ t DBO ₅)	
Alimentos e bebidas	1.022	1.051
Papel e celulose	278	341
Petróleo / petroquímica	231	244
Têxtil	127	96
Curtume	61	65
Química	36	43
Outros	6	8
TOTAL	1.762	1.848

Fonte: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB.

Não tendo sido possível levantar informação sobre a fração de esgoto tratada e os fatores de emissão de metano para cada tipo de indústria, foram adotados os valores *default* do IPCC (IPCC, 1997).

As emissões devidas aos esgotos industriais foram estimadas em 83 Gg CH₄ em 1994, aumentando 5% em relação ao valor estimado para 1990, como mostra a Tabela 3.6.4.

Tabela 3.6.4 - Emissões por tratamento de esgoto industrial - 1990 a 1994

Gás	1990	1991	1992	1993	1994	Variação 90/94
	(Gg)					(%)
CH ₄	79,3	79,3	81,2	81,6	83,2	5



4 INCERTEZA DAS ESTIMATIVAS

Tabela 4.1.1 - Precisão das Estimativas de Emissão e Remoção de CO₂

As estimativas de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa, apresentadas neste Inventário, estão sujeitas a incertezas devidas a diversas causas, desde a imprecisão de dados básicos utilizados até o conhecimento incompleto dos processos que originam as emissões ou remoções de gases de efeito estufa.

O Guia de Boas Práticas na Elaboração de Inventários do IPCC (IPCC, 2000) reconhece que a incerteza das estimativas não pode ser totalmente eliminada e que o objetivo principal deve ser o de produzir estimativas que não sejam nem subestimadas nem sobreestimadas (estimativas acuradas), buscando, ao mesmo tempo e na medida do possível, aumentar a precisão das estimativas.

Seguindo essas recomendações, na geração das estimativas apresentadas neste Inventário, buscou-se assegurar que elas fossem não tendenciosas (sem viés). Para algumas atividades esse objetivo não pode ser totalmente alcançado, seja pela impossibilidade de estimar valores para alguns subsetores, seja pela inadequação de parâmetros *default* utilizados na ausência de valores apropriados às condições nacionais. Esses casos foram assinalados nos itens anteriores.

A precisão das estimativas variou dependendo das características de cada setor, dos dados disponíveis e dos recursos que puderam ser investidos na determinação de fatores de emissão mais adequados às circunstâncias brasileiras. Nesse sentido, ênfase foi dada aos setores mais relevantes em termos de emissões de gases de efeito estufa.

Neste Inventário, não foi possível fazer uma análise detalhada da incerteza das estimativas, uma vez que isso exigiria um esforço considerável de análise da acurácia e precisão das informações básicas utilizadas. Mesmo assim, uma avaliação geral da precisão do Inventário foi realizada com base no julgamento/conhecimento de especialistas nas áreas específicas. O objetivo foi apenas o de identificar os setores do Inventário onde maiores recursos deverão ser utilizados no futuro.

A precisão associada aos dados de atividade e aos fatores de emissão, assim como das estimativas de emissão ou remoção, são expressos na forma $\pm x \%$, significando os limites de um intervalo de confiança de 95% para o valor apresentado.

4.1 Incerteza das Estimativas de Emissões e Remoções de CO₂

A Tabela 4.1.1 apresenta os resultados da análise de incerteza para as estimativas de emissão e remoção de CO₂.

Setor	Incerteza
	(%)
Energia	5
Queima de Combustíveis Fósseis	5
Emissões Fugitivas	60
Mineração de Carvão	50
Extração e Transporte de Petróleo e Gás Natural	80
Processos Industriais	7
Produção de Cimento	10
Produção de Cal	20
Produção de Amônia	10
Produção de Alumínio	5
Outras Indústrias	10
Mudança no Uso da Terra e Florestas	39
Mudança em Estoques de Florestas e Biomassa	30
Conversão de Florestas para Outros Usos	30
Abandono de Terras Cultivadas	40
Emissões e Remoções pelos Solos	50
TOTAL	29

4.2 Incerteza das Estimativas de Emissões de CH₄

A Tabela 4.2.1 apresenta os resultados da análise de incerteza para as estimativas de emissão de CH₄.

Tabela 4.2.1 - Precisão das Estimativas de Emissão de CH₄

Setor	Incerteza
	(%)
Energia	28
Queima de Combustíveis	30
Emissões Fugitivas	64
Mineração de Carvão	80
Extração e Transporte de Petróleo e Gás Natural	100
Processos Industriais (Indústria Química)	10
Agropecuária	46
Fermentação Entérica	50
Manejo de Dejetos de Animais	60
Cultura de Arroz	50
Queima de Resíduos Agrícolas	50
Tratamento de Resíduos	51
Lixo	60
Esgoto	49
Industrial	70
Doméstico	50
TOTAL	41

4.3 Incerteza das Estimativas de Emissões de N₂O

A Tabela 4.3.1 apresenta os resultados da análise de incerteza para as estimativas de emissão de N₂O.

Tabela 4.3.1 - Precisão das Estimativas de Emissão de N₂O

Setor	Incerteza
	(%)
Energia (Queima de Combustíveis)	50
Processos Industriais (Indústria Química)	10
Agropecuária	57
Manejo de Dejetos de Animais	60
Solos Agrícolas	60
Animais em Pastagem	100
Outras Fontes Diretas	100
Emissões Indiretas	100
Queima de Resíduos Agrícolas	50
Tratamento de Resíduos (Tratamento de Esgoto Doméstico)	50
TOTAL	53



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIQUIM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA QUÍMICA, 1995. *Anuário da Indústria Química Brasileira* São Paulo.
- _____, 1997. *Anuário da Indústria Química Brasileira* São Paulo.
- ABRACAVE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTAS RENOVÁVEIS, 1996. *Anuário Estatístico*. Belo Horizonte.
- ABRAFE ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE FERROLIGAS E DE SILÍCIO METÁLICO, 1996. *Anuário Estatístico*.
- ALVES, D.S.; SOARES, J.V.; AMARAL, S.; MELLO, E.M.K.; ALMEIDA, S.A.S.; SILVA, O.F.; SILVEIRA, A.M., 1997. Biomass of primary and secondary vegetation in Rondônia, Western Brazilian Amazon, *Global Change Biology*, 3: p. 451-461.
- ANFAVEA.- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES, 1997. *Anuário Estatístico*. São Paulo.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, 2000. Banco de Dados Hidrelétricos. Brasília: MCT.
- ANFPC - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE PAPEL E CELULOSE, 1994. *Relatório Anual*, São Paulo.
- BERNOUX, M.; ARROUAYS, D.; VOLKOFF, B. et al., 1998. Bulk densities of Brazilian Amazon soils related to other soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62:743-749.
- BERNOUX, M.; CARVALHO, M.C.S.; VOLKOFF, B. et al., 2001 *Brazil's soil carbon stocks*. Submetido à Soil Science Society of America Journal.
- BROWN, S. e LUGO, A. E., 1990. *Effects of forest clearing and succession on the carbon and nitrogen contents of soil in Porto Rico and U.S. Virgin Islands*. *Plant and Soil*, v. 124, p. 53-64.
- CARVALHO Jr., J. A.; COSTA, F. S.; VERAS, C. A. G.; SANDBERG, D. V.; ALVARADO, E. C.; GIELOW, R.; SERRA Jr., A. M.; SANTOS, J. C., 2001. *Biomass fire consumption and carbon release rates of rainforest-clearing experiments conducted in Northern Mato Grosso, Brazil*.
- CARVALHO Jr., J.A.; SANTOS, J.M.; SANTOS, J.C.; LEITÃO, M.M.; HIGUCHI, N., 1995 A tropical rainforest clearing experiment by biomass burn in the Manaus region. *Atmospheric Environment*, 29(17): p. 2301-2309.
- CERRI, C.C.; VOLKOFF, B.; ANDRAUX, F., 1991. *Nature and behavior of organic matter in soils under natural forest, and after deforestation, burning and cultivation, near Manaus*. *Forest Ecology and Management*, v.38, p.247-257.
- CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; CARVALHO, M.C.S.; VOLKOFF, B., 2002. *Emissões e Remoções de Dióxido de Carbono pelos Solos e por Mudanças de Uso da Terra e Calagem*. Relatório de Referência, Ministério da Ciência e Tecnologia.
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA EM SANEAMENTO AMBIENTAL, 1992. *Programa de gerenciamento de resíduos sólidos domiciliares e de serviços de saúde*. Pró-Lixo. São Paulo.
- _____, 1994. *Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo*. São Paulo: Departamento de Tecnologia de Emissões de Veículos.
- CORINAIR - CORE INVENTORY AIR EMISSIONS, 1996. *Atmospheric Emission Inventory Guidebook - Solvent and Other Product Use*. Primeira Edição, EMEP - Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long Range Transmission of Air Pollutants in Europe.
- DAY, P. R., 1965. *Particle fractionation and particle-size analysis*. In: BLACK, C.A. et al. (Eds.). *Methods of soil analysis*. Part. 1. Agron. Monogr. 9, ASA, Madison, p. 545-567.
- DELITTI, W. B. C. e BURGER, D. M., 1997. Biomassa de florestas atlânticas. In: FUNCATE. *Primeiro relatório de atividades referente ao contrato PNUD/FUNCATE - Projeto BRA/95/G31*. Anexo II, p. 82-94.
- DELITTI, W. B. C.; MEGURO, M., 1997. Biomassa da vegetação lenhosa do cerrado. In: FUNCATE. *Primeiro relatório de atividades referente ao contrato PNUD/FUNCATE - Projeto BRA/95/G31*. Anexo II, p. 95-103.
- DETWILLER, R. P., 1986. *Land use change and the global carbon cycle: The role of tropical soils*. *Biogeochemistry* 2: p. 67-93.
- DNPM - DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, 1995. *Sumário Mineral*. Brasília: MME.
- _____, 1997. *Sumário Mineral*. Brasília: MME.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA e SNLCS - SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DOS SOLOS, 1978-1980. *Boletim Técnico nº 45, 53, 57, 62, 65-67, 72*. Rio de Janeiro.
- FARIA, J. A., 1997. *Levantamento de dados para avaliação das emissões de gases de efeito estufa devido às mudanças nos estoques de florestas*. Belo Horizonte: ABRACAVE.
- FEARNSIDE, P. M., 1994. Biomassa das Florestas Amazônicas Brasileiras. In: *Anais do Seminário Emissão x Sequestro de Carbono: Uma Nova Oportunidade para o Brasil*. Companhia do Vale do Rio Doce, Rio de Janeiro, p. 95-124.
- FEARNSIDE, P. M. e BARBOSA, R. I., 1998. *Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia*. *Forest Ecology and Management*, v. 108, p. 147-166.
- FUNCATE FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA, APLICAÇÕES E TECNOLOGIAS ESPACIAIS, 2004. *Emissões e Remoções de Dióxido de Carbono por Conversão de Florestas e Abandono de Terras Cultivadas*. Relatório de Referência. Brasília: MCT.
- GALEAZZI, M. A. M.; DOMENE, S. M. A.; SICHIERI, R., (Orgs.), 1997. *Estudo multicêntrico sobre consumo alimentar*. Cadernos de Debate: Revista do Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação. Campinas: NEPA, UNICAMP, v. especial, p. 1-62.
- GRUMAN, J. e LITEWSKI, R. M., 2002. *Uso de Solventes e Outros Produtos* In *Relatório de Referência Emissões de Gases de Efeito Estufa nos Processos Industriais e por Uso de Solventes*. Brasília, MCT.
- HIGUCHI, N., 2004. Above and belowground biomass allometry in the Brazilian Amazon. In: *Regional Amazon Forest Structure and Carbon Cycling Workshop*. New Orleans.
- HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; MINETTE, L.; BIOT, Y., 1998. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra firme da Amazônia brasileira. *Acta Amazonica*, 28(2): p. 153-166.
- HOUGHTON, R. A.; SKOLE, D. L.; NOBRE, C. A.; HACKLER, J. L.; LAWRENCE, K. T.; CHOMENTOWSKI, W. H., 2000. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. *Nature*, 403: p. 301-304.
- IBGE - FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 1990. *Pesquisa da Pecuária Municipal*. Rio de Janeiro.
- _____, 1991. *Pesquisa da Pecuária Municipal*. Rio de Janeiro.
- _____, 1992a. *Pesquisa da Pecuária Municipal*. Rio de Janeiro.
- _____, 1992b. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB 1989*. Rio de Janeiro.
- _____, 1993. *Pesquisa da Pecuária Municipal*. Rio de Janeiro.
- _____, 1994. *Pesquisa da Pecuária Municipal*. Rio

- de Janeiro.
- _____, 1996. *Censo Nacional*. Rio de Janeiro.
- _____, 1997a. *Brasil em Números*. Rio de Janeiro.
- _____, 1997b. *Pesquisa Nacional de Amostragem por Domicílio - PNAD*, 1993. Rio de Janeiro.
- IPCC/OECD/IEA - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT e INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 1997. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Bracknell.
- _____, 2000. *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*.
- IPCC/UNEP/OECD/IEA - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME, ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT e INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 1995. *Guidelines for the National Greenhouse Gas Inventories*. Bracknell.
- KRUG, T.; DOS SANTOS, J. R.; MEIRA FILHO, L. G., 2001. *Logging activities in the Brazilian Amazonia: a Multi-Temporal Analysis using Orbital Data*. Disponível a pedidos em thelma@dir.iaii.int. Trabalho apresentado na Conferência LBA I, Belém.
- _____, 2002. *Estimates of Area Affected by Selective Logging Using Satellite Data*. Comunicação pessoal.
- MACEDO, J., 1995. *Perspectives for the rational use for the Brazilian cerrados for food production*. Planaltina, DF: EMBRAPA/CPAC, 19 p.
- MEIRA FILHO, L.G., 2000. *Estimate of Above-Ground Carbon Stock in the Brazilian Amazon Forest*. Comunicação pessoal.
- MIRANDA, H. S.; ROCHA E SILVA, E. P.; MIRANDA, A. C., 1996. Comportamento do fogo em queimadas de campo sujo. In: MIRANDA, H. S.; SAITO, C. H.; DIAS, B. F. S. (Orgs.). *Impactos de Queimadas em Áreas de Cerrado e Restinga*. Brasília: ECL, UnB, p.1-10.
- MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. 1993. *Balanco de Energia Útil*. FDTE. Brasília.
- _____, 1998. *Balanco Energético Nacional 1998 Ano Base 1997*, Brasília.
- MORAES, J. L.; CERRI, C. C.; MELILLO, J. M. *et al.*, 1995. *Soil carbon stocks of the Brazilian Amazon basin*. Soil Sci. Soc. Am. J., 59: p. 244-247.
- NEILL, C.; MELILO, J.; STEUDLER, P. A.; CERRI, C. C.; MORAES, J. F. L; PICCOLO, M. C.; BRITO, M., 1997. *Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the southwestern Brazilian Amazon*. Ecological Applications, v. 7, n. 4, p.1216-1225.
- NEPSTAD, D. C.; UHL, C.; SERRÃO, A. E. S., 1991. *Recuperation of a degraded Amazonian landscape: forest recovery and agricultural restoration*. Ambio, v.20, p.248-255.
- PROJETO RADAMBRASIL, 1973-1983. *Levantamento de recursos naturais*. v. 1 a 31.
- RODRIGUES, R. L. V. e SCHAEFFER, R., 2004. *Reducing the Uncertainties from the Estimates of Non-CO₂ Gas Emissions from Forest Burning in the Brazilian Amazon Region*. Submetido para publicação.
- SAMPAIO, E. V. S. B., 1997 Avaliação das biomassa vegetais da caatinga do Nordeste do Brasil. In: FUNCATE. *Primeiro relatório de atividades referente ao contrato PNUD/FUNCATE - Projeto BRA/95/G31*. Anexo II, p. 104-136.
- SCHLESINGER, W. H., 1986. Changes in soil carbon storage and associated properties with disturbance and recovery. In: TRABALKA, J.R. e REICHLE (Eds). *The changing carbon cycle: a global analysis*. New York: Spring-Verlag, p.194-220.
- SILVA, L. F. F., 1999 *Biomassa de Manguezal da Floresta de Itacuruçá, Baía de Sepetiba*. Comunicação pessoal.
- Rio de Janeiro, março.
- SPAIN, J. M.; AYARZA, M. A; VILELA, L., 1996. Crop pasture rotations in the Brazilian cerrados. - In: PEREIRA, R. C. e NASSER, C. B. (Eds.). *International Symposium on tropical savannas*. Planaltina, DF: EMBRAPA/CPAC, p. 39-45.
- UHL, C.; VERÍSSIMO, A.; MATTOS, M. M.; BRANDINO, Z.; VIEIRA, I. C. G., 1991. *Social, economic, and ecological consequences of selective logging in an Amazon frontier: the case of Tailândia*. Forest Ecology and Management, 46, p. 243-273.
- VEIGA, J. B. e SERRÃO, E. E., 1987. *Recuperación de pasturas en la región este de la Amazônia Brasileira*. - *Pasturas Tropicales*, v.9, p.40-43.
- WALKLEY, A. e BLACK, J. A., 1934 *An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic titration method*. Soil Sci., 37: p. 29-38.