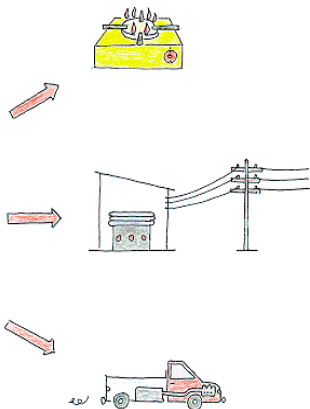
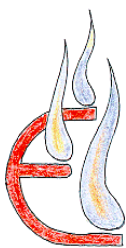




## **Inventário Nacional de Emissões de Metano pelo Manejo de Resíduos**

*Enabling Brazil to Fulfill Its Commitments to the United Nations Framework Convention on Climate Change*



### **Governo do Estado de São Paulo**

**Mário Covas** Governador

### **Secretaria do Meio Ambiente**

**Stela Goldstein** Secretário

### **CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental**

**Dráusio Barreto** Presidente

### **Diretoria de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia D**

**Dráusio Barreto** Diretor

### **Departamento de Desenvolvimento e Capacitação DD**

**Eng. João Antonio Romano**

### **Divisão de Questões Globais DDQ**

**Dra. Sonia Maria Manso Vieira**

### **Equipe Técnica – Divisão de Questões Globais**

**Eng. João Wagner Silva Alves** (joaoa@cetesb.sp.gov.br) Execução

**Dra. Sonia Maria Manso Vieira** Coordenação e Execução

### **Apoio**

Arnaldo Celso Augusto

Carmen Lúcia Vergueiro Midaglia

Marta Ferreira de Lima de Cano

Oswaldo dos Santos Lucon

Carlos Alberto Sequeira Paiva

Neuza Maria Maciel

Robinson Tadeu Gomes

Cibelle Marques Pedroza

Kleber Covas Martinez

**INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES DE METANO PELO MANEJO DE RESÍDUOS**

ENABLING BRAZIL TO FULFILL ITS COMMITMENTS TO THE UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE

Volume I

Relatório Final

**Julho de 1998**

## **Ficha catalográfica**

(preparada pelo setor de biblioteca da CETESB)

**A428i Alves, João Wagner Silva e Vieira, Sonia Maria Manso**  
**Inventário Nacional de emissões de metano pelo manejo de resíduos**  
**João Wagner Silva Alves e Sonia Maria Manso Vieira - São Paulo: CETESB, 1998.**  
**62p. 21cm x 29,1cm - (Project Activities Report Bra/95/G31: (Enabling Brazil to fulfill**  
**its commitments to the United Nations on Climate Change)**

---

1. Efeito estufa - inventário 2. Efeito estufa - metano 3. Resíduos sólidos 4. Efluentes 5. Esgotos 6. Meio ambiente - mudanças climáticas 7. Meio ambiente - desenvolvimento sustentável. I. Título II Série.

**CDD (18.ed.) 614.712**

**CDU (2.ed.med.port.) 614.72**

## **Apresentação**

O objetivo principal da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima, que foi assinada em junho de 1992, no Rio de Janeiro, durante a Eco-92, é o de estabilizar as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera a um nível que previna interferências antropogênicas danosas ao sistema climático.

Um dos primeiros compromissos assumidos pelos países signatários da Convenção consiste na elaboração das comunicações nacionais, que apresentarão, entre outros itens, seus respectivos inventários de emissões antropogênicas e dos sumidouros dos gases de efeito estufa.

Sob a coordenação do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), responsável pela implementação da Convenção no País, a CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, preparou e atualizará periodicamente o presente inventário nacional de emissões de gás metano associadas ao manejo de resíduos.

Esse trabalho é parte do projeto Bra/95/G31 - "Enabling Brazil to Fulfill its Commitments to the United Nations Conventions on Climate Change", financiado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), conforme contrato firmado entre PNUD e CETESB, e integra a Comunicação Nacional, a ser apresentada oportunamente à Conferência das Partes.

A participação da CETESB nessa elaboração é um exemplo do esforço nacional para bem cumprir os compromissos ambientais assumidos pelo Brasil.

**Diretoria de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia**



## Índice

1	Introdução .....	1
2	Fundamentos básicos .....	3
2.1	O efeito estufa .....	3
2.2	Os gases de efeito estufa (GEE) .....	4
2.3	Os ciclos da natureza .....	5
2.3.1	O ciclo do carbono .....	5
2.3.2	O ciclo das águas e o efeito estufa .....	6
2.4	O aumento das concentrações de GEE .....	7
2.5	Atividades que contribuem para o aumento das concentrações de GEE .....	7
2.6	Fontes de emissão de metano .....	8
2.7	Sumidouros de metano .....	9
3	Características regionais do Brasil .....	10
3.1	Demografia .....	10
3.2	Clima .....	11
4	Emissões de metano de resíduos sólidos e águas residuárias .....	12
4.1	A geração de metano por resíduos sólidos no Brasil .....	12
4.1.1	Algumas considerações sobre os processos de disposição e tratamento de resíduos sólidos (Definições) ..	12
4.2	A geração de metano por efluentes líquidos no Brasil .....	16
4.2.1	Algumas considerações sobre os processos de tratamento de águas residuárias (Definições) .....	18
5	Metodologia do inventário das emissões de metano .....	24
5.1	Emissões de metano dos locais de disposição de resíduos sólidos (LDRS) .....	24
5.2	Emissões de metano pelo tratamento de águas residuárias .....	24
5.2.1	Esgotos domésticos e comerciais .....	25
5.2.2	Águas residuárias industriais .....	25
6	Resultados .....	26
6.1	Emissões de metano pela disposição e tratamento de resíduos sólidos no Brasil .....	26
6.2	População urbana do Brasil (Pop) .....	28
6.2.1	Taxa de resíduos sólidos gerados por habitante .....	30
6.2.2	Fração de resíduos sólidos depositados em aterros ou lixões .....	37
6.2.3	Fator de correção de metano .....	39
6.2.4	Carbono orgânico degradável (COD) .....	41
6.2.5	Fração de carbono orgânico degradável que realmente degrada .....	45
6.2.6	Fração de metano no gás de aterro .....	45
6.2.7	Metano Recuperado .....	47
6.3	Emissões de metano oriundas do tratamento de águas residuárias .....	47
6.3.1	Emissões de metano pelo tratamento de esgotos domésticos e comerciais .....	47
6.3.2	Emissões de metano oriundas do tratamento de resíduos líquidos de origem industrial .....	56
7	Incertezas .....	75
8	Conclusão .....	77
9	Perspectivas futuras do aproveitamento energético do metano .....	78
9.1	Resíduos sólidos .....	78
9.2	Efluentes líquidos .....	79
10	Bibliografia .....	81





---

## 1 Introdução

A disposição e tratamento de resíduos municipais e industriais podem produzir emissões dos mais importantes gases que provocam o efeito estufa. Os resíduos sólidos podem ser descartados em aterros, em lixões, sofrer reciclagem ou incineração. Os resíduos líquidos podem receber várias formas de tratamento físico-químico ou biológico e dentre estes, aeróbio ou anaeróbio.

O gás mais importante produzido no tratamento de resíduos é o metano, que pode ser convertido em energia. Quantias significativas de emissões anuais de metano produzidas e liberadas à atmosfera são um produto secundário da decomposição anaeróbia de resíduos.

As duas maiores fontes deste tipo de produção de metano são os aterros de lixo e o tratamento anaeróbio (processo biológico sob presença insuficiente de oxigênio) de águas residuárias. Em cada caso, a matéria orgânica contida nos resíduos é decomposta pela ação de bactérias, sendo uma delas as metanogênicas, que produzem o biogás composto principalmente de metano e gás carbônico.

### Levantamento de dados bibliográficos e estatísticos

O inventário de emissões de metano, oriundas do tratamento de águas residuárias e da disposição de resíduos sólidos dos anos de 1990 e 1994, executado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), segue a metodologia recomendada pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual e Workbook nos capítulos referentes ao item Resíduos.

A metodologia proposta pelo IPCC 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.

---

O IPCC sugere ainda que na medida do possível sejam tomadas da literatura nacional informações técnicas locais como a geração específica de carga orgânica dos efluentes industriais em função de unidades de produtos, a eficiência de remoção de matéria orgânica de cada sistema empregado, as características de degradação dos aterros e de sistemas de tratamento de efluentes industriais, a geração potencial de biogás e as quantidades recuperadas.

Reside na qualidade destas informações a maior ou menor confiabilidade dos números aqui apresentados. Muitas das informações necessárias não estão disponíveis enquanto que outras têm incertezas muito elevadas.

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica viabilizando a estimativa das emissões de metano oriundas do tratamento de resíduos no Brasil nos anos de 1990 e 1994.

Os dados estatísticos oficiais de população foram obtidos a partir dos Censos Demográficos de 1980, 1991 e 1996 (FUNDAÇÃO IBGE, 1997).

Os dados a respeito da disposição de resíduos sólidos foram obtidos da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB 1989 (FUNDAÇÃO IBGE, 1992) e do Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Domiciliares e de Serviços de Saúde 'Pró-Lixo' (CETESB, 1992).

As informações a respeito da situação do tratamento de esgotos domésticos foram obtidas a partir da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) (FUNDAÇÃO IBGE, 1992), além dessa fonte, também foram consultados os Censos de 1991 e 1994 (FUNDAÇÃO IBGE, 1996).

As principais informações para a determinação das emissões de efluentes industriais foram obtidas do conjunto de relatórios 'Diagnóstico de poluição industrial' PRONACOP/CETESB realizados em 11 Estados do país (PRONACOP/CETESB, 1989), do sistema de licenças e penalidades (SILP) (CETESB, 1990) e do Anuário Estatístico Brasileiro dos anos de 1991 e 1994 (FUNDAÇÃO IBGE, 1993 e 1996).

Foram também utilizadas constantes de emissão de carga orgânica por unidade produzida de vários autores, destacando-se Salvador (SALVADOR, 1991) e CETESB (CETESB, sem data). Além disso, foram levantados dados de produção industrial nacional, obtidos junto aos órgãos patronais de cada setor de produção ou do Anuário Estatístico Brasileiro dos anos de 1990 e 1994. (FUNDAÇÃO IBGE, 1993 e 1996).

---

## 2 Fundamentos básicos

### 2.1 O efeito estufa

A longo prazo, a Terra deve irradiar energia para o espaço na mesma proporção em que a absorve do Sol, mantendo estáveis as condições climáticas como: temperatura, regimes de chuvas, nível do mar e as estações do ano. A energia solar chega na forma de radiação de ondas curtas. Parte dessa radiação é refletida e repelida pela superfície terrestre e pela atmosfera. A maior parte dela, contudo, passa diretamente pela atmosfera para aquecer a superfície terrestre. A Terra se livra dessa energia, mandando-a de volta para o espaço, na forma de irradiação infravermelha de ondas longas.

O efeito estufa (Figura 1) é causado por gases na atmosfera, principalmente vapor d'água e dióxido de carbono, que permitem à radiação solar de ondas curtas atingir a superfície do planeta, enquanto absorvem uma grande quantidade de ondas longas irradiadas da Terra e da atmosfera. Devido à capacidade destes gases funcionarem de maneira semelhante a uma estufa de calor, a temperatura próxima à superfície da Terra é cerca de 30°C superior à que seria sem este efeito, chamado de estufa natural.

Como consequência do aumento na concentração de gases devido a atividades humanas (poluição antropogênica), cientistas esperam que o efeito estufa se intensifique, com consequente aumento nas temperaturas.

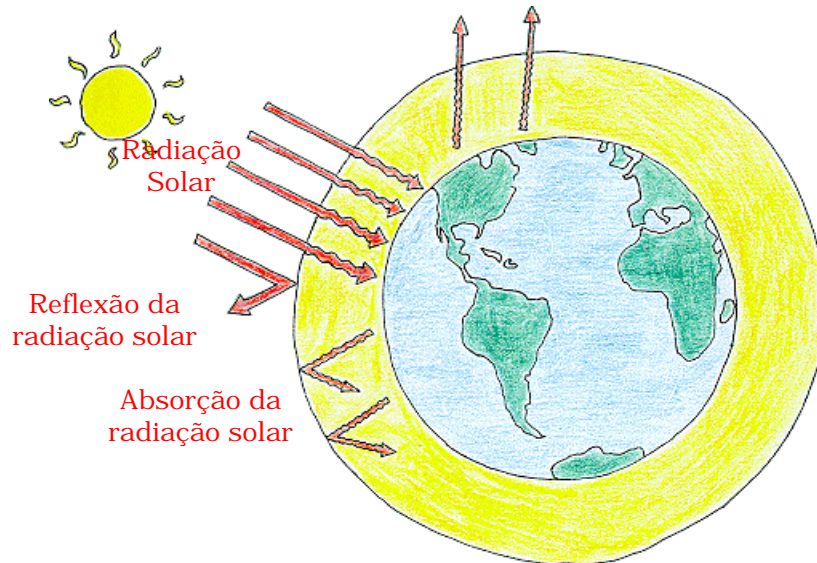


Figura 1 O efeito estufa

## 2.2 Os gases de efeito estufa (GEE)

Gases que possuem um papel maior neste processo, os chamados gases de efeito estufa (GEE, ou, em inglês, 'greenhouse gases' - GHG), são o vapor d'água ( $H_2O$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), monóxido de carbono ( $CO$ ), metano ( $CH_4$ ), óxido nitroso ( $N_2O$ ), ozônio ( $O_3$ ) e clorofluorcarbonos (CFC's). Os GEE representam menos de um milionésimo da atmosfera total.

Quase todos esses gases têm origem na natureza, quer seja pela respiração, pela digestão anaeróbia, incêndios naturais, etc. Os CFC's foram desenvolvidos sinteticamente pelo homem neste século.

Ao todo existem mais de setenta GEE, enumerados na Tabela 1, com suas fórmulas químicas, tempo de vida e potencial de aquecimento global.

**Tabela 1 Os Gases de Efeito Estufa**

Espécies	Fórmula química	Tempo de vida (anos)	Potencial de aquecimento global (horizonte de tempo)		
			20 anos	100 anos	500 anos
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	Variável	1	1	1
Metano	CH <sub>4</sub>	12±3	56	21	6,5
Óxido Nitroso	N <sub>2</sub> O	120	280	310	170
Ozônio	O <sub>3</sub>	0,1 - 0,3	n.d.	n.d.	n.d.
HFC-23	CHF <sub>3</sub>	264	9.100	11.700	9.800
HFC-32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	5,6	2.100	650	200
HFC-41	CH <sub>3</sub> F	3,7	490	150	45
HFC-43-10mee	C <sub>5</sub> H <sub>2</sub> F <sub>10</sub>	17,1	3.000	1.300	400
HFC-125	C <sub>2</sub> HF <sub>5</sub>	32,6	4.600	2.800	920
HFC-134	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> F <sub>4</sub>	10,6	2.900	1.000	310
HFC-134 <sup>a</sup>	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	14,6	3.400	1.300	420
HFC-152 <sup>a</sup>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> F <sub>2</sub>	1,5	460	140	42
HFC-143	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> F <sub>3</sub>	3,8	1.000	300	94
HFC-143 <sup>a</sup>	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> F <sub>3</sub>	48,3	5.000	3.800	1.400
HFC-227ea	C <sub>3</sub> HF <sub>7</sub>	36,5	4.300	2.900	950
HFC-236fa	C <sub>3</sub> H <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	209	5.100	6.300	4.700
HFC-145ca	C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> F <sub>5</sub>	6,6	1.800	560	170
Hexafluorido de Enxofre	SF <sub>6</sub>	3200	16.300	23.900	34.900
Perfluorometano	CF <sub>4</sub>	50.000	4.400	6.500	10.000
Perfluoroetano	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	10.000	6.200	9.200	14.000
Perfluoropropano	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	2.600	4.800	7.000	10.100
Perfluorociclobutano	c-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	3.200	6.000	8.700	12.700
Perfluoropentano	C <sub>5</sub> F <sub>12</sub>	4.100	5.100	7.500	11.000
Perfluorohexano	C <sub>6</sub> F <sub>14</sub>	3.200	5.000	7.400	10.700

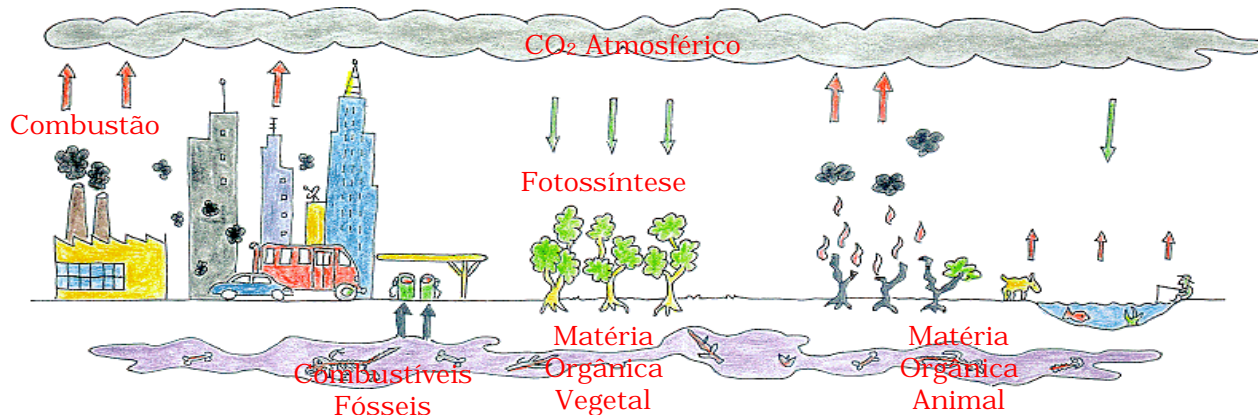
Fonte: IPCC, 1996

## 2.3 Os ciclos da natureza

### 2.3.1 O ciclo do carbono

O ciclo do carbono (Figura 2) representa as diversas formas em que este elemento é encontrado na natureza, suas conversões e a dinâmica natural envolvida nessas transformações. Os reservatórios subterrâneos de petróleo, as florestas e a atmosfera são importantes reservatórios de CO<sub>2</sub>.

O uso intensivo pelo homem de combustíveis fósseis e o desmatamento acelerado têm deslocado esse carbono para a camada atmosférica na forma de gás. Estabelece-se, dessa forma, um desequilíbrio, uma vez que a natureza não retira esse carbono da atmosfera com a mesma velocidade com que o homem o emite.



**Figura 2** O ciclo do carbono

### 2.3.2 O ciclo das águas e o efeito estufa



**Figura 3** O ciclo da água

O ciclo das águas (Figura 3), por sua vez é a representação mais diretamente ligada ao clima; a evaporação das águas e sua precipitação determinam as enchentes e as secas.

O desequilíbrio no ciclo das águas será o mais observável efeito das mudanças climáticas. Diversos processos naturais e atividades humanas dependem de fluxos de

água doce da Terra. Com o aumento das temperaturas no planeta ocorrerá o derretimento de camadas de gelo e a expansão térmica das águas. É então prevista uma elevação do nível do mar no próximo século, afetando zonas costeiras.

## 2.4 O aumento das concentrações de GEE

O incremento na concentração do dióxido de carbono, do metano, do óxido nitroso e dos clorofluorcarbonos responde por cerca de 90% do aumento do efeito estufa ocorrido até hoje. Esta elevação deve-se ao crescimento da atividade humana, principalmente após a Revolução Industrial (Figura 4). Mantidas as expectativas de desenvolvimento de países do Terceiro Mundo, espera-se um aumento ainda maior dessas concentrações.

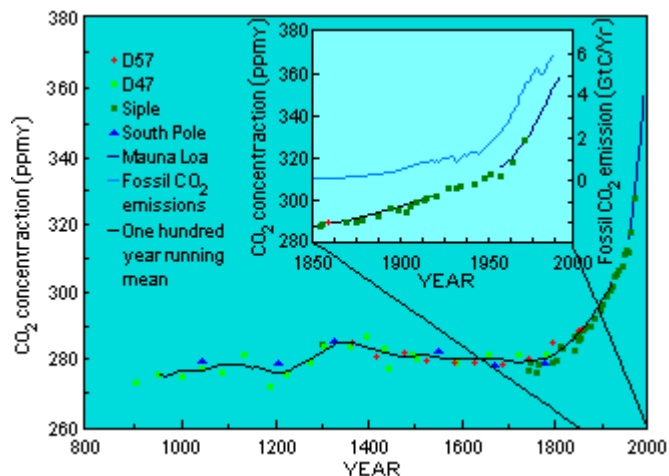
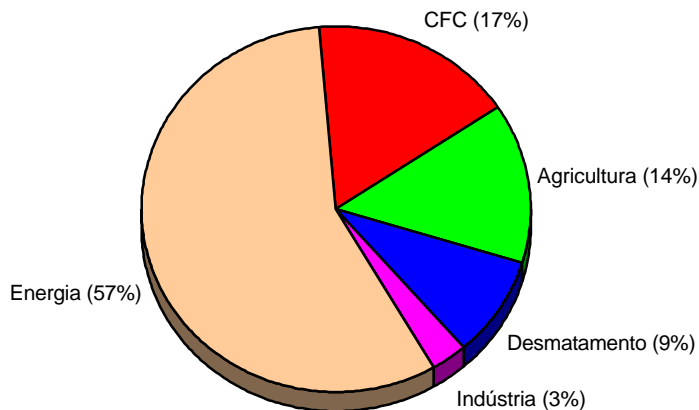


Figura 4 Evolução da concentração de dióxido de carbono, ao longo do tempo (IPCC, 1995a)

## 2.5 Atividades que contribuem para o aumento das concentrações de GEE

Praticamente toda atividade humana gera impacto ambiental. A Figura 5 representa a distribuição relativa das atividades que contribuem para o aumento do efeito estufa. Por fundamentar-se no consumo de combustíveis fósseis, a necessidade de geração de energia é a atividade humana que mais contribui para emissão de GEE.



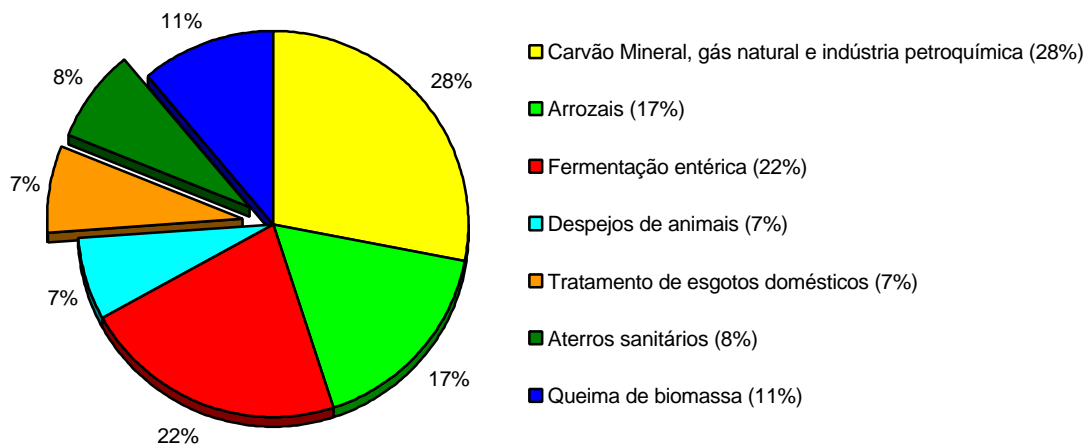
**Figura 5 Atividades que contribuem para o aumento do efeito estufa (GOLDEMBERG, 1995)**

## **2.6 Fontes de emissão de metano**

O metano é um gás combustível produzido basicamente por fontes antropogênicas e naturais. Dentre as fontes antropogênicas, aquelas que podem ser controladas ou influenciadas pelo homem, as principais, em quantidades emitidas, são as plantações de arroz, a fermentação entérica, a queima de biomassa, o manejo de resíduos, o uso de combustíveis fósseis e as perdas de gás natural. O manejo de resíduos inclui, como fontes principais de emissão de metano, o tratamento de efluentes e a disposição de resíduos sólidos em aterros sanitários. Como fontes naturais pode-se citar os pântanos, oceanos, águas doces e os cupins.

A concentração de metano na atmosfera tem aumentado nas últimas décadas, provavelmente por variações nas fontes ou nos sumidouros. As emissões devido às fontes naturais têm se mantido razoavelmente constantes, enquanto que as antropogênicas têm aumentado. A Figura 6 apresenta as principais fontes antropogênicas de metano e suas contribuições.





**Figura 6 Fontes antropogênicas de metano (IPCC, 1995a)**

## 2.7 Sumidouros de metano

A remoção de metano na troposfera ocorre por três processos. O principal deles tem início com a oxidação do metano por radicais hidroxila (-OH), ocorrendo eventualmente transformação em monóxido e dióxido de carbono. A concentração de  $\text{NO}_x$  influencia fortemente os passos da reação.

Outras formas de remoção de metano da troposfera ocorrem por captura dos solos e das águas (oxidação por microorganismos) e pelo transporte para a estratosfera, onde este gás é uma fonte importante de vapor d'água (LEXMOND & ZEEMAN, 1995 citando Bengemer & Crutzen, 1987).

A redução do metano emitido para a atmosfera pode ser conseguida pela sua queima. Isto pode ser feito somente pela sua simples combustão com o único objetivo de prevenir sua emissão. Mas pode-se também recuperar o metano como fonte de energia evitando-se assim a queima de quantidade equivalente de combustível fóssil. Em ambos os casos gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) é formado.

---

### 3 Características regionais do Brasil

A República Federativa do Brasil é composta de 26 Estados e 1 Distrito Federal (a capital, Brasília). O país é dividido em 5 regiões geográficas, com diferentes características:

- **Região Norte:** Amazonas, Pará, Acre, Rondônia, Amapá e Roraima;
- **Região Nordeste:** Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia;
- **Região Centro-Oeste:** Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Tocantins e Distrito Federal;
- **Região Sudeste:** Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro e São Paulo; e
- **Região Sul:** Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

#### 3.1 Demografia

O Brasil é o quinto maior país do mundo com cerca de 8.500.000 km<sup>2</sup> de extensão. Em 1990 sua população era de 150 milhões, ou seja, cerca de 2,9% da população mundial. Isto representa uma densidade de populacional de 17,6 habitantes/km<sup>2</sup>. Apesar deste valor ser relativamente baixo, a maioria das pessoas está concentrada especialmente na região sudeste, onde se localizam as duas maiores cidades do país, São Paulo e Rio de Janeiro. A distribuição da população por região é: região norte 7.350.000 habitantes ou 4,9%; região nordeste 43.950.000 habitantes ou 29,3%; região sudeste 65.250.000 habitantes ou 43,5%; região sul 24.000.000 habitantes ou 16% e região Centro-Oeste, 9.450.000 habitantes ou 6,3%.

Além das diversidades regionais verifica-se uma grande tendência de urbanização em todo o país o que aumenta as evidências de contrastes sociais, culturais e econômicos. No Brasil segundo o IBGE(1997), no período de 1991 a 1996, 78% da população vivia em áreas urbanas. Existe uma diferença marcante no nível econômico, e na situação de saneamento entre os centros urbanos, a periferia e as áreas rurais. O Brasil tem apresentado uma tendência à urbanização muito maior que a média mundial.

Esta tendência à urbanização afeta a escolha dos sistemas de tratamento e coleta de sólidos e águas residuárias. Em grandes cidades, existe dificuldade em encontrar áreas

---

suficientes para sistemas de tratamento. Em termos de coleta de esgotos, as áreas da periferia urbana apresentam dificuldades na implementação de sistemas de esgotos convencionais. De modo geral, tanto médias quanto grandes cidades apresentam problemas relacionados à escassez de recursos. A disponibilidade de área não chega a ser um problema para cidades de pequeno e médio porte, mas existem os problemas de infra estrutura, de operação e manutenção dos sistemas.

### **3.2 Clima**

Também o clima do país apresenta variação importante para as diversas regiões. Na região Norte, o clima é quente com temperatura do ar na faixa de 25 a 40°C. A média anual de umidade relativa do ar é entre 64 e 91%. Nesta região só existem duas estações: o inverno e o verão. Nela estão localizadas florestas e também cerca de 20% da água doce do planeta. A região Nordeste é semi-árida com temperatura variando entre 20 e 35°C. Existem áreas bastante secas em alguns Estados como no Piauí e Pernambuco. A região Centro Oeste apresenta clima tropical, quente e semi-úmido, caracterizado por chuvas intensas no verão e por meses secos no inverno. A temperatura varia de 15 a 35°C.

Na região Sudeste, a variação anual do clima é maior com temperaturas variando de 15 a 40°C. Na região Sul as temperaturas médias são mais baixas e não existe seca. Esta região é caracterizada por variações bruscas de temperatura na faixa de 13 a 40°C.

---

## 4 Emissões de metano de resíduos sólidos e águas residuárias

Na gama de poluentes resultantes das atividades humanas e incluídos como fontes de emissão de metano para fins do inventário em questão, estão os resíduos sólidos e as águas residuárias.

Grande quantidade de resíduos são gerados anualmente, resultante das atividades domésticas, comerciais e industriais.

### 4.1 A geração de metano por resíduos sólidos no Brasil

No Brasil, a geração de resíduos sólidos municipais está estimada em 54 mil toneladas por dia, com composição variável de acordo com a região. A geração por habitante de uma cidade brasileira varia entre 0,4 e 0,7kg/hab.dia. A disposição e tratamento no país se distribui da seguinte forma: 76% depositados em lixão a céu aberto, 3% em aterros controlados, 10% em aterros sanitários, 0,9% em usinas de compostagem e 0,1% incinerados (FUNDAÇÃO IBGE, 1992).

A variação de tipos e taxas de produção de resíduos sólidos no país está relacionada com a grande extensão territorial e com diferenças regionais, sociais e econômicas, que não permitem o estabelecimento de uma política nacional global de gerenciamento e dificultam a obtenção de dados estatísticos.

O crescimento demográfico, combinado com mudanças de hábitos, melhoria da qualidade de vida e desenvolvimento industrial, causam um aumento na quantidade gerada de resíduos e em suas características, com crescente participação percentual de embalagens e outros materiais inertes, agravando os problemas de disposição.

#### 4.1.1 *Algumas considerações sobre os processos de disposição e tratamento de resíduos sólidos (Definições)*

##### Lixões

Os lixões são vazadouros a céu aberto, onde o lixo é lançado sobre o terreno sem qualquer cuidado ou técnica especial.



**Figura 7 Lixão**

### Aterros controlados

Os aterros controlados são locais utilizados para o despejo do lixo coletado, com o simples cuidado de, após a jornada de trabalho, cobri-lo com uma camada de terra.



**Figura 8 Aterro controlado**

### Aterros sanitários

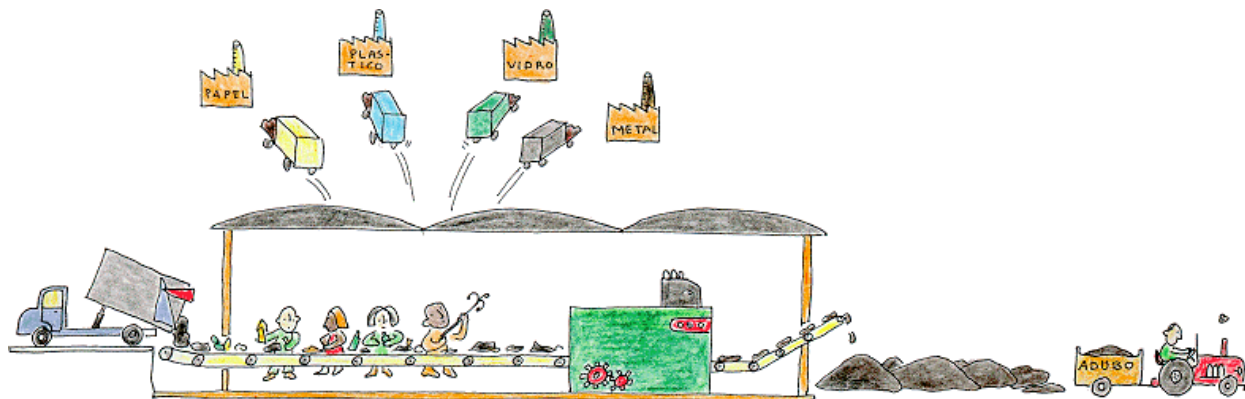
O aterro sanitário é a forma de disposição mais econômica de resíduos sólidos urbanos e segura ambientalmente. Consiste na disposição do lixo coletado no solo, se utiliza de métodos de engenharia para confinar os despejos na área menor possível, reduzi-los a um menor volume possível e cobri-lo com uma camada de terra diariamente ao final da jornada ou em períodos mais freqüentes.



**Figura 9 Aterro sanitário desativado**

### Usina de compostagem

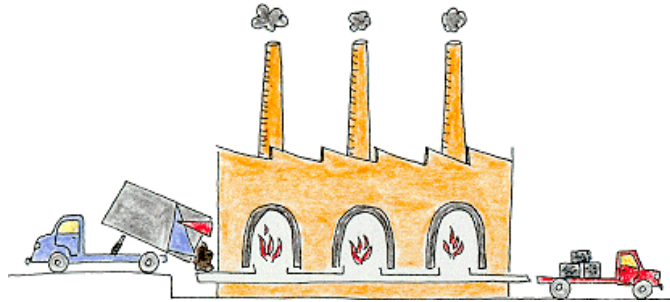
Nas usinas de compostagem, o lixo é processado através de uma instalação industrial e transformado em composto orgânico para uso agrícola.



**Figura 10 Usina de compostagem**

### Usina de incineração

Usina de incineração são instalações especiais (fornos especialmente projetados) onde se processa a queima controlada do lixo, com a finalidade de transformá-lo em matéria estável e inofensiva à saúde pública, reduzindo o seu peso e volume.



**Figura 11 Usina de incineração**

A crescente urbanização limita as áreas disponíveis para a disposição final dos resíduos. Grandes cidades precisam, muitas vezes, exportar seu lixo para áreas de municípios vizinhos. Em diversas outras situações, áreas não adequadas são eleitas como depósitos provisórios que, com o tempo, muitas vezes acabam se tornando permanentes.

Os depósitos de lixo, aterros e lixões, geram metano quando os resíduos encontram-se sob condições favoráveis. Esta geração varia de local para local, em função de fatores como quantidade de resíduos, idade do depósito, presença de ambiente anaeróbio, materiais tóxicos, acidez e condições construtivas e de manejo.

O biogás pode representar um perigo para o meio ambiente local, caso não sejam tomadas as devidas medidas de prevenção às emissões não sujeitas ao controle. O gás sulfídrico ( $H_2S$ ), presente em baixas concentrações no biogás, pode causar danos à vegetação e odores desagradáveis e, em altas concentrações, o gás metano pode provocar misturas explosivas.

O metano proveniente dos aterros contribui em proporção considerável para as emissões globais de metano. No entanto, a estimativa apresentada neste inventário está sujeita a um grande grau de incerteza. As estimativas das emissões globais de metano, proveniente dos aterros, oscilam entre 20 e 70 teragramas por ano (Tg/ano) enquanto que o total das emissões globais pelas fontes antropogênicas equivale a 360 Tg/ano, indicando que os aterros podem produzir cerca de 6 a 20 % do total de metano (IPCC, 1995a).

---

## 4.2 A geração de metano por efluentes líquidos no Brasil

Os efluentes com alto teor de matéria orgânica como os esgotos domésticos e aqueles das indústrias alimentícias, de bebidas e de papel e celulose, têm um alto potencial para emissão de metano. A matéria orgânica presente nesses efluentes é expressa em termos de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que é o principal fator determinante do potencial de geração de metano. A DBO representa a quantidade de oxigênio consumida por microorganismos na oxidação bioquímica da matéria orgânica expressa em miligramas por litro (mg/L).

O volume de esgotos gerados por pessoa depende da quantidade de água consumida, correspondendo normalmente a 80% desta. A carga orgânica unitária varia de país para país, entre 20 e 80 g DBO por habitante por dia. No Brasil, esta situa-se em torno de 50gDBO/hab.dia (FEACHEM, 1983). Considerando-se este fator, tem-se no Brasil a geração de 1,97 milhões de toneladas de DBO por ano.

O aumento desordenado da população e o desenvolvimento de grandes núcleos urbanos sem planejamento, sobretudo nos países em desenvolvimento, dificultam as ações de manejo de resíduos. A necessidade de disposição e tratamento é reconhecida, mas, por falta de recursos, essas ações costumam ser postergadas, provocando problemas de saúde nas populações e degradação do meio ambiente.

No Brasil, uma grande variedade de sistemas é utilizado para o tratamento de águas residuárias. Apesar disso, uma grande parcela das águas residuárias geradas é lançada diretamente nos corpos d'água sem tratamento.

Segundo os dados do último Censo sobre saneamento, a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB - 1989 (FUNDAÇÃO IBGE, 1992), dos 4.425 municípios do país, 2.091 possuíam rede para coleta de esgoto e destes, apenas 345 possuíam algum tipo de tratamento coletivo. A Tabela 2, a seguir, apresenta esses dados.



**Tabela 2 Municípios com tratamento de esgotos nas grandes regiões do Brasil, de acordo com o tipo**

Regiões	Municípios		Municípios com tratamento de esgotos de acordo com o tipo							
	Total	Com coleta de esgotos	Total	ETE (1)	Unidade de tratamento preliminar (2)	Unidade de tratamento primário (3)	Lagoa de estabilização	Lagoa aerada	Valo de oxidação	Outros
Norte	298	25	7	2	1	1	3	3	1	2
Nordeste	1461	381	53	5	3	5	44	5	6	6
Sudeste	1430	1301	214	25	10	11	129	4	8	49
Sul	857	335	57	16	3	7	18	1	2	18
Centro-Oeste	379	49	14	3	-	1	11	3	1	1
<b>Brasil</b>	<b>4425</b>	<b>2091</b>	<b>345</b>	<b>51</b>	<b>17</b>	<b>25</b>	<b>205</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>76</b>

Fonte: IBGE, 1992

- 1 Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) - basicamente gradeamento, caixa de areia, decantador primário, lodos ativados e/ou filtro biológico, decantador secundário e secagem de lodo.
- 2 Unidade de Tratamento Preliminar: - apenas grade e caixa de remoção de areia.
- 3 Unidade de Tratamento Primário: - grade, caixa de areia, decantador e secagem de lodo.

Nas áreas rurais e para sistemas individuais, os tanques sépticos são bastante utilizados, por vezes seguido de filtro anaeróbio, ou ainda pela infiltração do efluente no solo.

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 os filtros biológicos.

As lagoas aeradas têm sido bastante utilizadas em comunidades de médio porte e para alguns tipos de efluentes industriais.

Os efluentes da produção de indústria 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. No início dos anos oitenta existiam algumas unidades de filtros anaeróbios e nos últimos anos tem havido uma forte tendência de utilização de reatores anaeróbios, para o tratamento de efluentes industriais. Os setores que vem empregando esta tecnologia fazem uso dos benefícios que estes sistemas conferem, como baixo requerimento de área e não-necessidade de energia de aeração. Desde 1983, mais de 350 sistemas anaeróbios foram instalados.

Em alguns Estados tem havido um aumento de utilização de reatores do tipo UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, ou Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente) para o

---

tratamento de esgotos domésticos, como unidade única, ou seguidos de lagoa facultativa. Somente no Estado do Paraná existem mais de 220 reatores anaeróbios, tratando esgotos de cerca de 1.200.000 habitantes. Dos reatores anaeróbios instalados no Brasil, a grande maioria é do tipo UASB, mostrado na Figura 12. Esta tecnologia é muito apropriada às condições do país devido às condições climáticas favoráveis, simplicidade de construção e operação do sistema, além de não serem necessários equipamentos eletro-mecânicos de agitação e aeração e nem material de enchimento para o reator.

A produção mundial de metano gerado no tratamento de efluentes sob condições anaeróbias varia entre 30 e 40 Tg/ano. Isto representa de 8 a 11 % do total global de emissões antropogênicas de metano, estimado em 360 Tg/ano (IPCC,1995). O tratamento de efluentes industriais contribui com a maior parcela, estimada entre 26 e 40 Tg/ano.

O tratamento de esgotos domésticos e comerciais é estimada uma emissão de metano de aproximadamente 2 Tg/ano.

As incertezas destas estimativas resultam da falta de dados que caracterizam as práticas de tratamento das águas residuárias, as quantidades de esgoto que são tratados anaerobiamente, dados da quantidade de metano produzido que é queimado ou utilizado de outra forma e dados de campo das potenciais emissões de metano em lagoas de tratamento de esgoto (THORNELOE, citado no IPCC, 1995a).

#### *4.2.1 Algumas considerações sobre os processos de tratamento de águas residuárias (Definições)*

A degradação biológica é um dos processos mais utilizados para o tratamento de efluentes por razões econômicas. A degradação ocorre através da ação de agentes biológicos como as bactérias, protozoários e algas.

Os processos aeróbios são os mais utilizados nos países desenvolvidos. Em condições aeróbias matéria orgânica é convertida a gás carbônico, água e biomassa. A energia potencial presente nos resíduos termina na biomassa (lodo) cuja produção se torna um grande problema. No tratamento de esgotos por exemplo a disposição do lodo produzido é o fator de maior custo que também requer grandes quantidades de energia. Devido à presença nesses lodos de metais pesados e outros contaminantes, seu aproveitamento

---

na agricultura e outras formas de disposição é difícil. Além disso, a aeração requerida para fornecer oxigênio aos microrganismos aeróbios requer grandes quantidades de energia e produz significativas quantidades de CO<sub>2</sub>.

O processo de degradação anaeróbia transforma a matéria orgânica em gás carbônico, metano, água e biomassa. A produção de biomassa é significativamente menor quando comparada aos processos aeróbios pois a taxa de crescimento dos microrganismos anaeróbios é baixa. A energia potencial do resíduo vai em parte para a biomassa e parte para o metano. Portanto o conteúdo energético existente no biogás pode ser usado em substituição a combustíveis fósseis, reduzindo o consumo destes e o conseqüente aumento da concentração de CO<sub>2</sub>, uma vez que o CO<sub>2</sub> produzido na combustão do metano recuperado é considerado, para fins de inventário, de ciclo fechado.

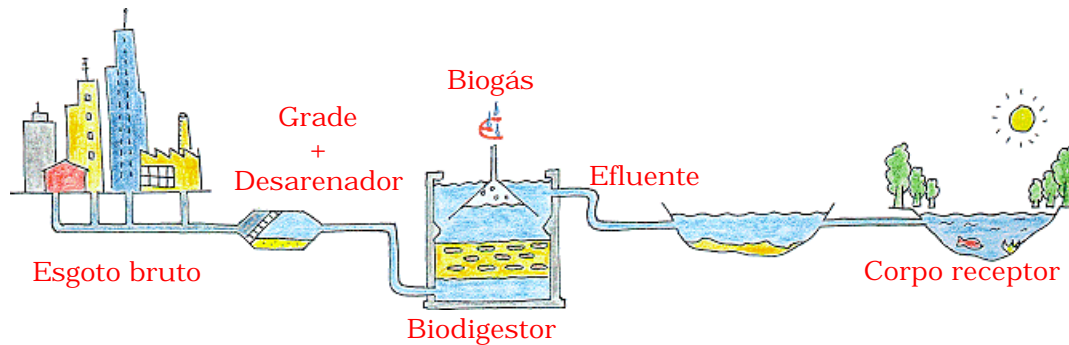
A seguir são feitas algumas considerações sobre os processos de tratamento de águas residuárias empregados no Brasil

### Reatores anaeróbios

Uma opção bastante interessante que vem sendo mais e mais empregada é o tratamento anaeróbio em reatores. Estes se baseiam no princípio de separação das fases sólida, líquida e gasosa, fazendo com que o lodo se acumule e seja mantido no tanque de tratamento com tempos de residência celular bastante superiores aos tempos de residência hidráulica.

a) O reator anaeróbio de fluxo ascendente e manto de lodo (reator UASB) retém o lodo pela incorporação de um decantador e um separador de gases na parte superior do reator. O esgoto é distribuído uniformemente pelo fundo do mesmo. Após passar pelo manto de lodo estabilizado, rico em bactérias anaeróbias, sofre degradação e o efluente tratado é recolhido em canaletas no topo do reator. Os sólidos se acumulam no fundo e o gás, contendo como principal componente o metano, é encaminhado para queima ou recuperação. O excesso de lodo é encaminhado para secagem e pode ser disposto em aterro sanitário ou passar por adequação para ser aproveitado como bio-fertilizante.

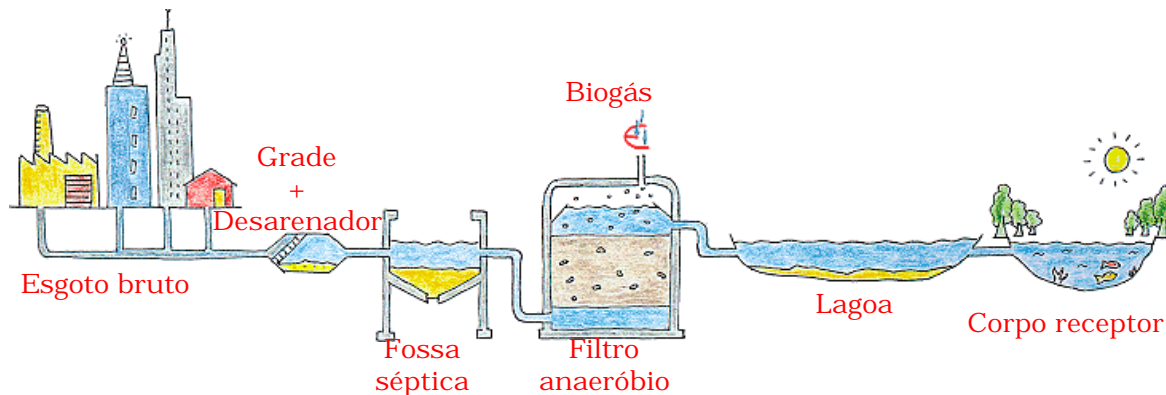
Os reatores UASB são sistemas compactos e de alta taxa, indicados para a recuperação eficiente do gás metano.



**Figura 12** Representação esquemática de um sistema de tratamentos anaeróbio do tipo UASB

b) Os filtros anaeróbios retêm o lodo num material suporte colocado dentro do reator. Esse material pode ser de plástico, pedra, cerâmica, bambu, etc.

O filtro é mantido submerso, o que garante a ausência de ar (oxigênio) e o conseqüente desenvolvimento de microorganismos anaeróbios responsáveis pela degradação da matéria orgânica.



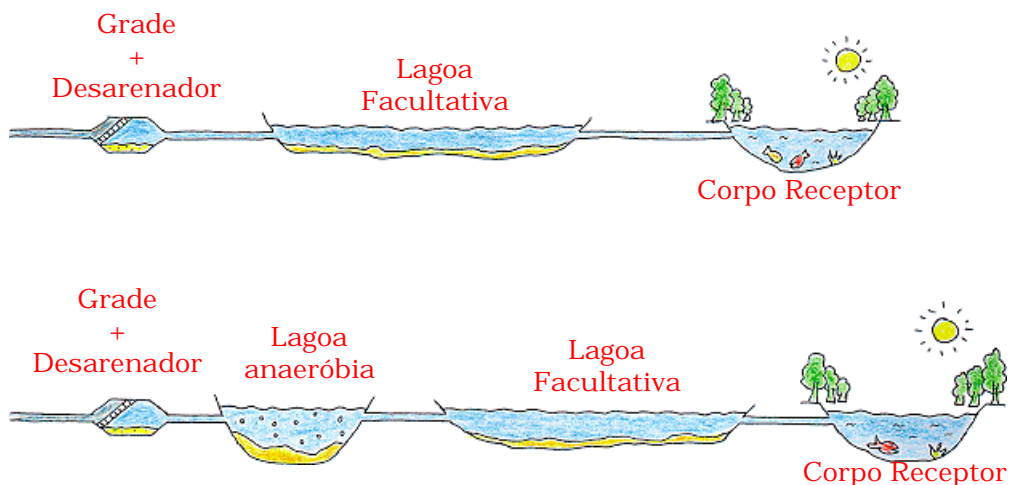
**Figura 13** Representação esquemática de um sistema de filtro anaeróbio

### Lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização, aeróbias, anaeróbias ou facultativas, são os processos de tratamento mais comumente usados nos países de clima quente. Tratam-se de grandes tanques escavados na terra, que funcionam principalmente pela ação de bactérias e algas. Nestas condições, a velocidade de oxidação biológica é baixa, requerendo

grandes áreas de terreno. Quando estas são disponíveis, seus custos de operação, construção e manutenção são bastante reduzidos. As lagoas, em geral, não permitem o controle e armazenamento do gás produzido.

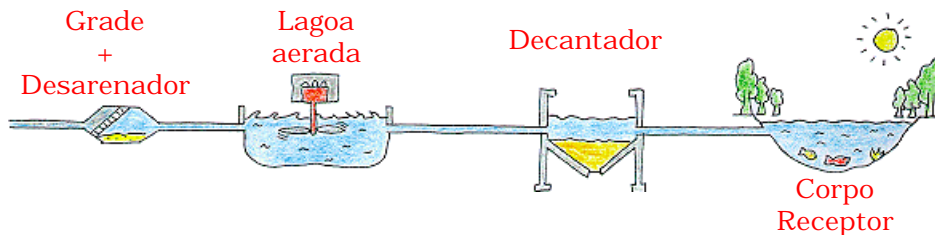
As lagoas de estabilização apresentam quatro tipos básicos: aeróbias, em geral rasas, com cerca de 0,50m de profundidade; anaeróbias entre 2m e 4,5m de profundidade; facultativas, com profundidade entre 1,5m a 2m; e as de maturação, com 1m de profundidade, usadas após sistemas secundários, para melhorar o efluente.



**Figura 14** Representação esquemática de sistema de lagoas de estabilização

### Lagoa aerada

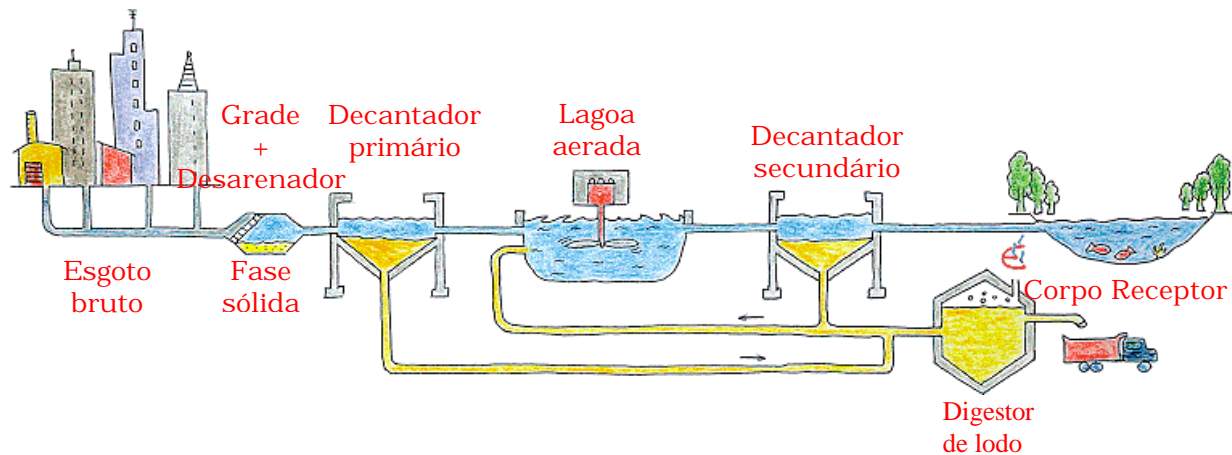
As lagoas aeradas caracterizam-se por exigir a instalação de equipamentos mecânicos para fornecer oxigênio ao líquido. Requerem áreas menores, todavia consomem energia.



**Figura 15** Representação esquemática de sistema de lagoa aerada

## Lodos ativados

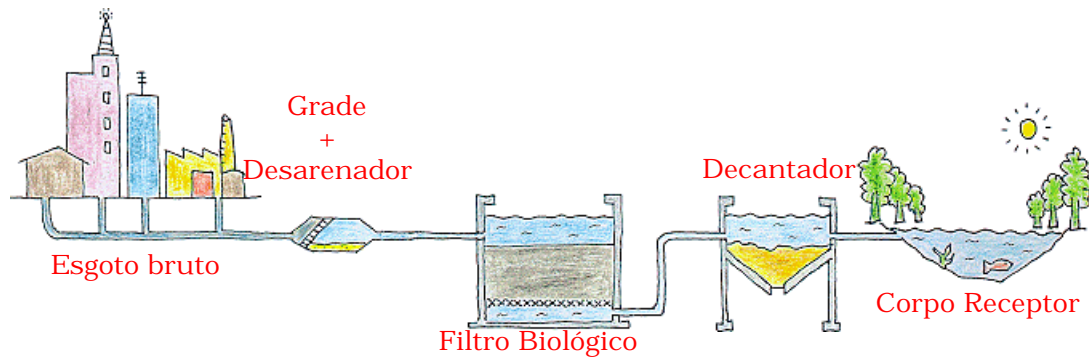
Esses sistemas são bastante compactos, compondo-se de decantador primário, tanque de aeração, e decantador secundário. O esgoto é sedimentado e o efluente passa para o tanque de aeração; o lodo contendo microorganismos aeróbios cresce e é recirculado, mantendo uma alta velocidade de degradação da matéria orgânica.



**Figura 16** Representação esquemática do sistema de lodos ativados

## Filtro biológico

Os filtros biológicos consistem de um leito de material suporte que retém os microorganismos. Os líquidos são alimentados no filtro e neste se mantém a presença de ar, o que garante o desenvolvimento de organismos aeróbios responsáveis pela degradação da matéria orgânica.



**Figura 17** Representação esquemática do filtro biológico

---

## 5 Metodologia do inventário das emissões de metano

### 5.1 Emissões de metano dos locais de disposição de resíduos sólidos (LDRS)

De acordo com a metodologia revisada de 1996 (IPCC, 1996), a determinação da emissão anual de CH<sub>4</sub> para cada país ou região pode ser calculada pela equação a seguir:

$$\text{Pop}_{\text{urb}} \times \text{taxa RSD} \times \text{RSD}_f \times \text{FCM} \times \text{COD} \times \text{COD}_F \times \text{F } 16/12 - \text{R} \times (1 - \text{OX})$$
$$=$$
$$\text{Emissão de Metano [GgCH}_4\text{/ano]}$$

onde:

- Pop<sub>urb</sub>: População urbana do país [habitantes].
- taxa RSD: Taxa de geração de resíduos sólidos domésticos por habitante por ano.[KgRSD/habitante.ano]
- RSD<sub>f</sub>: Fração de resíduos sólidos domésticos que é depositada em locais de disposição de resíduos sólidos [fração adimensional].
- FCM: Fator de correção de metano [fração adimensional].
- COD: Carbono orgânico degradável no resíduo sólido doméstico [fração adimensional ou gC/gRSD]
- COD<sub>F</sub>: Fração de COD que realmente degrada [fração adimensional].
- F: Fração de CH<sub>4</sub> no gás de aterro [fração adimensional].
- 16/12 Taxa de conversão de carbono em metano [fração adimensional ou gCH<sub>4</sub>/gC]
- R: Quantidade de metano recuperado [GgCH<sub>4</sub>/ano].
- OX: Fator de oxidação [fração adimensional].

### 5.2 Emissões de metano pelo tratamento de águas residuárias

O IPCC, 1996 recomenda que sejam determinadas as emissões anuais de CH<sub>4</sub> provenientes de tratamentos anaeróbios de águas residuárias domésticas, comerciais e industriais. A seguir estão os procedimentos para cada determinação.



---

### 5.2.1 Esgotos domésticos e comerciais

$$\text{Pop}_{\text{urb}} \times \text{taxaDBO}_5 \times \text{FET} \times \text{FCM} \times \text{MFEM} - \text{R} \\ = \\ \text{Emissão de metano [GgCH}_4\text{/ano]}$$

onde:

- $\text{Pop}_{\text{urb}}$ : População urbana do país [habitantes].
- $\text{taxaDBO}_5$ : Taxa de geração de Demanda Bioquímica de Oxigênio [ $\text{DBO}_5$ /habitante.ano]
- FET: Fração de esgotos tratada [fração adimensional].
- FCM: Fator de correção metano [fração adimensional].
- MFEM: Máximo fator de emissão de metano [fração adimensional ou  $\text{gCH}_4/\text{gDBO}_5$ ]
- R: Quantidade de metano recuperado [ $\text{GgCH}_4$ /ano].

### 5.2.2 Águas residuárias industriais

$$\text{Prod}_{\text{ind}} \times \text{FE}_{\text{c.org}} \times \text{FET} \times \text{FCM} \times \text{MFEM} - \text{R} \\ = \\ \text{Emissão de metano [GgCH}_4\text{/ano]}$$

onde:

- $\text{Prod}_{\text{ind}}$ : Produção industrial [unidades de produção].
- $\text{FE}_{\text{c.org}}$ : Fator de emissão de carga orgânica por quantidade de produto [ $\text{DBO}_5$ /unidade de produção].
- FET: Fração de esgotos tratados [fração adimensional].
- FCM: Fator de correção de metano [fração adimensional].
- MFEM: Máximo fator de emissão de metano [fração adimensional ou  $\text{gCH}_4/\text{gDBO}_5$ ].
- R: Quantidade de metano recuperado [ $\text{GgCH}_4$ /ano].

---

## 6 Resultados

As tabelas e explicações a seguir apresentam os resultados obtidos pela aplicação das metodologias descritas. A numeração das planilhas segue a definida nos manuais do IPCC.

### 6.1 Emissões de metano pela disposição e tratamento de resíduos sólidos no Brasil

Pela metodologia do IPCC (1996), as emissões líquidas de metano por resíduos sólidos no Brasil para os anos de 1990, 1991, 1992, 1993 e 1994 são respectivamente 618,01; 636,34; 649,68; 663,28 e 677,18 gigagramas por ano, conforme tabelas a seguir.

**Tabela 3 Emissões de metano pela disposição e tratamento de resíduos sólidos no Brasil - 1990 a 1994 (planilha 3.2A suplementar do IPCC)**

Módulo		Resíduos			
Sub-módulo		Quantidade de RSD depositada em aterros e lixões municipais usando dados do Brasil			
Planilha		3.2A (suplementar)			
Folha		1 de 1			
Ano	a População que tem seus resíduos sólidos coletados (população urbana)	b Taxa de geração de RSD (kg / habitante .dia)	c = (a * b * 365) / 10 <sup>6</sup> Quantidade anual de RSD gerado (Gg RSD)	d Fração de RSD depositada em aterros ou lixões	e = c * d Total anual de RSD depositado em aterros ou lixões (Gg RSD)
1.990	107.789.249	0,5	19.672	0,85	16.721
1.991	110.990.990	0,5	20.256	0,85	17.217
1.992	113.314.572	0,5	20.680	0,85	17.578
1.993	115.686.797	0,5	21.113	0,85	17.946
1.994	118.108.685	0,5	21.555	0,85	18.322

**Observação:** A planilha 3.2B (suplementar) do IPCC não é aplicável ao inventário brasileiro de emissões de metano pela disposição de resíduos sólidos.

**Tabela 4 Emissões de metano pela disposição e tratamento de resíduos sólidos no Brasil - 1990 a 1994 (planilha 3.2C suplementar do IPCC)**

Módulo	Resíduos		
Sub-Módulo	Fator de Correção de Metano		
Planilha	3.2C (Suplementar)		
Folha	1 de 1		
Tipo de local de disposição de resíduos sólidos (LDRS)	w Proporção de resíduos (por massa) para cada LDRS	x Fator de correção de metano (FCM)	y = w * x FCM médio proporcional à massa por cada tipo de LDRS
Aterro	-	1,0	-
Lixão - profundidade (> 5m lixo)	-	0,8	-
Lixão - profundidade (≤ 5m lixo)	-	0,4	-
Lixão	100,0%	0,6	0,60
<b>Total</b>	<b>100,0%</b>		<b>0,60</b>

**Tabela 5 Emissões de metano pela disposição e tratamento de resíduos sólidos no Brasil - 1990 a 1994 (planilha 3.2 do IPCC)**

Módulo	Resíduos												
Sub-módulo	Emissões de metano pela disposição de resíduos sólidos												
Planilha	3.2												
Folha	1 de 1												
Ano	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3					Etapa 4					
	a Total anual de RSD depositado em LDRS  (Gg RSD) Da planilha 3.2A	b Fator de correção de metano (FCM)  Da planilha 3.2C	c Fração de COD no RSD	d Fração de COD que realmente degrada	e Fração de carbono gerado como metano	f Taxa de conversão  16/12	g = c * d * e * f Taxa de geração potencial de metano por unidade de resíduo (Gg CH <sub>4</sub> / Gg RSD)	h = b * g Taxa de geração (específica do país) de metano por unidade de resíduo (Gg CH <sub>4</sub> / Gg RSD)	i = h * a Geração anual de metano  (Gg CH <sub>4</sub> )	j Metano recuperado por ano  (Gg CH <sub>4</sub> )	k = i - j Geração anual líquida de metano (Gg CH <sub>4</sub> )	l Um menos o fator de correção de metano (1-FCM)	m = k * l Emissão líquida de metano  (Gg CH <sub>4</sub> )
1.990	16.721	60%	0	1	1	1,3333	0	0,03696	618,01	0	618,01	1	618,01
1.991	17.217	60%	0	1	1	1,3333	0	0,03696	636,34	0	636,34	1	636,34
1.992	17.578	60%	0	1	1	1,3333	0	0,03696	649,68	0	649,68	1	649,68
1.993	17.946	60%	0	1	1	1,3333	0	0,03696	663,28	0	663,28	1	663,28
1.994	18.322	60%	0	1	1	1,3333	0	0,03696	677,18	0	677,18	1	677,18

## 6.2 População urbana do Brasil (Pop)

$$(\text{Pop}_{\text{urb}} \times \text{taxa RSD} \times \text{RSD}_f \times \text{FCM} \times \text{COD} \times \text{COD}_F \times F_{16/12 - R}) \times (1 - \text{OX})$$

A estimativa da população urbana do país representa aquela residente em domicílios classificados como particulares e permanentes nos termos do IBGE (FUNDAÇÃO IBGE, 1991).

A população para os anos de 1990, 1992, 1993 e 1994 foi estimada a partir dos valores disponíveis dos Censos nacionais de 1980, 1991 da Contagem da população de 1996, com base em um crescimento médio geométrico anual, conforme a equação abaixo.

$$\text{Pop}_{\text{anoz}} = P_{91} * (1 + i)^{(z-1991)} \quad z = 1990, 1992, 1993 \text{ e } 1994$$

$$i = (P_{91} / P_{80})^{1/(91-80)} - 1 \quad \text{para o ano de 1990}$$

$$i = (P_{96} / P_{91})^{1/(96-91)} - 1 \quad \text{para os anos de 1992, 1993 e 1994}$$

onde:

- $\text{Pop}_{\text{anoz}}$  é a estimativa da população (em habitantes, residente em domicílios particulares e permanentes em área urbana) dos anos de 1990, 1992, 1993 e 1994 a ser determinada;
- $i$  é a taxa, de incremento anual, média geométrica da população calculada para os períodos entre os anos de 1980 e 1991 e 1991 e 1996;
- $P_{80}$  é a população (em habitantes, residente em domicílios particulares e permanentes em áreas urbanas) no ano de 1980 (IBGE).
- $P_{91}$  é a população (em habitantes, residente em domicílios particulares e permanentes em áreas urbanas) no ano de 1991, dada pelo IBGE; e
- $P_{96}$  é a população (em habitantes, residente em domicílios particulares e permanentes em áreas urbanas) no ano de 1996 (IBGE).

**Tabela 6 População urbana residente em domicílios particulares e permanentes, dos Censos de 1980 e 1991, taxa média geométrica de incremento anual da população residente e estimativa da população urbana em 1990**

População urbana em 1980	População urbana em 1991	Taxa de crescimento populacional urbano anual entre os anos de 1980 e 1991	População urbana
$P_{80}$	$P_{91}$	$i$	$\text{Pop}_{90}$
80.436.409	110.990.990	0,0297	107.789.249

Fonte: IBGE

---

Utilizando as populações urbanas de 1991 e 1996 (FUNDAÇÃO IBGE, 1996) estimou-se a taxa geométrica de crescimento populacional urbano para este período e a população urbana dos anos de 1992 e 1993 e 1994.

**Tabela 7 População urbana residente em domicílios particulares e permanentes, dos Censos de 1991 e Contagem populacional de 1996, taxa média geométrica de incremento anual da população residente e estimativa da população urbana em 1992, 1993 e 1994**

População urbana em 1991	População urbana em 1996	Taxa de crescimento populacional urbano anual entre os anos de 1991 e 1996	População urbana		
$P_{91}$	$P_{96}$	$i$	$Pop_{92}$	$Pop_{93}$	$Pop_{94}$
110.990.990	123.105.628	0,0209	113.314.572	115.686.797	118.108.685

Fonte: IBGE

**Tabela 8 População urbana residente em domicílios particulares e permanentes distribuída por Estados, dos Censos de 1991 e Contagem populacional de 1996, taxa média geométrica de incremento anual da população residente e estimativa da população urbana em 1994.**

Estado	População urbana em 1991 por Estado	População urbana em 1996 por Estado	Taxa de crescimento populacional urbano anual entre os anos de 1991 e 1996	Estimativa da população urbana em 1994 por Estado
	Pop <sub>91</sub>	Pop <sub>96</sub>	i	Pop <sub>94</sub>
Rio Grande do Norte	110.990.990	123.105.628	0,021	118.108.685
Rondônia	659.327	762.864	0,030	719.629
Acre	258.520	315.404	0,041	291.285
Amazonas	1.502.754	1.766.166	0,033	1.655.671
Roraima	140.818	174.277	0,044	160.032
Pará	2.596.388	2.949.017	0,026	2.802.555
Amapá	234.131	325.150	0,068	285.124
Tocantins	530.636	741.009	0,069	648.355
Maranhão	1.972.421	2.683.522	0,064	2.372.591
Piauí	1.367.184	1.556.115	0,026	1.477.596
Ceará	4.162.007	4.713.311	0,025	4.484.528
Rio Grande do Norte	1.669.267	1.843.486	0,020	1.771.716
Paraíba	2.052.066	2.263.949	0,020	2.176.690
Pernambuco	5.051.654	5.476.915	0,016	5.302.675
Alagoas	1.482.033	1.661.914	0,023	1.587.480
Sergipe	1.002.877	1.147.836	0,027	1.087.494
Bahia	7.016.770	7.826.843	0,022	7.492.157
Minas Gerais	11.786.893	13.074.245	0,021	12.543.239
Espírito Santo	1.924.588	2.176.006	0,025	2.071.720
Rio de Janeiro	12.199.641	12.806.488	0,010	12.560.208
São Paulo	29.314.861	31.769.219	0,016	30.763.735
Paraná	6.197.953	7.011.990	0,025	6.674.275
Santa Catarina	3.208.537	3.565.130	0,021	3.417.968
Rio Grande do Sul	6.996.542	7.628.936	0,017	7.369.394
Mato Grosso do Sul	1.485.110	1.604.318	0,016	1.555.528
Mato Grosso	1.414.447	1.695.548	0,037	1.576.960
Goiás	3.247.676	3.873.722	0,036	3.609.991
Distrito Federal	1.515.889	1.692.248	0,022	1.619.367

Fonte: IBGE, 1996

### 6.2.1 Taxa de resíduos sólidos gerados por habitante

$$(\text{Pop}_{\text{urb}} \times \text{taxa RSD} \times \text{RSD}_f \times \text{FCM} \times \text{COD} \times \text{COD}_F \times F_{16/12 - R}) \times (1 - \text{OX})$$

Na tabela a seguir é apresentado o resultado do 'Programa de gerenciamento de resíduos sólidos domiciliares e de serviços de saúde - Prolixo' (CETESB, 1992). Neste trabalho foi estimada a geração de lixo por habitante de acordo com o número de

---

habitantes do município. Esses dados foram obtidos em um número elevado de municípios do Estado de São Paulo, o que confere credibilidade aos valores médios de geração de resíduos.

**Tabela 9** Geração média de resíduos por habitante ao dia.

Até 100.000 hab.	0,4 kg/hab.dia
De 100.001 a 500.000 hab.	0,5 kg/hab.dia
De 500.001 a 1.000.000 hab.	0,6 kg/hab.dia
Mais que 1.000.000 hab.	0,7 kg/hab.dia

Fonte: CETESB, 1992

A partir destes dados e da população urbana dos municípios brasileiros como fator de ponderação, obteve-se, uma taxa de geração de RSD para o ano de 1994 igual a 0,5 kg/hab.dia. Esta foi a taxa utilizada neste inventário.

**Tabela 10 Estimativa de geração de lixo no ano de 1994**

Estado	População urbana em 1994 por Estado	Taxa de geração de resíduo (kg/hab.dia)	Resíduo gerado (kg/dia)	Resíduo gerado (t/ano)
	a	b	c = a * b	d = c * 365 / 1000
Brasil	118.108.685	0,5	59.054.343	21.554.835
Rondônia	719.629	0,43	309.440	112.946
Acre	291.285	0,46	133.991	48.907
Amazonas	1.655.671	0,6	993.403	362.592
Roraima	160.032	0,49	78.416	28.622
Pará	2.802.555	0,47	1.317.201	480.778
Amapá	285.124	0,46	131.157	47.872
Tocantins	648.355	0,4	259.342	94.660
Maranhão	2.372.591	0,46	1.091.392	398.358
Piauí	1.477.596	0,49	724.022	264.268
Ceará	4.484.528	0,54	2.421.645	883.901
Rio Grande do Norte	1.771.716	0,48	850.424	310.405
Paraíba	2.176.690	0,46	1.001.277	365.466
Pernambuco	5.302.675	0,5	2.651.338	967.738
Alagoas	1.587.480	0,49	777.865	283.921
Sergipe	1.087.494	0,44	478.497	174.652
Bahia	7.492.157	0,5	3.746.079	1.367.319
Minas Gerais	12.543.239	0,47	5.895.322	2.151.793
Espírito Santo	2.071.720	0,46	952.991	347.842
Rio de Janeiro	12.560.208	0,59	7.410.523	2.704.841
São Paulo	30.763.735	0,54	16.612.417	6.063.532
Paraná	6.674.275	0,49	3.270.395	1.193.694
Santa Catarina	3.417.968	0,44	1.503.906	548.926
Rio Grande do Sul	7.369.394	0,48	3.537.309	1.291.118
Mato Grosso do Sul	1.555.528	0,48	746.653	272.528
Mato Grosso	1.576.960	0,44	693.862	253.260
Goiás	3.609.991	0,47	1.696.696	619.294
Distrito Federal	1.619.367	0,7	1.133.557	413.748

Mais recentemente, estes valores de taxas de geração de resíduos vêm sendo revistos. Como exemplo, a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), com 16,4 milhões de habitantes em 1995 tem uma geração de resíduos estimada em 0,96 kg/hab.dia, (WRI, 1996).



**Tabela 11 Comparação da geração de lixo por habitante em algumas cidades**

Cidades	kg lixo/habitante.dia
São Paulo	0,964384
Washington	3,413699
Bangkok	0,879452
Quito	0,769863
Abidjan	0,547945

WRI, 1996

O IPCC sugere para a taxa de disposição de resíduos no Brasil o valor de 1,47 kg/hab.dia. Por outro lado, de acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) (FUNDAÇÃO IBGE, 1992), no ano de 1989 foram coletados cerca de 242 mil t/dia de resíduos para uma população urbana de 108 milhões de habitantes, o que dá aproximadamente 2,2 kg/hab.dia coletados, valor este quatro vezes superior à estimativa da CETESB.

Ainda segundo a Contagem Populacional (FUNDAÇÃO IBGE, 1996), aproximadamente 15% da população urbana de todo o Brasil não tem seus resíduos coletados, o que indica que se no Brasil são coletados 2,2 kg/hab.dia, conseqüentemente são gerados 2,6 kg/hab.dia. O mesmo trabalho indica que no Estado de São Paulo 99% da população urbana é atendida por serviços de coleta de lixo, o que faz com que a quantidade de lixo gerado seja praticamente igual à quantidade coletada.

**Tabela 12 Resumo das estimativas de geração e coleta de RSD.**

Fonte	Quantidade gerada (kg/hab.dia)	Quantidade coletada (kg/hab.dia)
CETESB	0,5	0,5
IPCC	n. d.	1,47
IBGE	n. d.	2,2

n. d. = não disponível

Estes dados são bastante divergentes. Para se avaliar qual desses fatores se aproxima mais da realidade, é feito a seguir um estudo comparativo:

Comparando-se as quantidades declaradas de resíduos coletados pelas prefeituras com as quantidades estimadas pela CETESB nos municípios da Região Metropolitana da Grande São Paulo (tabela 13), observa-se que as quantidades declaradas pelas prefeituras são em média 1,5 vezes maiores que as quantidades estimadas pela CETESB. Observa-se também que a população estimada pela prefeitura de cada

município é sempre superior à contada pelo Censo do IBGE, o que eleva de 5,7 para 8,2 milhões a população desses 38 municípios da RMSP.

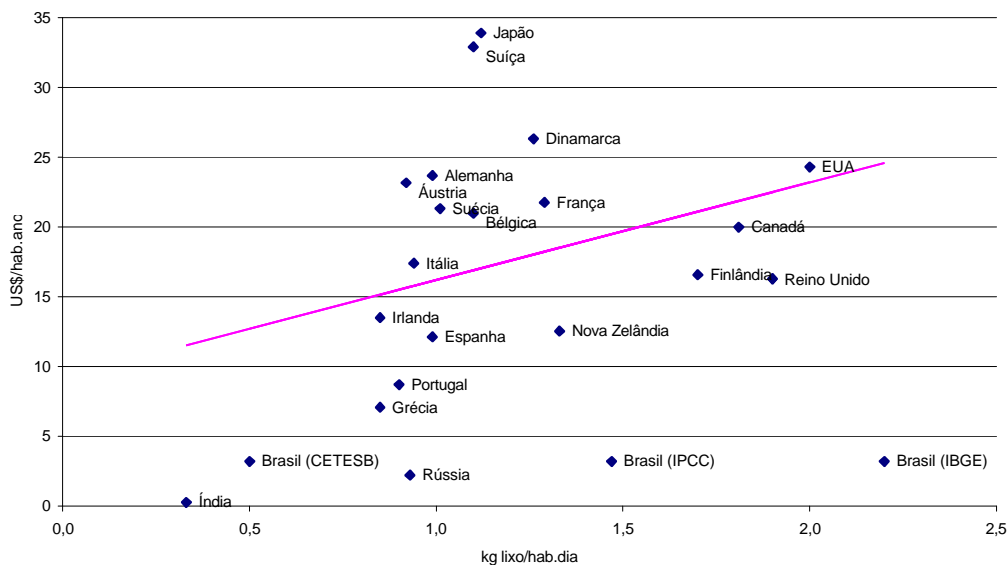
**Tabela 13 Quadro comparativo dos 38 municípios que compõem a Região Metropolitana da Grande São Paulo**

Município da RMSP #	População do Censo de 1991 em habitantes (IBGE) a	População estimada pelas prefeituras em 1991 em habitantes b	Razão entre as populações Estimadas e do censo c = b/a	Resíduos coletados em toneladas ao dia (CETESB) d	Resíduos coletados em toneladas ao dia (Prefeitura) e	Razão entre as estimativas f = e/d	Resíduos por habitante ao dia (CETESB) g=d/a*1000	Resíduos por habitante ao dia (Prefeitura) h=e/b*1000	Razão entre as taxas de geração Prefeituras/ CETESB i = h/g
01	776.404	1.000.000	1,3	465,84	500	1,1	0,6	0,5	0,8
02	615.112	800.000	1,3	369,07	500	1,4	0,6	0,6	1,0
03	566.948	800.000	1,4	340,17	500	1,5	0,6	0,6	1,0
04	554.925	900.000	1,6	332,96	540	1,6	0,6	0,6	1,0
05	305.068	320.000	1,0	152,53	215	1,4	0,5	0,7	1,3
06	294.631	380.000	1,3	147,32	230	1,6	0,5	0,6	1,2
07	283.653	500.000	1,8	141,83	220	1,6	0,5	0,4	0,9
08	246.948	320.000	1,3	123,47	140	1,1	0,5	0,4	0,9
09	164.665	220.000	1,3	82,33	85	1,0	0,5	0,4	0,8
10	159.894	200.000	1,3	79,35	135	1,7	0,5	0,7	1,4
11	155.851	220.000	1,4	77,93	118	1,5	0,5	0,5	1,1
12	152.312	180.000	1,2	76,16	100	1,3	0,5	0,6	1,1
13	146.203	300.000	2,1	74,6	175	2,3	0,5	0,6	1,1
14	130.383	240.000	1,8	65,19	250	3,8	0,5	1,0	2,1
15	107.983	230.000	2,1	53,99	100	1,9	0,5	0,4	0,9
16	106.822	130.000	1,2	53,41	70	1,3	0,5	0,5	1,1
17	94.772	130.000	1,4	37,91	50	1,3	0,4	0,4	1,0
18	85.035	120.000	1,4	34,01	50	1,5	0,4	0,4	1,0
19	83.511	100.000	1,2	33,4	38	1,1	0,4	0,4	1,0
20	83.361	180.000	2,2	33,34	45	1,3	0,4	0,3	0,6
21	79.534	100.000	1,3	31,81	60	1,9	0,4	0,6	1,5
22	75.587	120.000	1,6	30,23	45	1,5	0,4	0,4	0,9
23	62.573	120.000	1,9	25,03	85	3,4	0,4	0,7	1,8
24	37.731	70.000	1,9	15,09	22	1,5	0,4	0,3	0,8
25	37.582	60.000	1,6	15,03	40	2,7	0,4	0,7	1,7
26	35.010	60.000	1,7	14,11	24	1,7	0,4	0,4	1,0
27	34.264	70.000	2,0	13,71	50	3,6	0,4	0,7	1,8
28	33.931	60.000	1,8	13,57	35	2,6	0,4	0,6	1,5
29	31.969	55.000	1,7	12,79	25	2,0	0,4	0,5	1,1
30	29.848	35.000	1,2	11,94	15	1,3	0,4	0,4	1,1
31	28.248	60.000	2,1	11,3	33	2,9	0,4	0,6	1,4
32	19.866	25.000	1,3	7,95	11	1,4	0,4	0,4	1,1
33	15.840	35.000	2,2	6,34	25	3,9	0,4	0,7	1,8
34	14.752	30.000	2,0	5,9	15	2,5	0,4	0,5	1,3
35	14.210	20.000	1,4	5,69	6	1,1	0,4	0,3	0,7
38	7.966	14.000	1,8	3,19	5	1,6	0,4	0,4	0,9
37	7.319	12.000	1,6	2,93	5	1,7	0,4	0,4	1,0
38	6.708	22.000	3,3	2,68	5	1,9	0,4	0,2	0,6

Fonte: Setor de resíduos sólidos domiciliares e de serviços de saúde (ERTR) da CETESB, 1997.

Quando a consulta é feita ao município, a tendência é obter valores maiores do que os dados levantados pela CETESB, que se baseia nas informações de população do IBGE. Pode-se supor que isso se deve à política de distribuição de verbas do Governo que leva em conta a população atendida pelas prefeituras; quanto maior a população e a geração de resíduos, maiores os recursos a elas destinados.

Comparemos os valores de taxa de geração de resíduos entre países com diferentes rendas *per capita*: (Figura 18). Os dados do Brasil (IBGE 1992; IPCC, 1996; e CETESB, 1992), não foram incluídos no tratamento estatístico traduzido pela reta que representa a regressão linear. A correlação obtida, excluídos os valores para o Brasil, é fraca ( $r = 0,15$ ). Mesmo assim, pode-se notar que o valor de geração de RSD para o Brasil da CETESB é o que mais se aproxima da reta e de uma certa forma da lógica aplicável à característica de cada um desses países no que concerne grau de desenvolvimento e taxa de geração de resíduos.



Fontes: IBGE, 1989, IPCC, 1996 (geração de resíduos per capita) e WRI, 1996 (renda per capita)

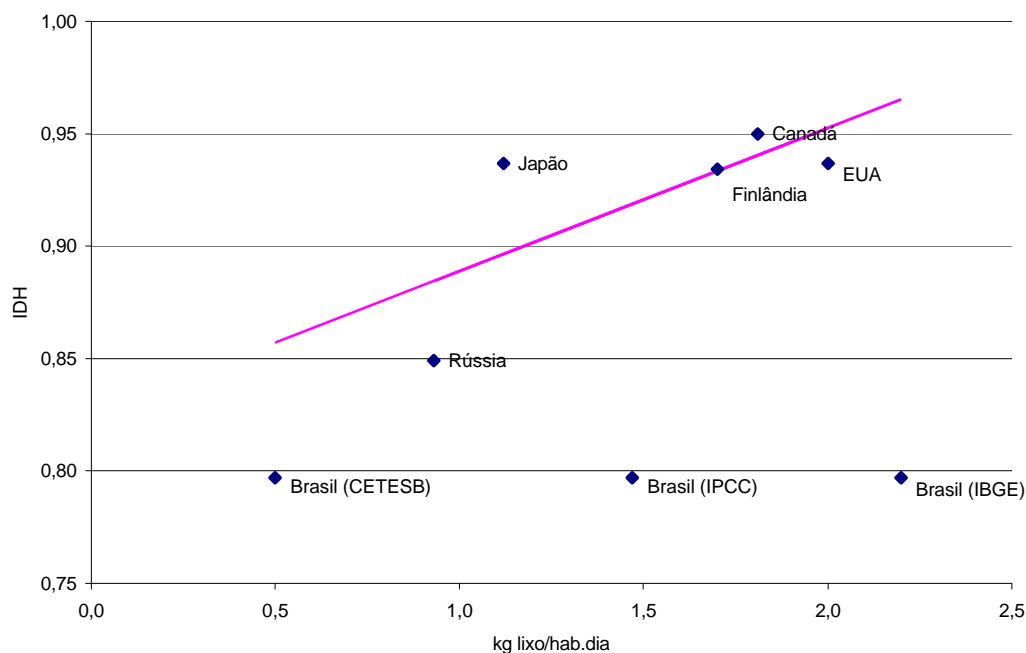
**Figura 18** Relação entre renda per capita e geração de RSD por países

---

Países como Japão, Suíça, Dinamarca, EUA, Canadá e Reino Unido, com altas rendas *per capita* apresentam maiores taxas de geração de RSD por habitante, ou seja, tendem a localizar-se na extremidade alta e a direita do gráfico, enquanto que países como Brasil (CETESB), Índia, Grécia e Rússia, com menores rendas *per capita*, apresentam menores taxas de geração de RSD por habitante (tendem à extremidade baixa e à esquerda do gráfico). Os valores apresentados pelo IPCC e IBGE para o Brasil afastam-se desta tendência. O valor gerado pela CETESB, comparado aos demais, acompanha melhor a tendência geral.

Mesmo sem o emprego de programas visando a redução de geração de resíduos, já praticados em países desenvolvidos, não é razoável que no Brasil, com uma renda *per capita* de US\$ 3,2 mil ao ano, oito vezes inferior à renda americana e canadense, se observe uma geração de resíduos por habitante ao dia equivalente à geração observada nestes países.

Da mesma maneira, pode-se comparar valores de taxa de geração de resíduos entre países com diferentes valores do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) (Figura 19). A correlação é um tanto mais forte ( $r=0,52$ , excluído o Brasil).



Fontes: IBGE, 1989, IPCC, 1996 (geração de resíduos per capita) e PNUD, 1997 (IDH)  
 Obs: O IDH leva em conta três características básicas da população (PNUD/IPEA, 1996):

- Longevidade;
- Conhecimento; e
- Padrão de vida.

### Figura 19 Relação entre o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e geração de RSD por países

Portanto a estimativa de geração de resíduos para o Brasil feita pela CETESB é a que mais se adequa à tendência geral, acreditando-se em um erro da ordem de 10%.

#### 6.2.2 Fração de resíduos sólidos depositados em aterros ou lixões

$$(\text{Pop}_{\text{urb}} \times \text{taxa RSD} \times \mathbf{RSD}_F \times \text{FCM} \times \text{COD} \times \text{COD}_F \times \text{F 16/12} - \text{R}) \times (1 - \text{OX})$$

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) (FUNDAÇÃO IBGE, 1992), a fração de resíduos sólidos domésticos depositada em aterros ou lixões ( $\mathbf{RSD}_F$ ) é de

97,9%, (Tabela 14). Dados mais recentes da Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílios (PNAD) (FUNDAÇÃO IBGE, 1996) indicam que a população atendida por serviços de coleta de lixo é de 85%. O primeiro valor esta superestimado, pois a PNSB é realizada junto às prefeituras e empresas de saneamento, abrangendo um universo restrito de municípios pesquisados. Por outro lado a PNAD que é realizada em domicílios, abrange uma amostra que reflete mais adequadamente a realidade do país.

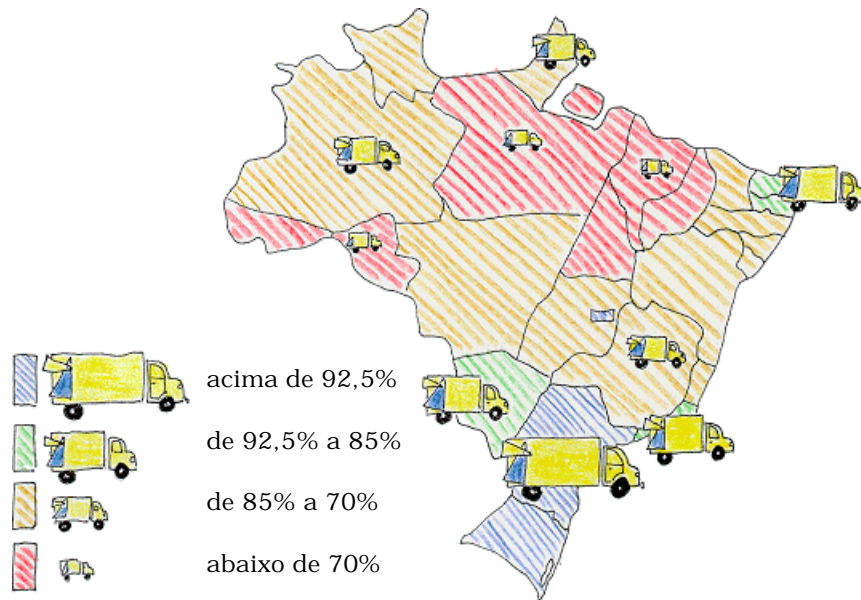
**Tabela 14 Destinos dos resíduos sólidos**

Quantidade de resíduos coletados (PNSB-1989)										
Quantidade diária de lixo coletado (t/dia)										
	Vazadouro			Aterro			Fração			
	Total	A céu aberto	em áreas alagadas	Controlado	Sanitário	Resíduos especiais	Fração aterrada	Fração alagada	Fração a céu aberto	Outros
Brasil	241.614	182.190	1.588	30.082	22.456	107	21,8	0,7	75,4	2,1

Fonte: IBGE, 1992

Da tabela anterior, observa-se que os valores estão superestimados, e que também não estão diferenciados os resíduos sólidos urbanos dos rurais.

A Figura 20, com dados da PNAD (FUNDAÇÃO IBGE, 1996) ilustra a situação de coleta de resíduos sólidos domésticos por Estado para determinadas faixas. Nos Estados das Regiões Sul e Sudeste do país, a fração de população urbana atendida por serviços de coleta de lixo é em geral superior à média nacional, enquanto que nos Estados das Regiões Norte e Nordeste, esse atendimento é, em geral, inferior a essa média.



**Figura 20 Situação da coleta de RSD por Estado no país de acordo com porcentagem da população urbana atendida (FUNDAÇÃO IBGE, 1996)**

O valor de RSD utilizado neste inventário foi o de 85% baseado nos dados mais recentes da PNAD (FUNDAÇÃO IBGE, 1996). Acredita-se em um erro da ordem de 10%.

### 6.2.3 Fator de correção de metano

$$(\text{Pop}_{\text{urb}} \times \text{taxa RSD} \times \text{RSD}_F \times \mathbf{FCM} \times \text{COD} \times \text{COD}_F \times F_{16/12 - R}) \times (1 - \text{OX})$$

O IPCC recomenda valores de FCM de acordo com a profundidade do local de disposição de resíduos sólidos (Tabela 15).

**Tabela 15 FCM recomendado pelo IPCC**

LDRS	FCM
Profundidade maior ou igual a 5m	80%
Profundidade menor que 5m	40%
Locais sem classificação	60%

Fonte: IPCC, 1996

---

Foi utilizado o valor 'default' do IPCC para locais sem classificação, igual a 60%, por não estarem disponíveis na literatura dados de profundidade dos locais de disposição dos resíduos sólidos no Brasil.

A CETESB avalia, no Estado de São Paulo, os sistemas de disposição de resíduos sólidos através do Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR).

De fato, no Estado de São Paulo o IQR mostra que as condições gerais dos locais de disposição de resíduos sólidos são precárias.

O IQR considera 41 variáveis que englobam três aspectos básicos: localização, infraestrutura e condições operacionais.

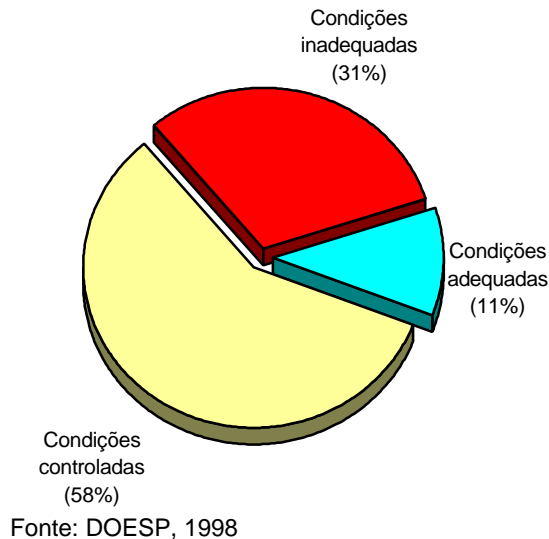
**Tabela 16 Índice de qualidade de aterros de resíduos**

<b>IQR</b>	<b>Enquadramento</b>
$0 \leq \text{índice} < 6,0$	Condições inadequadas
$6,0 \leq \text{índice} < 8,0$	Condições controladas
$8,0 \leq \text{índice} < 10,0$	Condições adequadas

Fonte: DOESP, 1998.

A figura abaixo, relativa à disposição dos resíduos sólidos no Estado de São Paulo, aponta que apenas 11% estão dispostos de maneira adequada.





**Figura 21 Situação da disposição dos resíduos sólidos domiciliares no Estado de São Paulo (% da quantidade gerada)**

#### 6.2.4 Carbono orgânico degradável (COD)

$$(\text{Pop}_{\text{urb}} \times \text{taxa RSD} \times \text{RSD}_f \times \text{FCM} \times \text{COD} \times \text{COD}_F \times F_{16/12 - R}) \times (1 - \text{OX})$$

O valor do carbono orgânico degradável COD utilizado neste inventário foi o sugerido pelo IPCC, igual a 0,12; diz respeito a uma composição de resíduos que não leva em conta informações de hábitos do Brasil.

Os dados de composição de resíduos nas diferentes cidades brasileiras são escassos e trazem pouca contribuição ao inventário de metano. Uma estimativa, feita através de amostragem dos resíduos de algumas cidades representativas do perfil nacional, daria uma melhor idéia desse valor.

Preliminarmente, pode ser feita uma estimativa do COD, a ser utilizado para o Brasil, a partir de alguns dados disponíveis, mesmo não utilizando seu resultado neste relatório. Esta estimativa, cujo cálculo está detalhado a seguir, indica que o COD estaria entre 17,8 e 28,4, o que sugere que o valor do IPCC deva ser melhor estudado.

Esta estimativa é executada a partir dos dados do IPCC (1996) com porcentagens de COD nos resíduos mostradas na tabela abaixo:

**Tabela 17 Valores de porcentagem de carbono orgânico para os principais tipos de resíduos**

Tipo de resíduo	Porcentagem de COD
A papel e têxteis	40
B resíduos de jardim, parques e outros orgânicos putrescíveis (não alimentos)	17
C resíduos de alimentos	15
D resíduos de madeira e palha	30

Fonte: BINGEMER e CRUTZEN, 1987 citado no IPCC, 1996

Uma amostra da composição dos resíduos de algumas cidades brasileiras é utilizada estabelecendo um valor que sirva como subsídio a um levantamento posterior, uma vez que são escassos os estudos que caracterizem os resíduos gerados no Brasil.

**Tabela 18 Composição média do RSD domiciliar em alguns municípios do Brasil**

Tipo de resíduo	São Paulo	Salvador	Belo Horizonte	São Carlos	Saltinho	Guaratinguetá
Vidro	1,10	4,0	2,07	1,40	0,21	-
Metal	3,24	4,0	3,22	5,40	1,70	0,88
Plástico	12,08	11,0	1,90	8,50	2,42	5,24
Papel	14,43	19,0	16,77	21,30	3,05	33,38
Outros	69,15	62,0	76,04	63,40	92,62	60,50

Fonte: USEPA, 1997

Outros é a soma de 'matéria orgânica', 'trapos' e 'outros'

As classificações das duas tabelas anteriores, não se adequam. A categoria "outros" na Tabela 18 pode englobar também inertes não-orgânicos, como produtos de varrição doméstica.

A porcentagem de COD seria calculada através da seguinte equação, sugerida pelo IPCC:

Equação 3 - Cálculo de porcentagem de COD

$$\text{Porcentagem de COD (por peso)} = 0,40 * (A) + 0,17 * (B) + 0,15 * (C) + 0,30 * (D)$$

Devido à dificuldade em se discriminar a composição orgânica da categoria "outros" da Tabela 18, esta categoria englobaria resíduos de jardim, parques e outros orgânicos putrescíveis não alimentos (B), resíduos de alimentos (C) e resíduos de madeira e palha

---

(D), a equação acima teria de ser tratada por uma faixa, dentro dos limites (15-30%), sugerida da seguinte forma:

Equação 4 - Cálculo de porcentagem de COD

$$\text{Porcentagem de COD (por peso)} = 0,4 * (A) + (0,15 \text{ a } 0,30) * (B + C + D)$$

Cruzando os valores das Tabelas 17 e 18 na Tabela 19, estimam-se os valores de COD dos resíduos sólidos domésticos (RSD) para as cidades conhecidas. A média aritmética dessas porcentagens varia entre 17,8 e 28,4 contra os 12,0 recomendados pelo IPCC.

**Tabela 19 Estimativa do carbono orgânico degradável (COD) dos resíduos sólidos urbanos (RSD)**

Tipo de resíduo	a % de COD	São Paulo		Salvador		Belo Horizonte		São Carlos		Saltinho		Guaratinguetá		Média o = (c+e+g+i+l+n)/6
		b % de resíduo	c = a * b/100	d % de resíduo	e = a * d/100	f % de resíduo	g = a * f/100	h % de resíduo	i = a * h/100	j % de resíduo	l = a * j/100	m % de resíduo	n = a * m/100	
A	40	14,4	5,8	19,0	7,6	16,8	6,7	21,3	8,5	3,1	1,2	33,4	13,4	7,2
B+C+D		69,2		62,0		76,0		63,4		92,6		60,5		
Min	15		10,4		9,3		11,4		9,5		13,9		9,1	10,6
Max	30		20,8		18,6		22,4		19,0		27,8		18,2	21,2
													Soma	
													Min	17,8
													Max	28,4

- A Papel e têxteis
- B Resíduos de jardim, parques e outros orgânicos putrescíveis (não alimentos)
- C Resíduos de alimentos
- D Resíduos de madeira e palha

Um outro estudo, resumido na Tabela 20, mostra a origem dos resíduos de alguns aterros. Nesta, pode-se observar que aproximadamente 80% dos resíduos destinados aos aterros têm origem doméstica e que, apesar de não ser definida a sua composição, sabe-se que esses resíduos contêm aproximadamente 60% de matéria orgânica.

**Tabela 20 Origem e conteúdo de matéria orgânica dos resíduos dispostos em alguns aterros do Brasil.**

Aterro	Local	Composição percentual do resíduo					Conteúdo de matéria orgânica estimado (%)
		Residencial e comercial	Industrial	Construção e demolição	Varrição	Outros	
Bandeirantes	São Paulo	75	n. d.	10	7	8	55
Biguaçu	Florianópolis	95	n. d.	n. d.	5	n. d.	60
Caximba	Curitiba	80	n. d.	20	n. d.	n. d.	65
Goiânia	Goiânia	90	n. d.	n. d.	10	n. d.	alto
Joinville	Joinville	70	20	n. d.	6	4	50 - 60
Lara	Mauá	72	n. d.	5	8	15	65
Zona Norte	Porto Alegre	66	1,5	1,5	26	5	60

Fonte: USAID, 1997

### 6.2.5 Fração de carbono orgânico degradável que realmente degrada

$$(\text{Pop}_{\text{urb}} \times \text{taxa RSD} \times \text{RSD}_f \times \text{FCM} \times \text{COD} \times \text{COD}_F \times F_{16/12 - R}) \times (1 - \text{OX})$$

Não se encontra disponível no Brasil estudo semelhante ao realizado por BINGEMER e CRUTZEN (citado no IPCC, 1996). Portanto, o valor utilizado para  $\text{COD}_F$  neste inventário é 77%, como recomenda o IPCC (1996).

### 6.2.6 Fração de metano no gás de aterro

$$(\text{Pop}_{\text{urb}} \times \text{taxa RSD} \times \text{RSD}_f \times \text{FCM} \times \text{COD} \times \text{COD}_F \times F_{16/12 - R}) \times (1 - \text{OX})$$

O IPCC recomenda que se considere a fração de metano no gás de aterro igual a 50%.

Uma amostra de dados de composição de gás de aterro da região metropolitana da cidade de São Paulo (RMSP) é apresentada na tabela a seguir e confirma o valor utilizado para a concentração dos gases de aterro no Brasil.

**Tabela 21 Concentrações percentuais de metano em amostras de gás de aterro na RMSP**

Aterro	% CH <sub>4</sub> no biogás
Vila Albertina	0,0
	60,3
	65,2
	60,1
	58,9
	43,2
	61,1
	60,9
	60,7
	58,6
	60,5
	61,1
	61,7
	61,7
	43,8
	48,8
	56,5
	58,0
	51,4
	45,3
	25,7
	57,0
	40,3
	48,6
	20,9
	57,7
	58,4
	59,8
	55,0
	60,0
	58,1
	57,2
	59,1

Aterro	% CH <sub>4</sub> no biogás
Bandeirantes	15,0
	59,2
	53,5
	64,7
	24,6
	39,7
	60,2
	59,9
	26,3
	59,5

São João	62,6
	61,7
	60,9
	60,0
	54,8
	8,4
	60,9

Sapopemba	4,7
-----------	-----

São Mateus	0,7
------------	-----

Santo Amaro	50,0
	2,2
	64,0
	59,9
	64,3

Fonte: USEPA, 1997

Uma média aritmética dessa amostra resulta em uma concentração média de metano igual a 49,4%. A principal conclusão que tiramos é que o valor sugerido pelo IPCC (1996) está de acordo com esta realidade. Todavia, esta é uma amostra selecionada de aterros com potencial para recuperação energética do metano. Talvez outros aterros não apresentem um potencial semelhante. Acredita-se num erro da ordem de 10%.

---

### 6.2.7 *Metano Recuperado*

$$(\text{Pop}_{\text{urb}} \times \text{taxa RSD} \times \text{RSD}_f \times \text{FCM} \times \text{COD} \times \text{COD}_F \times F_{16/12} - R) \times (1 - \text{OX})$$

A quantidade de metano recuperada ou queimada (R) é considerada insignificante.

Não se dispõe de dados a respeito da recuperação de metano nos aterros do Brasil. Pode-se afirmar, contudo, que a quantidade relativa de aterros viáveis para tal é baixa.

Alguns estudos recentes USAID, 1997 e USEPA,1997 investigam a possibilidade de recuperação dos gases de aterro nas grandes cidades brasileiras.

De qualquer modo, não são conhecidos valores de quantidades recuperadas e sabe-se que qualquer recuperação que houver é insignificante.

## **6.3 Emissões de metano oriundas do tratamento de águas residuárias**

### *6.3.1 Emissões de metano pelo tratamento de esgotos domésticos e comerciais.*

Pela metodologia do IPCC (1996), foram obtidos como estimativa para as emissões de metano oriundas do tratamento de efluentes líquidos de origem doméstica e comercial os valores de 39,34; 40,51; 41,36; 42,23; 43,11gigagramas ao ano respectivos a 1990; 1991; 1992; 1993 e 1994.

**Tabela 22 Emissões de metano pelo tratamento de esgotos domésticos e comerciais no Brasil - 1990 a 1994 (tabela 3.4 do IPCC)**

Módulo		Resíduos			
Sub-módulo		Emissões de metano pelo tratamento de esgotos domésticos e comerciais			
Planilha		3.4			
Folha		1 de 3 – Estimativa de geração carga orgânica e lodo			
Etapa 1					
a	b	c	d	e = (b * c * (1 - d))	f = (b * c * d)
Ano	População estimada	Valor da DBO <sub>5</sub> (kg DBO <sub>5</sub> / 1000 habitantes.ano)	Fração de matéria orgânica removida como lodo (%)	DBO anual (kg DBO <sub>5</sub> /ano)	Total de lodo gerado (kg DBO <sub>5</sub> / ano)
1990	107.789.249	18.250	0	1.967.153.794	0
1991	110.990.990	18.250	0	2.025.585.568	0
1992	113.314.572	18.250	0	2.067.990.939	0
1993	115.686.797	18.250	0	2.111.284.045	0
1994	118.108.685	18.250	0	2.155.483.501	0

**Tabela 23 Emissões de metano pelo tratamento de esgotos domésticos e comerciais no Brasil - 1990 a 1994 (Tabela 3.4 do IPCC - continuação)**

Módulo		Resíduos			
Sub-módulo		Emissões de metano pelo tratamento de esgotos domésticos e comerciais			
Planilha		3.4			
Folha		2 de 3 – Estimativa do fator de emissão para os sistemas de tratamento de esgotos do Brasil			
Etapa 2					
a	b	c	d = b * c	e	f = d * e
Sistema de tratamento de esgotos	Fração de esgotos tratada por sistema (%)	Fator de conversão de metano do sistema (FCM) (%)	Produto	Capacidade máxima de produção de metano (kg CH <sub>4</sub> / kg DBO <sub>5</sub> )	Fator de emissão de esgotos domésticos e comerciais (kg CH <sub>4</sub> / kg DBO <sub>5</sub> )
Não especificado	10	80	0,08	0,25	0,020
FCM agregado:			0,08	0,25	0,020



**Tabela 24 Emissões de metano pelo tratamento de esgotos domésticos e comerciais no Brasil - 1990 a 1994 (Tabela 3.4 do IPCC - continuação)**

Módulo		Resíduos			
Sub-módulo		Emissões de metano pelo tratamento de esgotos domésticos e comerciais			
Planilha		3.4.			
Folha		3 de 3 - Estimativa de emissão de metano pelo tratamento dos esgotos domésticos e comerciais e do lodo			
Etapa 4					
Ano	a DBO anual (kg DBO <sub>5</sub> /ano)	b Fator de emissão de esgotos domésticos e comerciais (kg CH <sub>4</sub> / kg DBO <sub>5</sub> )	c = a * b Emissões de metano sem recuperação ou queima (kg CH <sub>4</sub> / ano)	d Metano recuperado ou queimado (kg CH <sub>4</sub> / ano)	e = (c - d) * 10 <sup>-6</sup> Emissões líquidas de metano (Gg CH <sub>4</sub> /ano)
	da folha 1 de 3	da folha 2 de 3			
1990	1.967.153.794	0,020	39.343.076	0	39,34
1991	2.025.585.568	0,020	40.511.711	0	40,51
1992	2.067.990.939	0,020	41.359.819	0	41,36
1993	2.111.284.045	0,020	42.225.681	0	42,23
1994	2.155.483.501	0,020	43.109.670	0	43,11

### Esgotos domésticos

De acordo com a classificação sugerida pelo IPCC, os efluentes líquidos dividem-se pela sua origem em duas classes: esgotos domésticos e efluentes industriais. Na categoria dos domésticos estão incluídos os comerciais

#### 6.3.1.1 População urbana do Brasil

$$\text{Pop}_{\text{urb}} \times \text{taxaDBO}_5 \times \text{FET} \times \text{FCM} \times \text{MFEM} - \text{R}$$

As considerações sobre a estimativa da população urbana do Brasil estão no item sobre as emissões pelos resíduos sólidos domésticos.

#### 6.3.1.2 Taxa de geração de DBO<sub>5</sub> (Demanda Bioquímica de Oxigênio)

A geração de carga orgânica para a população do Brasil (FEACHEM, 1983) equivale a 0,050 kgDBO<sub>5</sub>/habitante.dia ou 0,0183 Gg DBO<sub>5</sub> por 1000 habitantes por ano.

#### 6.3.1.3 Produto da Fração de esgotos tratada (FET) x Fator de correção de metano (FCM)

$$\text{Pop}_{\text{urb}} \times \text{taxaDBO}_5 \times \text{FET} \times \text{FCM} \times \text{MFEM} - \text{R}$$

---

Por não existir no Brasil um trabalho que estime a fração dos esgotos tratada (FET) nem o fator de correção de metano (FCM), o inventário elaborado pela CETESB considerou as estimativas sugeridas pelo IPCC.

Preliminarmente pode ser feita uma estimativa da situação do tratamento dos esgotos no Brasil, gerando uma estimativa que corresponde ao produto FET x FCM.

A conclusão que se chega é que uma quantidade baixa dos esgotos é tratada e que a fração de degradação anaeróbia é proporcionalmente baixa, o que equivale a dizer que o produto FET x FCM deve corresponder a 8,3%, como é mostrado neste relatório, contra os 8% que propõe o IPCC (8% a 10%).

### Fossas sépticas

O IBGE classifica estes sistemas em individuais (para um único domicílio) e coletivos. A experiência acumulada pela CETESB em estudos de sistemas de fossas sépticas, principalmente no litoral paulista (CETESB, 1989), chegou às seguintes conclusões:

Entre a população usuária há pouco conhecimento de fossas. Em extensivas pesquisas domiciliares, ao se perguntar qual era o sistema de tratamento de esgotos existente no domicílio, obtiveram-se muitas das respostas do tipo 'Fossa séptica'. Estas, ao serem inspecionadas para uma confirmação da informação prestada, muitas vezes correspondiam às fossas negras, simples buracos escavados no terreno, sujeitos a maiores interferências de flutuações do lençol freático e a uma maior infiltração descontrolada dos esgotos gerados nas áreas adjacentes.

Uma outra ocorrência, extremamente comum também, era a existência de sistemas mal dimensionados e/ou mal construídos. Pequenos tanques de concreto são vendidos no comércio como fossas pré-moldadas. Boa parte delas estão em desacordo com as dimensões preconizadas pela ABNT(1997), ou seja, atendem a uma população maior do que aquela para a qual teria sido dimensionada.

Outro fato constante são falhas construtivas. A falta de anteparos na entrada e saída do sistema provoca curto-circuitos no fluxo interno da fossa, o que transforma o sistema em uma simples 'caixa de passagem', não havendo tempo suficiente (mínimo de 24h) para a digestão anaeróbia dos detritos.

---

Infiltrações do lençol freático, principalmente em época de chuvas, e vazamentos de sistemas não estanques também afetam o desempenho das fossas. Além disso, em locais de veraneio, onde a população aumenta consideravelmente em feriados curtos, o sistema que permanece parado durante a maior parte do tempo, é posto em funcionamento para atender a populações até dez vezes superiores à planejada, resultando que o processo anaeróbio, baseado em uma relativa constância, não consegue absorver tais flutuações.

A manutenção das fossas sépticas consiste na retirada parcial periódica do seu conteúdo; a falta de manutenção da fossa ou a sua manutenção incorreta comprometem o seu desempenho.

Em 1991 a CETESB constatou que, em um loteamento de classe média alta, em Ubatuba, litoral do Estado de São Paulo, 98% dos sistemas eram inadequados, ou seja, quase nenhuma fossa declarada como séptica funcionavam plenamente como tal.

Uma fossa séptica ideal remove aproximadamente 50% da carga orgânica de entrada. Levando-se em conta o exposto acima, de uma maneira extremamente conservadora pode-se considerar 50% do desempenho ideal comprometido, chegando-se portanto a uma eficiência final de 25%.

Para determinar a fração de esgotos tratada anaerobiamente definimos a seguir a maneira de avaliar essa estimativa:

**Tabela 25 Estimativa da população urbana em 1994 cujos esgotos são totalmente digeridos anaerobiamente por fossas**

População urbana em 1994 atendida por fossas (FUNDAÇÃO IBGE, 1996) (habitantes) a	26.904.953
Eficiência final das fossas b	25%
População urbana em 1994 cujos esgotos são totalmente digeridos anaerobiamente (habitantes equivalentes) $c = a * b$	6.726.238

### Lagoas

Os sistemas de tratamento por lagoas de estabilização, apresentados na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (FUNDAÇÃO IBGE, 1992), englobam:

- os completamente anaeróbios (lagoas anaeróbias);
- os completamente aeróbios (lagoas de maturação e aeradas) e
- os seus intermediários (denominados lagoas facultativas).

As lagoas anaeróbias, em geral, precedem uma ou mais lagoas facultativas e de maturação. Este é o chamado sistema “australiano”. Neste, os tempos de retenção hidráulica estão situados, para efeito de dimensionamento, numa razão anaeróbio: facultativo da ordem de 5:25. Assim, cerca de 20% do volume destas lagoas sofre completa degradação anaeróbia.

Quando não são utilizadas lagoas em série anaeróbia-facultativa, adota-se uma única lagoa de estabilização, dentro da qual há simultaneamente atividades bacterianas aeróbia e anaeróbia.

O IBGE, na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE,1992), utiliza apenas a denominação 'lagoas de estabilização' para todas as categorias de lagoas.

Nesta estimativa, as lagoas de estabilização são consideradas desmembradas em lagoas equivalentes: anaeróbia e facultativa com a mesma razão de 20%, em termos de volume.

Para efeito de dimensionamento, a ABNT estima que cada habitante produz entre 100 e 160 litros de efluentes domésticos, para padrões baixo e alto de renda respectivamente. Com efeito, a CETESB, em experiência piloto realizada no Estado de São Paulo comprovou que populações de baixa renda produzem em média 100 litros diários de esgotos por habitante.

Como as lagoas para tratamento de esgotos são sistemas que necessitam de grande quantidade de área, estas devem estar situadas em áreas onde o valor do terreno seja relativamente baixo. Dessa maneira, considera-se que a população atendida por esse tipo de sistema seja a de menor renda.

Diante dessas duas considerações anteriores pode-se assumir que as populações que se utilizam de lagoas para o tratamento de esgotos tenham uma geração média de efluentes da ordem de 100 litros diários por habitante, permitindo o cálculo a seguir:

**Tabela 26 Estimativa da população urbana em 1994 cujos esgotos são totalmente digeridos anaerobiamente por lagoas**

Volume de esgotos tratados por lagoas em 1989 (FUNDAÇÃO IBGE, 1989) (mil m <sup>3</sup> /dia) <b>a</b>	420,39
Volume de esgotos gerados por habitante ao dia (m <sup>3</sup> /hab.dia) <b>b</b>	0,1
Fração de esgotos tratada anaerobiamente nas lagoas <b>c</b>	20%
Taxa de crescimento populacional do período 1989-1994 <b>d</b>	7%
População urbana em 1994 cujos esgotos são totalmente digeridos anaerobiamente em lagoas (habitantes equivalentes) <b>e</b> = ((a*1000)/b)*(c/100)*(1+d/100)	899.635

---

### Reatores UASB, Imhoff, etc.

A população atendida por estes tipos de sistemas não é conhecida.

Levantamentos feitos por Vieira (1994) apontam no Brasil um total aproximado de 2 milhões de habitantes atendidos por reatores UASB, equivalente a 2,14 milhões quando projetados para 1994. Os sistemas Imhoff estão embutidos no Censo do IBGE na categoria ETE (Estação de Tratamento de Esgotos), o que impede sua separação dos demais tratamentos aeróbios, como os de lodos ativados. Sugere-se, para os próximos recenseamentos, um maior detalhamento.

### Soma das parcelas de população equivalente cujos esgotos são tratados anaerobiamente

Somando-se as parcelas obtidas acima, tem-se:

**Tabela 27 Estimativa da população urbana em 1994 cujos esgotos são totalmente digeridos anaerobiamente por lagoas**

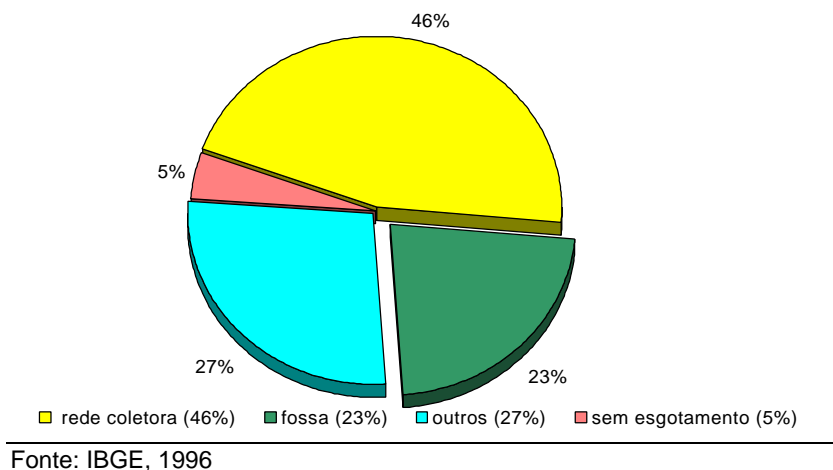
Habitantes equivalentes atendidos (100% anaerobiamente) por fossas <b>a</b>	6.726.238
Idem, por lagoas <b>b</b>	899.628
Idem, por reatores anaeróbios <b>c</b>	2.140.000
Habitantes equivalentes em 1994 <b>d</b> = a + b + c	9.765.866
Que, divididos pelo total de habitantes urbanos em 1994 (IBGE) <b>e</b>	118.059.650
é igual ao percentual dos efluentes urbanos digeridos anaerobiamente. <b>f</b> = d / e * 100	8,3%

coerente com os valores citados pelo IPCC (8% a 10%)

### Considerações sobre as condições sanitárias no Brasil

O que se observa no Brasil é a precariedade nos serviços de saneamento. Os escassos serviços limitam-se a coletar os esgotos domésticos e comerciais despejando-os em rios, lagos ou região costeira.

De acordo com a Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílios (FUNDAÇÃO IBGE, 1996), dos esgotos domésticos urbanos gerados no país, 5% não têm nenhum tipo coleta, enquanto que 23% destinam-se a fossas sépticas e outros 46% são esgotados por rede coletora.



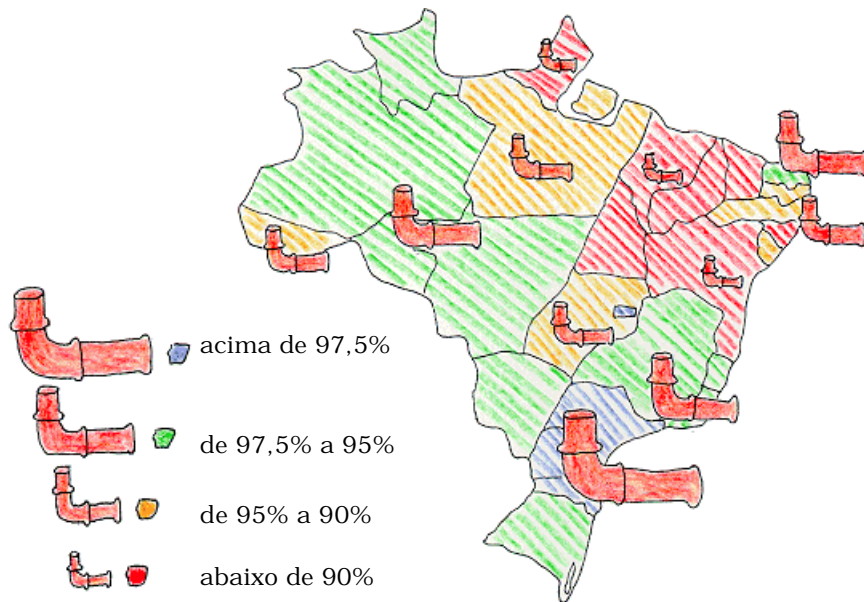
**Figura 22 População atendida por serviços de esgotamento no Brasil**

Cumpra-se observar que a existência de rede coletora não implica tratamento adequado dos esgotos.

A categoria “fossa séptica” também merece comentários. Ao se recensear o sistema de tratamento de um domicílio, muitas vezes o morador, temendo uma autuação, descreve uma fossa negra como séptica. Problemas construtivos e de manutenção, também comprometem o conceito de fossas como um sistema eficiente de tratamento de esgotos domésticos ou ainda como um gerador de metano puramente anaeróbio.

Tomando como referência dados do Censo (IBGE) de 1991 e da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 1989, temos ainda que cerca de 9,4 milhões de residências são atendidas por esgotamento sanitário (coleta). Considerando que, em 1991, cada residência urbana tinha em média 4,06 habitantes, temos aproximadamente 38,2 milhões de habitantes em área urbana atendidos por esgotamento sanitário em um universo de 110,1 milhões, ou seja, 34,7% da população atendida por esgotamento sanitário o que está em desacordo com a informação acima de 46% do IBGE, 1996.

A Figura 23 mostra a precariedade do atendimento por serviços de coleta urbana de esgotos no país, por Estado.



**Figura 23** Porcentagem de população urbana atendida por serviços de coleta de esgotos (FUNDAÇÃO IBGE, 1996).

O que se conclui é que os Estados das regiões Sul e Sudeste têm condições sanitárias superiores às dos Estados das demais regiões do Brasil.

A tabela a seguir mostra que dentre as capitais do país, apenas 19,9% dos esgotos coletados são submetidos a algum tipo de tratamento. Destes processos, poucos têm alguma probabilidade de serem significativamente anaeróbios para efeito de geração de metano.

Reatores anaeróbios, tanques Imhoff, lagoas anaeróbias e lagoas facultativas são algumas das tecnologias empregadas no tratamento de esgotos domésticos com geração residual de metano.

A classificação do IBGE não permite distinguir entre tratamentos anaeróbio e aeróbio. Sabe-se que a categoria dos anaeróbios está representada parcialmente nos universos abrangidos por "ETE", "lagoa de estabilização" e "outros".

**Tabela 28 Quantidade de esgotos coletados e tratados no Brasil**

	Total	Volume de esgotos tratados por dia							
		Tipo de tratamento							
		Total	ETE	Tratamento preliminar	Tratamento primário	Lagoa de estabilização	Lagoa aerada	Valo de oxidação	Outro
Fração correspondente (%)	100,0	19,9	8,6	1,8	0,2	3,9	0,4	0,4	4,4
Volume total de esgotos coletados por dia (m <sup>3</sup> )	10.667.823	2.124.925	921.302	195.952	25.345	420.387	45.014	47.088	469.837

Fonte IBGE, 1989

Deve-se notar que do total de esgotos coletados apenas 19,9% sofrem algum tipo de tratamento e que os demais 80,1% são lançados diretamente nos rios, lagos e região costeira.

É claro que a degradação dos esgotos lançados em rios, lagos e região costeira pode ocorrer anaerobiamente. Para tal consideração, não há ainda metodologia conhecida que leve em conta este fator.

### 6.3.2 Emissões de metano oriundas do tratamento de resíduos líquidos de origem industrial

Pela metodologia do IPCC (1996), foram obtidos como estimativa para as emissões de metano oriundas do tratamento de resíduos líquidos de origem industrial os valores respectivos de 80,00; 79,82; 82,01; 82,71 e 84,41 gigagramas ao ano para 1990; 1991; 1992; 1993 e 1994.



**Tabela 29 Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais no Brasil - 1990 (planilha 3.5, IPCC)**

Módulo		Resíduos líquidos industriais				
Sub-Módulo		Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais				
Planilha		3.5				
Folha		Etapa 1				
Indústrias		a		b		c = a * b
		Produção (t/ano)	REF	Fator de emissão (KgDBO <sub>5</sub> /t. pr.)	REF	Emissão (KgDBO <sub>5</sub> /ano)
Indústria metalúrgica		41.708.000	4	0,10	5	4.170.800
Automóveis		916.661	4	19,30	5	17.691.557
Alimentos e bebidas		3.749.150	2	62,10	1	232.822.215
	Cervejas	119.900	2	12,50	1	1.498.750
	Enlatados	308.954	9	0,26	11	80.328
	Vinho	2.835.762	4	7,00	7	19.850.334
	Abatedouro	729.545	4	30,00	1	21.886.350
		1.604.696	4	7,13	1	11.441.482
		6.223	4	6,40	1	39.827
		11.291	4	6,40	1	72.262
		9.687	4	6,40	1	61.997
	Produtos lácteos	13.039.250	2	11,00	1	143.431.750
		4.003.625	2	22,00	1	88.079.750
		115.438	2	5,60	9	646.453
		229.850	2	41,00	9	9.423.850
		60.013	2	29,40	9	1.764.382
		207.213	2	28,80	9	5.967.734
		2.172.213	2	200,00	1	434.442.600
	Acúcar	118.575	2	156,00	1	18.497.700
	Café solúvel	1.506.800	2	12,90	1	19.437.720
	Óleo e gordura vegetal	258.900	2	7,90	1	2.045.310
	Peixe em conservas	4.242.175	2	2,50	1	10.605.438
	Refrigerante	4.346.520	4	55,00	1	239.058.600
	Celulose	4.914.113	4	8,00	1	39.312.904
	Papel	68.042.365	4	3,40	1	231.344.041
Petróleo / Refinaria petroquímica		665.700	6	155,00	1	103.183.500
Têxtil		29.100	6	711,00	1	20.690.100
	Algodão	63.300	6	45,00	1	2.848.500
	Lã	260.929	3	1,90	1	495.765
	Nylon	50.747	3	0,35	1	17.761
Borracha		60.522	3	0,35	1	21.183
Química		87.904	3	63,00	1	5.537.952
	Acetato de vinila	-	-	-	-	-
	Acetona	386.888	3	0,25	1	96.722
	Ácido acético	72.378	3	63,00	1	4.559.814
	Ácido fosfórico	9.009	3	47,00	1	423.423
	Ácido nítrico 99%	168.557	3	0,49	1	82.593
	Ácido tereftálico	1.152.563	3	0,20	1	230.513
	Acrilatos	1.105.927	3	0,10	1	110.593
	Alcool metílico / metanol	12.567	3	63,00	1	791.721
	Amônia	204.728	3	0,63	1	128.979
	Benzeno, tolueno e xileno - BTX	42.059	3	63,00	1	2.649.717
	Bifenol A	39.366	3	0,11	1	4.330
	Butadieno	54.170	3	63,00	1	3.412.710
	Caprolactona	306.217	3	1,00	1	306.217
	Ciclohexano	441.007	3	0,13	1	57.331
	Dimetiltereftalato	99.494	3	63,00	1	6.268.122
	Estireno monômero	97.138	3	63,00	1	6.119.694
	Etilbenzeno	177.391	3	0,35	1	62.087
	Etilenoglicóis	6.803	3	0,35	1	2.381
	Fenol	14.755	3	0,21	1	3.099
	Formaldeído	2.359	3	136,00	5	320.824
	Metilaminas (mono, di e tri)	504.330	3	10,00	1	5.043.300
	Nitrocélulose	448.408	10	135,00	1	60.535.080
	Pigmentos	11.728.570	8	54,00	1	636.258.780
	PVC					
Curtume						
Alcool						
Total (sem as emissões devidas à fabricação do álcool)						1.777.678.145

**Referências:**

- |                  |   |                 |                 |
|------------------|---|-----------------|-----------------|
| 1 SALVADOR, 1991 | 4 IBGE91, 1992, 1992, 1993, 1994, 1995 E 1996 | 7 DERÍSIO, 1992 | 10 IBGE, 1997   |
| 2 ABIA, 1995     | 5 CETESB, sem data                            | 8 OMETTO, 1993  | 11 UVIBRA, 1997 |
| 3 ABIQUIM, 1995  | 6 SINDITEXTIL/ABIT, 1996                      | 9 GARCIA, 1997  |                 |

**Tabela 30 Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais no Brasil - 1991 (planilha 6.3, 1 de 4, IPCC)**

Módulo		Resíduos líquidos industriais					
Sub-Módulo		Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais					
Planilha		6.3					
Folha		Etapa 1					
Indústrias		a	REF	b	REF	c = a * b	
		Produção (t/ano)		Fator de emissão (KgDBO <sub>5</sub> /t. pr.)		Emissão (KgDBO <sub>5</sub> /ano)	
Indústria metalúrgica		45.312.000	4	0,10	5	4.531.200	
Automóveis		705.303	4	19,30	5	13.612.348	
Alimentos e bebidas	Cervejas	3.881.100	2	62,10	1	241.016.310	
	Enlatados	161.135	2	12,50	1	2.014.188	
	Vinho	293.005	9	0,26	11	76.181	
	Abatedouro	Abate de bovinos	2.921.430	4	7,00	7	20.450.010
		Abate de suínos	812.247	4	30,00	1	24.367.410
		Abate de aves	1.800.857	4	7,13	1	12.551.973
		Abate de eqüinos	12.322	4	6,40	1	78.861
	Produtos lácteos	Abate de ovinos	12.499	4	6,40	1	79.994
		Abate de caprinos	11.363	4	6,40	1	72.723
		Leite cru	13.231.500	2	11,00	1	145.546.500
		Leite pasteurizado	4.119.450	2	22,00	1	90.627.900
		Leite condensado	126.525	2	5,60	9	708.540
		Leite em pó	244.400	2	41,00	9	10.020.400
		Manteiga	60.875	2	29,40	9	1.789.725
		Queijos	217.075	2	28,80	9	6.251.760
	Acúcar	2.110.375	2	200,00	1	422.075.000	
	Café solúvel	123.450	2	156,00	1	19.258.200	
	Óleo e gordura vegetal	1.499.800	2	12,90	1	19.347.420	
	Peixe em conservas	265.200	2	7,90	1	2.095.080	
	Refrigerante	4.395.550	2	2,50	1	10.998.875	
Papel e celulose	Celulose	4.346.520	4	55,00	1	239.058.600	
	Papel	4.914.113	4	8,00	1	39.312.904	
Petróleo / Refinaria petroquímica		63.306.680	4	3,40	1	215.242.712	
Têxtil	Algodão	620.050	6	155,00	1	96.107.750	
	Lã	28.075	6	711,00	1	19.961.325	
	Nylon	65.100	6	45,00	1	2.929.500	
Borracha		263.631	3	1,90	1	500.899	
Química	Acetato de vinila	59.639	3	0,35	1	20.874	
	Acetona	61.226	3	0,35	1	21.429	
	Acido acético	109.926	3	63,00	1	6.925.338	
	Acido fosfórico	-	-	-	-	-	
	Acido nítrico 99%	404.823	3	0,25	1	101.206	
	Acido tereftálico	86.600	3	63,00	1	5.455.800	
	Acrilatos	10.043	3	47,00	1	472.021	
	Alcool metílico / metanol	206.641	3	0,49	1	101.254	
	Amônia	1.012.110	3	0,20	1	202.422	
	Benzeno, tolueno e xileno - BTX	1.037.158	3	0,10	1	103.716	
	Bifenol A	11.733	3	63,00	1	739.179	
	Butadieno	186.434	3	0,63	1	117.453	
	Caprolactona	47.193	3	63,00	1	2.973.159	
	Ciclohexano	43.059	3	0,11	1	4.736	
	Dimetiltereftalato	42.872	3	63,00	1	2.700.936	
	Estireno monômero	279.963	3	1,00	1	279.963	
	Etilbenzeno	314.440	3	0,13	1	40.877	
	Etilenoglicóis	114.770	3	63,00	1	7.230.510	
	Fenol	98.445	3	63,00	1	6.202.035	
	Formaldeido	194.594	3	0,35	1	68.108	
	Metilaminas (mono, di e tri)	8.253	3	0,35	1	2.889	
	Nitrocélulose	15.346	3	0,21	1	3.223	
	Pigmentos	2.838	3	136,00	5	385.968	
	PVC	500.264	3	10,00	1	5.002.640	
	Curtume		547.993	10	135,00	1	73.979.055
	Alcool		12.752.130	8	54,00	1	688.615.020
	Total (sem as emissões devidas à fabricação do álcool)						1.773.809.078

**Referências:**

- |                  |   |                 |                 |
|------------------|---|-----------------|-----------------|
| 1 SALVADOR, 1991 | 4 IBGE91, 1992, 1992, 1993, 1994, 1995 E 1996 | 7 DERÍSIO, 1992 | 10 IBGE, 1997   |
| 2 ABIA, 1995     | 5 CETESB, sem data                            | 8 OMETTO, 1993  | 11 UVIBRA, 1997 |
| 3 ABIQUIM, 1995  | 6 SINDITEXTIL/ABIT, 1996                      | 9 GARCIA, 1997  |                 |

**Tabela 31 Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais no Brasil - 1992 (planilha 6.3, 1 de 4, IPCC)**

Módulo		Resíduos líquidos industriais				
Sub-Módulo		Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais				
Planilha		6.3				
Folha		Etapa 1				
Indústrias		a	REF	b	REF	c = a * b
		Produção (t/ano)		Fator de emissão (KgDBO <sub>5</sub> /t. pr.)		Emissão (KgDBO <sub>5</sub> /ano)
Indústria metalúrgica		47.086.000	4	0,10	5	4.708.600
Automóveis		1.073.761	4	19,30	5	20.723.587
Alimentos e bebidas		4.013.050	2	62,10	1	249.210.405
	Cervejas	202.370	2	12,50	1	2.529.625
	Enlatados	277.056	9	0,26	11	72.035
	Vinho	3.061.761	4	7,00	7	21.432.327
	Abatedouro	892.616	4	30,00	1	26.778.480
		1.911.817	4	7,13	1	13.325.364
		20.047	4	6,40	1	128.301
		12.047	4	6,40	1	77.101
		11.538	4	6,40	1	73.843
	Produtos lácteos	13.423.750	2	11,00	1	147.661.250
		4.235.275	2	22,00	1	93.176.050
		137.613	2	5,60	9	770.633
		258.950	2	41,00	9	10.616.950
		61.738	2	29,40	9	1.815.097
		226.938	2	28,80	9	6.535.814
	Queijos	2.048.538	2	200,00	1	409.707.600
	Acúcar	128.325	2	156,00	1	20.018.700
	Café solúvel	1.492.800	2	12,90	1	19.257.120
	Óleo e gordura vegetal	271.500	2	7,90	1	2.144.850
	Peixe em conservas	4.548.925	2	2,50	1	11.372.313
	Refrigerante	4.876.904	4	55,00	1	268.229.720
	Celulose	4.915.379	4	8,00	1	39.323.032
	Papel	69.376.058	4	3,40	1	235.878.597
Petróleo / Refinaria petroquímica		574.400	6	155,00	1	89.032.000
Têxtil		27.050	6	711,00	1	19.232.550
	Algodão	66.900	6	45,00	1	3.010.500
	Lã	272.525	3	1,90	1	517.798
	Nylon	42.070	3	0,35	1	14.725
Borracha		57.045	3	0,35	1	19.966
Química		104.301	3	63,00	1	6.570.963
	Acetato de vinila	-	-	-	-	-
	Acetona	398.608	3	0,25	1	99.652
	Acido acético	83.345	3	63,00	1	5.250.735
	Acido fosfórico	9.985	3	47,00	1	469.295
	Acido nítrico 99%	204.447	3	0,49	1	100.179
	Acido tereftálico	1.038.436	3	0,20	1	207.687
	Acrilatos	1.017.602	3	0,10	1	101.760
	Alcool metílico / metanol	9.627	3	63,00	1	606.501
	Amônia	203.243	3	0,63	1	128.043
	Benzeno, tolueno e xileno - BTX	41.699	3	63,00	1	2.627.037
	Butadieno	45.106	3	0,11	1	4.962
	Caprolactona	56.934	3	63,00	1	3.586.842
	Ciclohexano	253.605	3	1,00	1	253.605
	Dimetiltereftalato	286.812	3	0,13	1	37.286
	Estireno monômero	99.224	3	63,00	1	6.251.112
	Etilbenzeno	91.345	3	63,00	1	5.754.735
	Etilenoglicóis	206.421	3	0,35	1	72.247
	Fenol	8.298	3	0,35	1	2.904
	Formaldeido	16.783	3	0,21	1	3.524
	Metilaminas (mono, di e tri)	2.396	3	136,00	5	325.856
	Nitrocélulose	488.940	3	10,00	1	4.889.400
	Pigmentos	502.212	10	135,00	1	67.798.620
	PVC	11.764.870	8	54,00	1	635.302.980
Curtume						
Alcool						
Total (sem as emissões devidas à fabricação do álcool)						1.822.537.878

**Referências:**

- |                  |   |                 |                 |
|------------------|---|-----------------|-----------------|
| 1 SALVADOR, 1991 | 4 IBGE91, 1992, 1992, 1993, 1994, 1995 E 1996 | 7 DERÍSIO, 1992 | 10 IBGE, 1997   |
| 2 ABIA, 1995     | 5 CETESB, sem data                            | 8 OMETTO, 1993  | 11 UVIBRA, 1997 |
| 3 ABIQUIM, 1995  | 6 SINDITEXTIL/ABIT, 1996                      | 9 GARCIA, 1997  |                 |

**Tabela 32 Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais no Brasil - 1993 (planilha 6.3, 1 de 4, IPCC)**

Módulo		Resíduos líquidos industriais					
Sub-Módulo		Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais					
Planilha		6.3					
Folha		Etapa 1					
Indústrias		a	REF	b		c = a * b	
				Produção (t/ano)	Fator de emissão (KgDBO <sub>5</sub> /t. pr.)		REF
Indústria metalúrgica		49.189.000	4	0,10	5	4.918.900	
Automóveis		1.391.376	4	19,30	5	26.853.557	
Alimentos e bebidas	Cervejas	4.145.000	2	62,10	1	257.404.500	
	Enlatados	243.605	2	12,50	1	3.045.063	
	Vinho	261.107	9	0,26	11	67.888	
	Abatedouro	Abate de bovinos	3.123.781	4	7,00	7	21.866.467
		Abate de suínos	885.142	4	30,00	1	26.554.260
		Abate de aves	2.074.395	4	7,13	1	14.665.973
		Abate de eqüinos	21.191	4	6,40	1	135.622
		Abate de ovinos	12.839	4	6,40	1	82.170
	Produtos lácteos	Abate de caprinos	11.388	4	6,40	1	72.883
		Leite cru	13.616.000	2	11,00	1	149.776.000
		Leite pasteurizado	4.351.100	2	22,00	1	95.724.200
		Leite condensado	148.700	2	5,60	9	832.720
		Leite em pó	273.500	2	41,00	9	11.213.500
		Manteiga	62.600	2	29,40	9	1.840.440
		Queijos	236.800	2	28,80	9	6.819.840
	Açúcar	1.986.700	2	200,00	1	397.340.000	
	Café solúvel	133.200	2	156,00	1	20.779.200	
	Óleo e gordura vegetal	1.485.800	2	12,90	1	19.166.820	
	Peixe em conservas	277.800	2	7,90	1	2.194.620	
	Refrigerante	4.702.300	2	2,50	1	11.755.750	
Papel e celulose	Celulose	5.010.188	4	55,00	1	275.560.340	
	Papel	5.301.040	4	8,00	1	42.408.320	
Petróleo / Refinaria petroquímica		69.116.448	4	3,40	1	234.995.923	
Têxtil	Algodão	528.750	6	155,00	1	81.956.250	
	Lã	26.025	6	711,00	1	18.503.775	
	Nylon	68.700	6	45,00	1	3.091.500	
Borracha		279.366	3	1,90	1	530.795	
Química	Acetato de vinila	43.261	3	0,35	1	15.141	
	Acetona	64.430	3	0,35	1	22.551	
	Acido acético	99.517	3	63,00	1	6.269.571	
	Acido fosfórico	-	-	-	-	-	
	Acido nítrico 99%	416.789	3	0,25	1	104.197	
	Acido tereftálico	103.322	3	63,00	1	6.509.286	
	Acrilatos	7.909	3	47,00	1	371.723	
	Alcool metílico / metanol	223.496	3	0,49	1	109.513	
	Amônia	1.153.336	3	0,20	1	230.667	
	Benzeno, tolueno e xileno - BTX	1.048.636	3	0,10	1	104.864	
	Bifenol A	13.674	3	63,00	1	861.462	
	Butadieno	229.880	3	0,63	1	144.824	
	Caprolactona	50.824	3	63,00	1	3.201.912	
	Ciclohexano	55.308	3	0,11	1	6.084	
	Dimetilterefalato	60.657	3	63,00	1	3.815.091	
	Estireno monômero	223.413	3	1,00	1	223.413	
	Etilbenzeno	237.793	3	0,13	1	30.913	
	Etilenoglicóis	111.455	3	63,00	1	7.021.665	
	Fenol	105.259	3	63,00	1	6.631.317	
	Formaldeido	244.942	3	0,35	1	85.730	
	Metilaminas (mono, di e tri)	7.243	3	0,35	1	2.535	
	Nitrocelulose	18.141	3	0,21	1	3.810	
	Pigmentos	2.891	3	136,00	5	393.176	
	PVC	510.794	3	10,00	1	5.107.940	
	Curtime		493.152	10	135,00	1	66.575.520
	Alcool		10.762.719	8	54,00	1	581.186.826
	<b>Total (sem as emissões devidas à fabricação do álcool)</b>						<b>1.838.000.180</b>

**Referências:**

- |                  |   |                 |                 |
|------------------|---|-----------------|-----------------|
| 1 SALVADOR, 1991 | 4 IBGE91, 1992, 1992, 1993, 1994, 1995 E 1996 | 7 DERÍSIO, 1992 | 10 IBGE, 1997   |
| 2 ABIA, 1995     | 5 CETESB, sem data                            | 8 OMETTO, 1993  | 11 UVIBRA, 1997 |
| 3 ABIQUIM, 1995  | 6 SINDITEXTIL/ABIT, 1996                      | 9 GARCIA, 1997  |                 |

**Tabela 33 Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais no Brasil - 1994 (planilha 6.3, 1 de 4, IPCC)**

Módulo		Resíduos líquidos industriais					
Sub-Módulo		Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais					
Planilha		6.3					
Folha		Etapa 1					
Indústrias		a Produção (t/ano)	REF	b		c = a * b Emissão (KgDBO <sub>5</sub> /ano)	
				Fator de emissão (KgDBO <sub>5</sub> /t. pr.)	REF		
Indústria metalúrgica		50.924.000	4	0,10	5	4.583.160	
Automóveis		1.581.389	4	19,30	5	30.520.808	
Alimentos e bebidas	Cervejas	4.276.950	2	62,10	1	265.598.595	
	Enlatados	284.840	2	12,50	1	3.560.500	
	Vinho	245.158	9	0,26	11	63.741	
	Abatedouro	Abate de bovinos	3.333.479	4	7,00	7	23.334.353
		Abate de suínos	976.874	4	30,00	1	29.306.220
		Abate de aves	2.459.307	4	7,13	1	17.215.149
		Abate de eqüinos	18.337	4	6,40	1	117.357
		Abate de ovinos	11.015	4	6,40	1	70.496
	Produtos lácteos	Abate de caprinos	10.202	4	6,40	1	65.293
		Leite cru	13.808.250	2	11,00	1	151.890.750
		Leite pasteurizado	4.466.925	2	22,00	1	98.272.350
		Leite condensado	159.788	2	5,60	9	894.813
		Leite em pó	288.050	2	41,00	9	11.810.050
		Manteiga	63.463	2	29,40	9	1.865.812
		Queijos	246.663	2	28,80	9	7.103.894
	Açúcar	1.924.863	2	200,00	1	384.972.600	
	Café solúvel	138.075	2	156,00	1	21.539.700	
	Óleo e gordura vegetal	1.478.800	2	12,90	1	19.076.520	
	Peixe em conservas	284.100	2	7,90	1	2.244.390	
	Refrigerante	4.855.675	2	6,40	1	12.139.188	
Papel e celulose	Celulose	5.376.271	4	55,00	1	295.694.905	
	Papel	5.653.597	4	8,00	1	45.228.776	
Petróleo / Refinaria petroquímica		71.845.506	4	3,40	1	244.274.720	
Têxtil	Algodão	483.100	6	155,00	1	74.880.500	
	Lã	25.000	6	711,00	1	17.775.000	
	Nylon	70.500	6	45,00	1	3.172.500	
Borracha		310.701	3	1,90	1	590.332	
Química	Acetato de vinila	49.813	3	0,35	1	17.435	
	Acetona	65.653	3	0,35	1	22.979	
	Acido acético	71.159	3	63,00	1	4.483.017	
	Acido fosfórico	-	-	-	-	-	
	Acido nítrico 99%	554.265	3	0,25	1	138.566	
	Acido tereftálico	118.214	3	63,00	1	7.447.482	
	Acrilatos	9.351	3	47,00	1	439.497	
	Alcool metílico / metanol	220.310	3	0,49	1	107.952	
	Amônia	1.156.830	3	0,20	1	231.366	
	Benzeno, tolueno e xileno - BTX	1.213.585	3	0,10	1	121.359	
	Bifenol A	17.670	3	63,00	1	1.113.210	
	Butadieno	267.149	3	0,63	1	168.304	
	Caprolactona	50.838	3	63,00	1	3.202.794	
	Ciclohexano	60.824	3	0,11	1	6.691	
	Dimetiltereftalato	64.959	3	63,00	1	4.092.417	
	Estireno monômero	261.613	3	1,00	1	261.613	
	Etilbenzeno	345.514	3	0,13	1	44.917	
	Etilenoglicóis	114.084	3	63,00	1	7.187.292	
	Fenol	112.799	3	63,00	1	7.106.337	
	Formaldeido	261.775	3	0,35	1	91.621	
	Metilaminas (mono, di e tri)	8.835	3	0,35	1	3.092	
	Nitrocelulose	19.087	3	0,21	1	4.008	
	Pigmentos	3.566	3	136,00	5	484.976	
	PVC	593.413	3	10,00	1	5.934.130	
	Curtime		483.689	10	135,00	1	65.298.015
	Alcool		9.760.567	8	54,00	1	527.070.618
	<b>Total (sem as emissões devidas à fabricação do álcool)</b>						<b>1.875.871.540</b>

**Referências:**

- |                  |   |                 |                 |
|------------------|---|-----------------|-----------------|
| 1 SALVADOR, 1991 | 4 IBGE91, 1992, 1992, 1993, 1994, 1995 E 1996 | 7 DERÍSIO, 1992 | 10 IBGE, 1997   |
| 2 ABIA, 1995     | 5 CETESB, sem data                            | 8 OMETTO, 1993  | 11 UVIBRA, 1997 |
| 3 ABIQUIM, 1995  | 6 SINDITEXTIL/ABIT, 1996                      | 9 GARCIA, 1997  |                 |

**Tabela 34 Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais no Brasil - 1990 a 1994 (planilha 6-3, 2 de 4, do IPCC)**

Módulo		Resíduos			
Sub-módulo		Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais			
Planilha		6-3			
Folha		2 de 4 Estimativa do fator de emissão por sistema de tratamento de esgotos			
Etapa 2					
a	b	c	d = b * c	e	f = d * e
Sistema de tratamento de esgotos	Fração de esgotos tratada pelo sistema	Fator de conversão de metano (FCM)	Produto	Capacidade máxima de produção de metano (kg CH <sub>4</sub> / kg DBO <sub>5</sub> )	Fator de emissão de metano pela geração de efluentes industriais (kg CH <sub>4</sub> / kg DBO <sub>5</sub> )
Não especificado	0,20	0,90	0,18	0,25	0,045
FCM agregado: 0,90			0,18	0,25	0,045

**Tabela 35 Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais no Brasil - 1990 a 1994 (planilha 6.3, 4 de 4, IPCC)**

Módulo		Resíduos			
Sub-módulo		Emissões de metano pelo tratamento de efluentes e lodos industriais			
Planilha		6-3			
Folha		4 de 4 Estimativa das emissões de metano pelo tratamento dos efluentes industriais			
Etapa 4					
Ano	a	b	c = a * b	d	e = (c - d) * 10 <sup>-6</sup>
	Emissão de carga orgânica (kg DBO <sub>5</sub> / ano)	Fator de emissão (kg CH <sub>4</sub> /kg DBO <sub>5</sub> )	Emissões de metano sem recuperação ou queima	Metano recuperado ou queimado	Emissões líquidas de metano (Gg CH <sub>4</sub> )/ano
1990	1.777.678.145	0,045	79.995.517	0	80,00
1991	1.773.809.078	0,045	79.821.409	0	79,82
1992	1.822.537.878	0,045	82.014.205	0	82,01
1993	1.838.000.180	0,045	82.710.008	0	82,71
1994	1.875.871.540	0,045	84.414.219	0	84,41

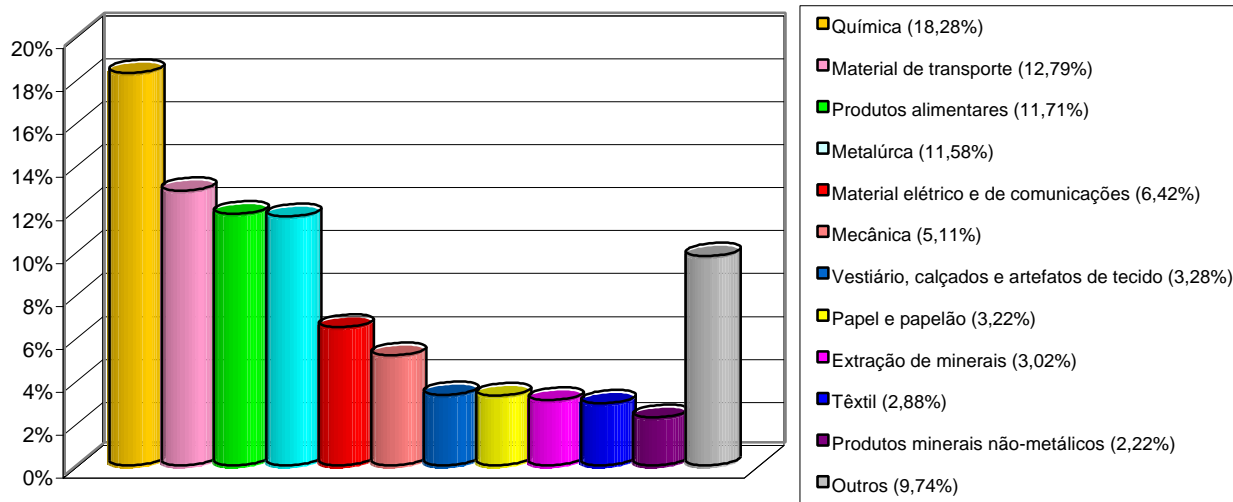
### 6.3.2.1 Determinação das principais atividades industriais do Brasil

A quantificação dos efluentes gerados por tipos de indústria é o primeiro passo a ser dado a fim de se determinar a origem das emissões de gás metano pela digestão anaeróbia.

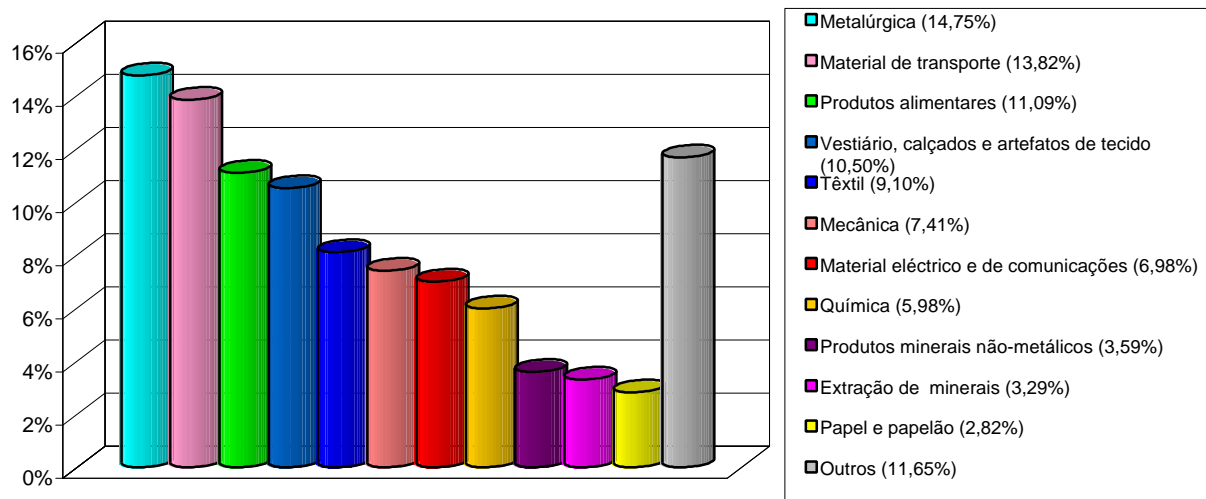
Todavia, a existência desses dados no Brasil é escassa. Em pesquisa bibliográfica não foi obtido nenhum estudo feito pelo órgão responsável do Governo Federal, a Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a esse respeito. Os dados a respeito da indústria nacional em geral estão restritos a informações contábeis.

O Anuário Estatístico do Brasil (IBGE) publicado desde 1.908, traz informações de uma parcela das indústrias classificadas segundo a sua importância relativa no parque

industrial nacional. Dentre essas informações destacam-se as classificações pela 'receita líquida de vendas dos produtos fabricados' por empresa e pelo 'número de funcionários ligados à produção', por setor de atividade industrial.



**Figura 24** Principais tipos de indústrias do Brasil segundo a receita líquida de vendas dos produtos fabricados pela empresa em 1.990 (FUNDAÇÃO IBGE, 1995)

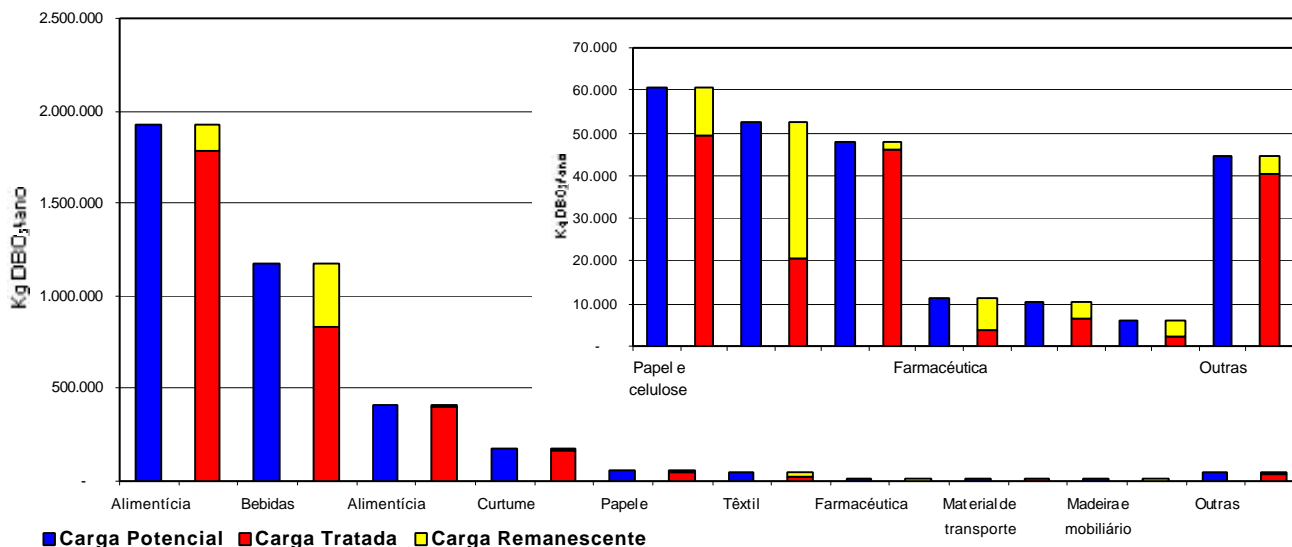


**Figura 25 Principais tipos de indústrias do Brasil segundo pessoal ocupado ligado à produção em 31 de dezembro de 1.990 (FUNDAÇÃO IBGE, 1995)**

Além das informações da Fundação IBGE, foi utilizada a experiência da CETESB através de informações sobre o Estado de São Paulo, aplicáveis ao país, sintetizada em duas formas:

A primeira é o Sistema de Licenças e Penalidades (SILP) da CETESB, um banco de dados onde são registrados diariamente dados de todas as atividades ligadas ao controle de poluição ambiental de origem industrial no Estado de São Paulo. Neste banco estão contidas informações dos efluentes industriais como a vazão, concentração de matéria orgânica e tipo de tratamento empregado. A partir desses dados, definiu-se, no Estado de São Paulo, os segmentos industriais mais importantes para a geração de metano oriundas do tratamento de efluentes industriais.

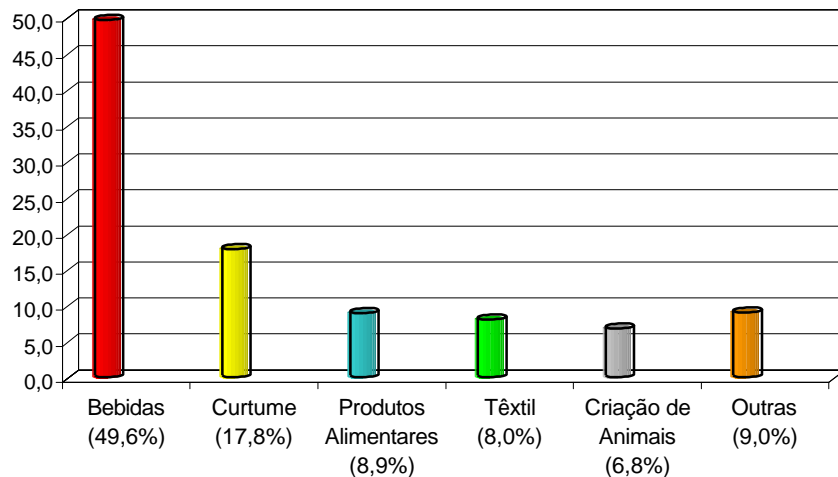




**Figura 26 Contribuição relativa das diferentes atividades industriais no Estado de São Paulo com relação ao lançamento de efluentes no ano de 1990 (CETESB)**

Para a realização deste inventário, das três principais informações de que dispõe este arquivo - geração potencial de efluentes, vazão de efluentes remanescentes e vazão amostrada pela CETESB - utilizaram-se apenas as duas primeiras, que são diretamente relacionadas ao projeto da unidade fabril. Demais informações, por apresentarem incertezas quanto à sua metodologia de estimação, não foram consideradas.

A segunda forma são os relatórios de poluição industrial e monitoramento ambiental realizados em conjunto pela CETESB e pelo Programa Nacional de Controle da Poluição Industrial (PRONACOP). Inicialmente idealizados para cobrir todo o território nacional, foram executados apenas durante os anos de 1988 e 1989 em onze Estados, destacando-se a ausência dos Estados do Rio de Janeiro e São Paulo no conjunto destes relatórios.



**Figura 27 Contribuição relativa em tDBO<sub>5</sub>/ano por setor de atividade industrial de onze Estados brasileiros pesquisados pelo PRONACOP/CETESB (1988/89).**

Nenhuma das informações acima isoladamente permite concluir a respeito do perfil nacional de geração de metano pela digestão anaeróbia de efluentes. Contudo, o conjunto resultante das principais atividades industriais permite fazer uma comparação com o conjunto das atividades proposto pelo IPCC (1995) na planilha de resultados, onde são sugeridas as principais atividades industriais do país a serem levantadas.

Dessa comparação conclui-se pela inclusão do item curtume, que é uma importante atividade industrial no Brasil. Já o item álcool, apesar da imensa geração de carga orgânica, não implica produção de metano, pois o efluente é disposto no campo como fertilizante, sem tratamento anaeróbio.

Também dessa comparação conclui-se pela manutenção de todas as atividades enumeradas pelo IPCC que, mesmo não sendo significativas no contexto nacional, permitirão a comparação das informações nacionais com as dos demais países que estão realizando seus inventários.

### 6.3.2.2 Produção industrial

$$\text{Prod}_{\text{ind}} \times \text{FE}_{\text{c.org}} \times \text{FTA} \times \text{FCM} \times \text{MFEM} - \text{R}$$

A produção da indústria por setor, de acordo com o modelo sugerido pelo IPCC e com a observação dos principais segmentos industriais do país. Os valores são representados em tonelada produzida ao ano com exceção à indústria de automóveis, onde a produção é dada em unidades de veículos. Visando proporcionar maior facilidade para conferência, as referências bibliográficas desse levantamento foram colocadas em coluna ao lado dos seus respectivos valores. A seguir, é detalhada a forma adotada para a obtenção de cada valor de produção.

**a) *Indústria metalúrgica:***

A estimativa das emissões de metano a partir da produção da indústria foi estabelecida por setor, de acordo com o modelo sugerido pelo IPCC e com a observação dos principais segmentos industriais do país. Os valores são representados em tonelada produzida ao ano.

A geração de efluentes da indústria nacional de aço e ferro, de acordo com a CETESB, é estimada pelo seu consumo de coque, ou seja, avalia-se o consumo de coque do parque industrial e estima-se a geração de carga orgânica através de um fator de emissão em kgDBO<sub>5</sub> por tonelada de coque consumido.

De forma a padronizar esta estimativa em relação às demais deste inventário, converteu-se o fator de emissão dado em kgDBO<sub>5</sub> por tonelada de coque consumido para um fator de emissão dado em kgDBO<sub>5</sub> por tonelada de aço e ferro produzido. É necessário ressaltar que estes fatores de emissão obtidos são de aplicação restrita para este inventário.

**Tabela 36 Fatores de emissão para a indústria metalúrgica**

<b>Ano</b>	<b>1990</b>	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>	<b>1994</b>
Fator de emissão <sub>1</sub> (kg DBO <sub>5</sub> /t coque) <sup>1</sup>	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
Consumo de coque <sup>2</sup> (t)	7.468.000	7.672.000	7.916.000	8.375.000	8.289.000
Produção de aço e ferro <sup>3</sup> (t)	41.708.000	45.312.000	47.086.000	49.189.000	50.924.000
Fator de emissão <sub>2</sub> (kg DBO <sub>5</sub> /t ferro e aço)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09

Fonte: IBGE 1993 e 1995

<sup>1</sup> CETESB, sem data

<sup>2</sup> MME, 1996

<sup>3</sup> IBGE, 1995

**Tabela 37 Produção de aço bruto e de ferro gusa (1.000t)**

Ano	1990	1991	1992	1993	1994
Aço bruto (t)	20.567	22.617	23.934	25.207	25.747
Ferro gusa (t)	21.141	22.695	23.152	23.982	25.177
Total (t)	41.708	45.312	47.086	49.189	50.924

Fonte: IBGE 1993 e 1995

**b) Automóveis:**

A definição da produção nacional de automóveis deu-se pela soma das unidades produzidas de automóveis de passageiros e de uso misto; comerciais leves (incluindo caminhonetes de uso misto); utilitários e caminhonetes de carga e comerciais pesados (inclusive ônibus e caminhões).

O fator de emissão empregado pela CETESB na indústria automobilística é de 19,3kgDBO<sub>5</sub>/t de chapa pintada (CETESB, sem data).

Nesta estimativa é considerado que cada veículo corresponde, em média, a aproximadamente 100kg de chapa pintada.

**Tabela 38 Chapa pintada em função do número de veículos produzidos ao ano**

Ano	1990	1991	1992	1993	1994
Produção anual (t)	916.661	705.303	1.073.761	1.391.376	1.581.389

Fonte: IBGE, 1991, 1992, 1993, 1994 e 1995

**c) Cervejas:**

A produção de cerveja foi fornecida para dois anos e calculada para os demais. Está representada na tabela abaixo:

**Tabela 39 Cerveja produzida ao ano**

Ano	1990	1991*	1992*	1993	1994**
Produção anual (t)	3.749.150	3.881.100	4.013.050	4.145.000	4.276.950

Fonte: ABIA, 1995

\* estimativa de variação linear entre os anos de 1985 e 1993

\*\* extrapolação a partir da taxa de variação linear entre os anos de 1985 e 1993

**d) Enlatados:**

De maneira idêntica, tem-se a produção de enlatados:

**Tabela 40 Produtos enlatados produzidos ao ano**

Ano	1990	1991*	1992*	1993*	1994**
Produção anual (t)	119.900	161.135	202.370	243.605	284.840

Fonte ABIA, 1995

\* estimativa de variação linear entre os anos de 1985 e 1993

\*\* extrapolação a partir da taxa de variação linear entre os anos de 1985 e 1993

**e) Vinho:**

Segundo a União Brasileira de Vitivinicultura (UVIBRA, 1997) a produção de vinho do Estado do Rio Grande do Sul, em 1990, foi de 284.237.323 litros, o que corresponde a 92% da produção nacional de vinho. Temos então a produção nacional em 1990, equivalente a 308.953.612 litros, ou seja, 308.954t de vinho aproximadamente. A produção nacional de vinho no ano de 1994 foi de 245.158t (UVIBRA, 1997).

**Tabela 41 Vinho produzido ao ano**

Ano	1990	1991*	1992*	1993*	1994
Produção anual (t)	308.954	293.005	277.056	261.107	245.158

Fonte: UVIBRA, 1997

\* estimativa de variação linear entre os anos de 1990 e 1994

**f) Curtume**

O fator de emissão referente ao abate de aves (SALVADOR,1991) utilizado neste trabalho é dado em kgDBO<sub>5</sub>/1000aves. De forma a padronizar este fator com relação aos demais deste inventário, foi feita uma conversão para kgDBO<sub>5</sub>/t aves. Nesta, se considerou, a partir dos totais abatidos e das quantidades em cabeças abatidas de aves no ano de 1990, que cada ave pesa em média 1,67 kg (IBGE,1993). As aves são contabilizadas pelo IBGE pelas seguintes espécies: peru, galo, galinha, frango, franga, pato, marreco e ganso.

A seguir estão as produções dos rebanhos nacionais.

**Tabela 42 Abate de bovinos, suínos, eqüinos, ovinos e caprinos entre os anos de 1990 a 1994**

Tipo	Abates ao ano (t)				
	1990	1991	1992	1993	1994
Bovinos	2.835.762	2.921.430	3.061.761	3.123.781	3.333.479
Suínos	729.545	812.247	892.616	885.142	976.874
Eqüinos	6.223	12.322	20.047	21.191	18.337
Ovinos	11.291	12.499	12.047	12.839	11.015
Caprinos	9.687	11.363	11.538	11.388	10.202

Fonte: (anos de 90 e 91) IBGE 1993, (anos de 92, 93 e 94) IBGE, 1995.

**Tabela 43 Abate de aves entre os anos de 1990 a 1994**

Abates de aves ao ano (t)					
	1990	1991	1992	1993	1994
Peso (t)	1.604.696	1.800.857	1.911.817	2.074.395	2.459.307
Cabeças (un)	962.029.422	1.055.061.597	1.119.624.770	1.232.978.796	1.447.525.030
Peso por cabeça (kg/un)	1,67	1,71	1,71	1,68	1,70
Fator de emissão (kgDBO <sub>5</sub> /1.000 un)	11,90	11,90	11,90	11,90	11,90
Fator de emissão adaptado (kgDBO <sub>5</sub> /t aves)	7,13	6,97	6,97	7,07	7,00

Fonte: (anos de 90 e 91) IBGE 1993, (anos de 92, 93 e 94) IBGE, 1995, (Fator de emissão) SALVADOR, 1991.

**g) Demais Alimentos:**

Os fatores de emissão dos produtos lácteos fornecidos pela CETESB são dados em kgDBO<sub>5</sub> por m<sup>3</sup> de leite consumido. Para padronizar esses fatores em relação aos demais, converteram-se as unidades desses fatores de emissão para kg DBO<sub>5</sub> por tonelada de produto, através da tabela abaixo.

**Tabela 44 Determinação dos fatores de emissão por unidade de produto**

Produto	Fator de emissão (kg DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> de leite consumido)	Volume de leite consumido por unidade de produto (m <sup>3</sup> de leite/ t de produto)	Fator de emissão por tonelada de produto (kg DBO <sub>5</sub> / t de produto)
Leite cru	11,0	1,0	11,0
Leite pasteurizado	22,0	1,0	22,0
Leite condensado	2,8	2,0	5,6
Leite em pó	4,1	10,0	41,0
Manteiga	1,1	27,0	29,4
Queijos	19,2	1,5	28,8

Fonte: (volume de leite consumido) GARCIA, 1997 e (fator de emissão) SALVADOR, 1991.

Tem-se, assim, a produção dos demais alimentos no país, ano a ano.

**Tabela 45 Produção anual no setor alimentício**

Produção anual (t)					
Produto	1990*	1991*	1992*	1993	1994**
Leite cru	13.039.250	13.231.500	13.423.750	13.616.000	13.808.250
Leite pasteurizado	4.003.625	4.119.450	4.235.275	4.351.100	4.466.925
Leite condensado	115.438	126.525	137.613	148.700	159.788
Leite em pó	229.850	244.400	258.950	273.500	288.050
Manteiga	60.013	60.875	61.738	62.600	63.463
Queijos	207.213	217.075	226.938	236.800	246.663
Açúcar	2.172.213	2.110.375	2.048.538	1.986.700	1.924.863
Peixe em conserva	258.900	265.200	271.500	277.800	284.100
Óleo e gordura vegetal	1.506.800	1.499.800	1.492.800	1.485.800	1.478.800
Café solúvel	118.575	123.450	128.325	133.200	138.075
Refrigerante	4.242.175	4.395.550	4.548.925	4.702.300	4.855.675

Fonte: ABIA, 1995

\* estimativa de variação linear entre os anos de 1985 e 1993

\*\* extrapolação a partir da taxa de variação linear entre os anos de 1985 e 1993

### h) Papel e Celulose:

A produção está representada na tabela abaixo:

**Tabela 46 Papel e celulose produzidos ao ano**

Produção anual (t)					
Produto	1990	1991	1992	1993	1994
Celulose	4.346.520	4.346.520	4.876.904	5.010.188	5.376.271
Papel	4.914.113	4.914.113	4.915.379	5.301.040	5.653.597

Fonte: (anos de 90 e 91) IBGE 1993, (anos de 92, 93 e 94) IBGE, 1995

### i) Petróleo / Refinaria petroquímica:

Da mesma forma, tem-se:

**Tabela 47 Petróleo refinado ao ano**

Ano	1990	1991	1992	1993	1994
Produção anual (t)	68.042.365	63.306.680	69.376.058	69.116.448	71.845.506

Fonte: (anos de 90 e 91) IBGE 1993, (anos de 92, 93 e 94) IBGE, 1995

### j) Têxtil:

Vide tabela abaixo

---

**Tabela 48 Produção têxtil ao ano**

<b>Ano</b>	<b>1990</b>	<b>1991*</b>	<b>1992*</b>	<b>1993*</b>	<b>1994</b>
Produção anual (t)	758.100	713.225	668.350	623.475	578.600
Algodão	665.700	620050	574400	528750	483.100
Lã	29.100	28075	27050	26025	25.000
Nylon	63.300	65100	66900	68700	70.500

Fonte: SINDITEXTIL, 1996

\* estimativa de variação linear entre os anos de 1990 e 1994

***k) Borracha:***

A tabela abaixo apresenta a produção anual de borracha

**Tabela 49 Produção de borrachas ao ano**

<b>Ano</b>	<b>1990</b>	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>	<b>1994</b>
Produção anual (t)	260.929	263.631	272.525	279.366	310.701

Fonte: ABIQUIM, 1995

***l) Química:***

Vide tabela abaixo:



**Tabela 50 Produção anual do setor químico**

Produto (t)	1990	1991	1992	1993	1994
Acetato de vinila	50.747	59.639	42.070	43.261	49.813
Acetona	60.522	61.226	57.045	64.430	65.653
Ácido acético	87.904	109.926	104.301	99.517	71.159
Ácido fosfórico	609.241	664.321	487.162	600.639	688.571
Ácido nítrico 99%	386.888	404.823	398.608	416.789	554.265
Ácido tereftálico	72.378	86.600	83.345	103.322	118.214
Acrilatos	9.009	10.043	9.985	7.909	9.351
Álcool metílico / metanol	168.557	206.641	204.447	223.496	220.310
Amônia	1.152.563	1.012.110	1.038.436	1.153.336	1.156.830
BTX - Benzeno, tolueno e xileno	1.105.927	1.037.158	1.017.602	1.048.636	1.213.585
Bisfenol A	12.567	11.733	9.627	13.674	17.670
Butadieno	204.728	186.434	203.243	229.880	267.149
Caprolactona	42.059	47.193	41.699	50.824	50.838
Ciclohexano	39.366	43.059	45.106	55.308	60.824
Dimetiltereftalato	54.170	42.872	56.934	60.557	64.959
Estireno monômero	306.217	279.963	253.605	223.413	261.613
Etilbenzeno	441.007	314.440	286.812	237.793	345.514
Etilenoglicóis	99.494	114.770	99.224	111.455	114.084
Fenol	97.138	98.445	91.345	105.259	112.799
Formaldeído	177.391	194.594	206.421	244.942	261.775
Metilaminas (mono, di e tri)	6.803	8.253	8.298	7.243	8.835
Nitrocelulose	14.755	15.346	16.783	18.141	19.087
Pigmentos	2.359	2.838	2.396	2.891	3.566
PVC	504.330	500.264	488.940	510.794	593.413

Fonte: ABIQUIM, 1995

**m) Curtume:**

Considerando que cada peça pesa, em média, 23,0 kg (IBGE, 1997), tem-se a seguir os seguintes valores de produção.

**Tabela 51 Produção anual de couro**

Ano	1990	1991	1992	1993	1994
Couro cru produzido no ano (peças)	19.495.981	23.825.763	21.835.309	21.441.398	21.029.945
Produção anual de couro (t)	448.408	547.993	502.212	493.152	483.689

Fonte: (anos de 90 e 91) IBGE 1993, (anos de 92, 93 e 94) IBGE, 1995

**n) Álcool:**

A produção é dada pela tabela a seguir:

**Tabela 52 Produção anual de álcool**

<b>Ano</b>	<b>1990</b>	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993*</b>	<b>1994</b>
<b>Produção anual (t)</b>	11.782.570	12.752.130	11.764.870	10.762.719	9.760.567

Fonte: OMETTO, 1993 e (ano de 1994) IBGE, 1996

\* estimado pela média dos anos de 1992 e 1994

### 6.3.2.3 Fator de emissão de carga orgânica por quantidade de produto

$$\text{Prod}_{\text{ind}} \times \text{FE}_{\text{c.org}} \times \text{FTA} \times \text{FCM} \times \text{MFEM} - \text{R}$$

Os fatores de emissão de carga orgânica por quantidade de produto foram tomados principalmente do estudo de SALVADOR, 1991. Neste estudo observam-se em alguns casos variações devidas às diferentes tecnologias de processos industriais.

Nas Tabelas 29 e 33, tem-se o fator de emissão de  $\text{DBO}_5$  para cada setor de produção industrial, dados em  $\text{kgDBO}_5/\text{tonelada}$  produzida e obtidos de diferentes fontes bibliográficas mencionadas na coluna subsequente.

### 6.3.2.4 Fração de esgotos tratados (FTA) e Fator de correção de metano (FCM)

$$\text{Prod}_{\text{ind}} \times \text{FE}_{\text{c.org}} \times \text{FTA} \times \text{FCM} \times \text{MFEM} - \text{R}$$

Não estão disponíveis dados a respeito das estimativas de fração de esgotos tratados anaerobiamente e fator de correção de metano. Por essa razão foram assumidas as estimativas sugeridas pelo IPCC.

O conhecimento desta fração implica na disponibilidade de informação sobre os diferentes sistemas utilizados para tratamento dos efluentes das indústrias, no país, sendo portanto recomendável que estas informações sejam levantadas e organizadas.

A fração de esgotos tratada anaerobiamente, indicada pelo IPCC para os países em desenvolvimento é de 20%.

O fator de conversão de metano (FCM), indicado pelo IPCC é de 90%.

### 6.3.2.5 Máximo fator de emissão de metano

$$\text{Prod}_{\text{ind}} \times \text{FE}_{\text{c.org}} \times \text{FTA} \times \text{FCM} \times \text{MFEM} - \text{R}$$

O Máximo fator de emissão de metano, assim como no caso dos esgotos domésticos é assumido igual ao valor sugerido pelo IPCC de  $0,25\text{gCH}_4/\text{gDBO}_5$ .

---

## 7 Incertezas

As estimativas dos erros de cada um dos termos utilizados no cálculo dos fatores de emissão de metano foram avaliados através da experiência adquirida pela CETESB em trabalhos desse tipo.

Assim para se avaliar a emissão de metano por resíduos sólidos foi utilizado a expressão com as seguintes estimativas de erro:

$$(\text{Pop}_{\text{urb}} \times \text{taxa RSD} \times \text{RSD}_f \times \text{FCM} \times \text{COD} \times \text{COD}_F \times F_{16/12} - R) \times (1 - \text{OX})$$

RSD 10% erro

RSD<sub>f</sub> 10% erro

FCM 15% erro

COD 35% erro

COD<sub>F</sub> 35% erro

Combinando de acordo com a equação:  $U_T = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}$ , em que  $U_1, U_2, \dots, U_n$  representam os erros dos vários fatores, tem-se:

% erro para resíduos sólidos = 54%

Já para águas residuárias doméstica foi utilizada a seguinte expressão:

$$\text{Pop}_{\text{urb}} \times \text{taxaDBO}_5 \times \text{FET} \times \text{FCM} \times \text{MFEM} - R$$

taxaDBO<sub>5</sub> 10% erro

FET x FCM 20% erro

MFEM 25% erro

% erro para águas residuárias domésticas = 34%

Para águas residuárias industriais teremos a seguinte expressão:

$$\text{Prod}_{\text{ind}} \times \text{FE}_{\text{c.org}} \times \text{FET} \times \text{FCM} \times \text{MFEM} - R$$

FE<sub>c.org</sub> 25% erro

FET x FCM 20% erro

MFEM 25% erro

% erro de emissão = 41%

---

Na falta de informações sobre o erro cometido nas avaliações de produções industriais foi utilizado para esse fator um erro equivalente à metade do erro do fator de emissão, conforme (IPCC,1994). Para o setor de resíduos o erro do fator de emissão corresponde a 2/3 do erro global enquanto que o erro dos dados de atividade correspondem a apenas 1/3; portanto o erro das atividades são da ordem de metade do erro de emissão, resultando:

% erro  $Prod_{ind} = 20\%$

Portanto resulta a % erro para águas residuárias industriais em 61%

Deve-se observar que a emissão nacional do metano provém basicamente de atividades não consideradas no presente relatório, como agropecuária, energia, indústria e que portanto a imprecisão das estimativas apresentadas influenciam muito pouco no valor da emissão global de Gases de Efeito Estufa do país.

## 8 Conclusão

A partir de dados estatísticos de população e produção industrial no país e utilizando-se fatores estimados de geração e degradação de resíduos e produção de metano foi elaborado o inventário de metano gerado pelo tratamento e disposição de resíduos resumido a seguir.

**Tabela 53 Resumo final do Inventário**

Ano	Emissões de metano (Gg CH <sub>4</sub> /ano)							
	Resíduos sólidos		Esgotos domésticos e comerciais		Efluentes industriais		Total	
	primeira estimativa	revisão e complemento	primeira estimativa	Revisão e complemento	primeira estimativa	revisão e complemento	primeira estimativa	revisão e complemento
1990	617,95	618,01	39,34	39,34	82,75	80,00	740,04	737,35
1991	-	636,34	-	40,51	-	79,82	-	756,67
1992	-	649,68	-	41,36	-	82,01	-	773,05
1993	-	663,28	-	42,23	-	82,71	-	788,22
1994	676,89	677,18	43,09	43,11	86,27	84,41	806,25	804,70

1Gg = 1000t

A elaboração deste inventário comprovou a importância do levantamento de dados sobre as estações de tratamento ou disposição de resíduos.

O levantamento desses dados, sua organização e armazenamento facilitarão a elaboração de programas visando a minimização de emissão de poluentes além de permitir a melhoria no gerenciamento de resíduos, a racionalização dos sistemas de tratamento, além de redução da emissão de Gases de Efeito Estufa e o aumento da eficiência do uso de energia.

O conjunto dessas ações levariam à melhoria das condições ambientais.

Dessa forma recomenda-se com muita ênfase o levantamento, organização e armazenamento de mais informações sobre tratamentos de resíduos.

---

## 9 Perspectivas futuras do aproveitamento energético do metano

### 9.1 Resíduos sólidos

O reaproveitamento econômico do metano gerado por resíduos poderá colaborar na redução da emissão de gases de efeito estufa. Este, contudo, só é viável em determinadas situações, onde haja alta taxa de produção, determinada pelas condições citadas anteriormente, aliada a uma demanda por esta energia produzida, justificada em termos de custo-benefício.

O uso de área pode ser melhorado através do manejo integrado de resíduos como, por exemplo:

- separação junto à fonte;
- reciclagem;
- aterramento por diferentes categorias (orgânicos, inertes, perigosos); e
- combustão controlada (incineração ou pirólise).

O inevitável esgotamento nas reservas de combustíveis fósseis no futuro e a crescente procura por combustíveis alternativos e ambientalmente sustentáveis leva ao desenvolvimento das tecnologias de aproveitamento energético dos resíduos.

Além de incentivar a racionalização do uso dos recursos naturais, minimizando o consumo de matérias primas e desenvolvendo mecanismos de redução da geração de resíduos, seu aproveitamento visa otimizar a matriz energética, utilizando um combustível renovável e abundante.

Aliado ao reaproveitamento energético dos resíduos já gerados, deve ser paralelamente incentivada a eliminação junto à fonte, através do estabelecimento de legislação específica para embalagens e incentivo à educação ambiental.

Um fator que dificulta a implementação de sistemas alternativos para o gerenciamento de resíduos sólidos são os problemas com a obtenção de financiamento e a execução de mecanismos regionais integrados com diferentes esferas de governo. A opinião pública também é um dos fatores determinantes na escolha dentre alternativas de tratamento de resíduos sólidos.

---

## 9.2 Efluentes líquidos

Assim como para os resíduos sólidos, os efluentes líquidos também oferecem um atrativo potencial de recuperação energética do metano produzido anaerobiamente.

Em 1994, mais de 197 mil metros cúbicos de efluentes eram tratados por reatores anaeróbios no país. Esta é a forma mais recomendável para a recuperação de gás, por ser compacta e eficiente.

Há um enorme potencial de demanda no Brasil que poderia ser suprido por esta tecnologia, designada primeiramente com a finalidade de saneamento ambiental.

Por questões de segurança e desconhecimento de técnicas de recuperação de gás, algumas indústrias, que já dispõem de sistemas anaeróbios, preferem a queima direta ao uso.

Parte da energia recuperada poderia ser reaplicada no processo de tratamento dos resíduos (principalmente em locais de clima mais frio). Poder-se-ia, ainda, no caso de indústrias aplicar esta energia no processo, substituindo o uso de combustíveis fósseis.

Recomenda-se, assim:

- reunir a informação sobre os sistemas existentes no país e aprimorar o seu desempenho, enfatizando a recuperação de gás, e
- divulgar o conceito de sistemas integrados de tratamento de efluentes, beneficiando-se de uma primeira etapa anaeróbia ao invés de se propor diretamente um sistema aeróbio (que necessita de energia, ao invés de produzi-la).

---

Agradecemos as valiosas contribuições de José Domingos Gonzales Miguez, Newton Paciornik, Fernando Rei, Fábio Feldmann, Nelson Nefussi, Sueli Carvalho, João Antônio Romano, Fernando Antonio Wolmer, Carmen Lúcia Freire Cancegliero, José Contrera López Neto, Marilda de Souza Soares, Maria Judith Marcondes Salgado Schmidt, Boris Schneiderman, Roberta Garcia Ventura, Nádia Taconelli Paterno e a todos que de alguma maneira contribuíram para a execução deste trabalho.



---

## 10 Bibliografia

- ABIA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ALIMENTOS, O Mercado Brasileiro de Alimentos Industrializados - Produção e Demanda: Situação Atual e Perspectiva, Departamento Econômico da ABIA, São Paulo, 1995
- ABIQUM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA E PRODUTOS DERIVADOS, Anuário da Indústria Química Brasileira, 1995
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR- 13969 - Tanques Sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação, ABNT- Assoc. Bras. de Normas Técnicas, setembro 1997.
- ALMANÇA, R.A.: *Avaliação do uso da vinhaça da cana de açúcar na geração de energia elétrica* (Estudo de caso), Dissertação mestrado, IEE - Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP - Universidade de São Paulo, 132 págs., 1994.
- ALVALÁ, P.C.: *Observações do Metano atmosférico no Brasil*. Tese de Doutorado em Ciência Espacial -INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 107 págs., 1995.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Diretoria de Controle da Poluição do Interior. *Diagnóstico da poluição ambiental no interior do Estado de São Paulo*, São Paulo, 302 págs., 1994.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Levantamento cadastral da Operação Fossa Séptica da Praia da Enseada (lado leste) - Ubatuba, São Paulo, outubro de 1989.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, notas de trabalho do Setor de Efluentes Líquidos, Divisão de Tecnologias de Fontes de Poluição da CETESB, não paginado, não publicado, sem data.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Programa de gerenciamento de resíduos sólidos domiciliares e de serviços de saúde Prolixo, 1992.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, *Programa de gerenciamento de resíduos sólidos domiciliares e de serviços de saúde - PROLIXO*, CETESB, São Paulo, 29 págs., maio de 1992.

- 
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, *Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo 1994* - São Paulo, CETESB, Série Relatórios / Secretaria do Meio Ambiente, 270 págs., 1995.
- CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O MEIO AMBIENTE - a Agenda 21, Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, Brasília, 558 págs., 1996.
- CONLURB - Companhia de Limpeza Urbana, Recuperação de gases combustíveis no aterro do Caju e sua utilização em veículos da CONLURB., Rio de Janeiro, 1985.
- CRAVEIRO A.M.: Biodigestão de efluentes industriais no Brasil: avaliação do uso e difusão da tecnologia. In: XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Goiânia, págs. 242 - 52, 1991.
- CUNHA, L. S., Seminário: Gases combustíveis como opção energética, Instituto Brasileiro do Gás, 1979.
- DOESP - Diário Oficial do Estado de São Paulo, Inventário Estadual de resíduos sólidos domiciliares, Imprensa Oficial do Estado, 720 págs., 6 de março de 1998.
- ENERGY POLICY - *GHG mitigation in the transport sector*, por Laurie Michaelis, Elsevier science, UK, 1996.
- ENERGY POLICY - *Sustainable energy for tomorrow's world the case for an optimistic view of the future*, por Nicholas Lensen, Elsevier science, UK, págs. 769 - 781, 1996.
- EPA - United State Environmental Protection Agency - *A guide for methane mitigation projects, Gas-to - Energy at Landfills and Open Dumpings. Air and Radiation (6202)* Editors: Mark Orlic and Tom Kerr. Draft version 2, novembro de 1996.
- EUROGAS - *Natural Gas, A cleaner energy for a greener Europe*, The Eurogas offices, Brussels, 20 págs., 1994.
- FEACHEM, R. G., BRADLEY, D. J., GARELECK, H. and MARA, D. D.: *Sanitation and Disease - Health Aspects of Excreta and Wastewater Management*, Pub. World Bank, John Wiley & Sons, USA, págs. 8, 1983.
- FERREIRA A. L. - *Custos ambientais*, notas de aula, no curso de Gestão e Tecnologias Ambientais do Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica Universidade de São Paulo, 1997, não paginado.

- 
- FERREIRA A. L. - *Mudanças climáticas globais, notas de aula ministradas no curso de Gestão e Tecnologias Ambientais*, Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, não paginado, 1997.
- FGV - Fundação Getúlio Vargas, *Aquecimento Global, O relatório do Greenpeace*, editor responsável: Jeremy Legget; tradutores Alexandre Lissovsky et alli, Editora FGV, Rio de Janeiro, 516 págs., 1992.
- FGV - Fundação Getúlio Vargas, *Nosso Futuro Comum - Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento*, 2ª edição, Editora da FGV, Rio de Janeiro, 430 págs., 1991.
- GARCIA, J.R.A.: *Entrevista cedida por telefone à CETESB pelo Químico da Cia Vigor S.A.*, São Paulo, 1997.
- GOLDEMBERG J. - *Energy, Environment & Development*, Earthscan, Geneva, 125 págs., 1996.
- GOLDEMBERG J. - *S.O.S. Planeta Terra - O efeito estufa*, São Paulo ,Editora Brasiliense, 52 págs., 1989.
- GOLDEMBERG, J.: *Energy, Environment and Development*. Geneva: Earthscan, 195 págs., 1995.
- GONZALEZ MIGUEZ, J. D.: *Preparation of the Brazilian national communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change*, págs.135 - 48, 1995.
- GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO - *Inventário de Gases de Efeito Estufa*, São Paulo 36 págs., 1997.
- IBGE - FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, Anuário Estatístico Brasileiro - 1991, Fundação IBGE, Rio de Janeiro, 1991.
- IBGE - FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, Anuário Estatístico Brasileiro - 1992, Fundação IBGE, Rio de Janeiro, 1992
- IBGE - FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, Anuário Estatístico Brasileiro - 1993, Fundação IBGE, Rio de Janeiro, 1993
- IBGE - FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, Anuário Estatístico Brasileiro - 1994, Fundação IBGE, Rio de Janeiro, 1994
- IBGE - FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, Anuário Estatístico Brasileiro - 1995, Fundação IBGE, Rio de Janeiro, 1995

- 
- IBGE - FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, Anuário Estatístico Brasileiro - 1996, Fundação IBGE, Rio de Janeiro, 1996
- IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: Brasil em números - Rio de Janeiro, 65 págs., 1997.
- IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: *Pesquisa Nacional de Amostragem por Domicílio*, PNAD, 1995. Rio de Janeiro, (Home Page do IBGE na INTERNET <http://www.ibge.gov.br>, abril de 1997.
- IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: *Censo Nacional* - 1991, Rio de Janeiro, (não paginado), 1991.
- IBGE- Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: *Entrevista cedida por telefone para à CETESB*, São Paulo, janeiro de 1997.
- IBGE- Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: *Pesquisa Nacional de Amostragem por Domicílio*, PNAD, 1993. Rio de Janeiro, (Home Page do IBGE na INTERNET <http://www.ibge.gov.br>), abril de 1997.
- IBGE- Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico* - PNSB 1989 - Rio de Janeiro, 56 págs., 1982.
- IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo, *Seminário sobre gás natural - Avaliação de sistemas de conversão e estudos dos efeitos da utilização de gás natural comprimido em motores de ciclo Diesel*, Rio de Janeiro, págs. 316 - 43, 1986.
- IEA - International Energy Agency- *Greenhouse gas emissions the energy dimension*, Paris, págs. 1 - 18, 88 - 105, 1991.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, *Guidelines for Greenhouse Gas inventory reference Manual*, revised - Chapter 6 - Waste, 1996.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, *The Science of Climate Change* - Summary for Policymakers, Office Graphics Studio, Madrid, 57 págs., 1995.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change: *Greenhouse gas inventory*. USA: US Government, 3 volumes, não paginados, 1994.
- ITAL - Instituto de Tecnologia de Alimentos: *Boletim n. 36.*, págs. 1 - 19, julho/agosto de 1973.
- JIONLINE - Site da U. S. Initiative on Joint Implementation (<http://www.ji.org/>), junho de 1997.

- 
- LEXMOND, M.J.; ZEEMAN, G. *Potential of Controlled anaerobic Wastewater treatment in order to reduce the global emissions of the greenhouse gases methane and carbon dioxide*, Rapportnr.95-I Wageningen, Netherlands, 1995.
- LICCO E. A. - *Gestão de tecnologias ambientais* notas de aula ministradas no curso de Gestão e Tecnologias Ambientais do Programa em Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, não paginado, 1997.
- LIMA, L.M.Q., Tratamento do Lixo, Biblioteca da FEI.
- LUQUEL, F.M.: *O leite*, publicações Europa - América, págs. 31 - 48, 91 - 110, 1985.
- MADRID, A., CENZANO, I., VICENTE, J.M.: *Manual de indústrias de alimentos*. Livraria Varela, Brasil, págs. 131 - 69, 1996.
- MCT - Site do Ministério da Ciência e Tecnologia na Internet, onde estão as informações de *mudanças climáticas* preparadas pelo MCT (<http://www.mct.gov.br>), junho de 1997.
- MCT - Site do Ministério da Ciência e Tecnologia na Internet, onde está o trabalho da equipe da COPPE/UFRJ (<http://www.mct.gov.br>), junho de 1997.
- METCALF & EDDY: *Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse*. 3 ed. New York: McGraw-Hill, 920 págs., 1991.
- MME - Ministério das Minas e Energia -: *Balanço Energético Nacional*, MME, Brasília, 144 págs, 1995.
- MME - Site do Ministério das Minas e Energia, onde está o Programa Decenal de Geração do Setor Elétrico Brasileiro, (<http://www.mme.gov.br>), junho de 1997.
- MOISÉS R. - *EUA contra nova meta para emissão de gases .O ESTADO DE SÃO PAULO* , págs. A16, 25 de junho de 1997.
- MOUTON, C, Methane Production and Recovery from Household Waste Landfills, *in Anaerobic Digestion and Carbohydrate Hydrolysis of Waste* edited by G.L. Ferrera, M. P. Ferranti, H. Naveau, Elsevier Applied Science Publisher, Essex, England, págs. 395 - 408, 1984.
- NAVEAU, H. F. and FERRANTI, M. P., Anaerobic Digestion in the E.C., *in Anaerobic Digestion and Carbohydrate Hydrolysis of Waste* edited by G.L, Elsevier Applied Science Publisher, Essex, England, págs. 182 - 194, 1984.
- OECD - Organization for Economic co-operation and Development, *Implementation strategies for environmental taxes*, Head of publications Service, OCDE, France, 94 págs., 1996.

- 
- OMETTO J.G.S., Álcool, energia da biomassa: Aspectos tecnológicos e econômicos da produção, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, COPERSUCAR, não paginado, 1993.
- PARKER C. and ROBERTS T., Energy from Waste -An Evaluation of Conversion Technologies, Edited, Elsevier Applied, São Paulo, págs. A123 - 126, 1985.
- PIERRE, C.V. & QUEZADA, R.A.: *Análise de Viabilidade Econômica do Aproveitamento de Biogás Gerado em um Reator Anaeróbio*, In: 18º Congresso Brasileiro da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Salvador, Anais, 1995.
- PNUD - Programa de Las Naciones Unidas para El Desarrollo.: Informe sobre desarrollo humano, Traduct. CIDEAL, Madrid, Espanha, 249 págs., 1993.
- SACHS, I. - *Ecodesenvolvimento: crescer sem destruir*, Vértice, São Paulo, págs. 167 - 76, 1986.
- SALVADOR, N.N.: *Listagem de fatores de emissão para avaliação expedita de cargas poluidoras das águas*, In; 16º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Trabalhos livres, Tomo IV., Goiânia - GO, V.2, págs. 03 - 22, 1991.
- SEADE- Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados: São Paulo, Fundação SEADE, não paginado, 1992.
- SEADE- Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados: São Paulo, 1994, Fundação SEADE, 126 págs. 1994.
- SEPA - Swedish Environmental Protection Agency, *The greenhouse gases - emissions and counter measures in an international perspective*, SEPA, págs. 96 - 107, 1991.
- SILVA, Salomão A. & MARA, David D.: *Tratamento biológico de águas residuárias*, 1ª. edição, Rio de Janeiro, ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Pág. 5, 1979.
- SMA - Secretaria do Meio Ambiente, *Convenção sobre mudança do clima*, série Entendendo o meio ambiente, SMA, São Paulo, Volume IV, 51 págs., 1997.
- SOUZA, M. E. *Problemática da Digestão Anaeróbia dos Resíduos Industriais*. Trabalho apresentado no I Simpósio Latino - Americano sobre Produção de Biogás a partir de resíduos orgânicos - São Paulo - SP, 6 a 17 de dezembro de 1982.
- USEPA - United States Environmental Protection Agency, Feasibility assessment for gas-to-energy at selected landfills in São Paulo, Brazil, January, EPA 68 - W6-0004, 1997.

- 
- USEPA - United States Environmental Protection Agency, Guia Didático sobre o Lixo no Mar, traduzido da versão em espanhol por Célia Castelo e Luiz Augusto Domingues, São Paulo, SMA, novembro, 143 págs. (ISBN 85-86624 020), 1997.
- UVIBRA - União de Vitivinicultores do Brasil: *Entrevista cedida por telefone para a CETESB pela União Brasileira de Vitivinicultura (UVIBRA).*, São Paulo, 9 maio, 1997.
- VIEIRA, S. M. M.; von Sperling, M.; Chernicharo, C. In: TBW/GTZ - Country Report Brazil- *Promotion of Anaerobic Technology for the Treatment of municipal and Industrial sewage and wastes*, Frankfurt, págs. 8 - 25, 1996.
- VIEIRA, S.M.M. & GARCIA, A.D.; Sewage treatment by UASB - reactor. Operation results and recommendations for design and utilization. *Wat. Sci. Tech.* 25 (7), págs. 143 - 57, 1992.
- VIEIRA, S.M.M., CARVALHO, J.L., BARIJAN, F.P.O., RECH, C.M.; Application of the UASB technology for sewage treatment in a small community at Sumaré, São Paulo State, *Wat. Sci. Tech.*, 30 (12), págs. 203 - 10, 1994.
- VIEIRA, S.M.M.: *Experiência e perspectivas do tratamento anaeróbico de esgotos sanitários no Brasil*. In: III Taller y Seminario Latino Americano *Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales*, Montevideú, 1994.
- VIEIRA, S.M.M.; Anaerobic treatment of domestic sewage in Brazil. Research results and full scale experience. 5<sup>th</sup> International Symposium on Anaerobic Digestion. *Adv. Wat. Pollut. Control. Anaerobic Digestion*, E. R. Hall & P. N. Hobson (ed.), págs. 185 - 96, 1988.
- VIEIRA, S.M.M. *Tratamento de Esgotos Domésticos por Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente e Manto de Lodo*. São Paulo. Tese de Doutorado - Faculdade de Saúde Pública da USP, 1997.
- WEINER J. - *Os próximos cem anos - em nossas mãos o destino da Terra*, Editora Campus, Tradução Maria Inês Rolim, Rio de Janeiro, 278 págs., 1990.
- WRI - WORLD RESOURCES INSTITUTE, A Guide to the global environment - The urban environment 1996-97, Oxford University Press, Oxford, 365 págs., 1996.

**Governo do Estado de São Paulo**

**Mário Covas** Governador

**Secretaria do Meio Ambiente**

**Stela Goldstein** Secretário

**CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental**

**Dráusio Barreto** Presidente

**Diretoria de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia D**

**Dráusio Barreto** Diretor

**Departamento de Desenvolvimento e Capacitação DD**

**Eng. João Antonio Romano**

**Divisão de Questões Globais DDQ**

**Dra. Sonia Maria Manso Vieira**

**Equipe Técnica – Divisão de Questões Globais**

**Eng. João Wagner Silva Alves**

**Dra. Sonia Maria Manso Vieira**

**Apoio**

Arnaldo Celso Augusto

Carmen Lúcia Vergueiro Midaglia

Marta Ferreira de Lima de Cano

Oswaldo dos Santos Lucon

Carlos Alberto Sequeira Paiva

Neuza Maria Maciel

Robinson Tadeu Gomes

Cibelle Marques Pedroza

Kleber Covas Martinez

**Tradução para o inglês**

**Norberto de Paula Lima**

**Assessoria Técnica em Estatísticas**

**Boris Schneiderman**

**Projeto Gráfico e Editoração**

**Grafia Imagem e Comunicação** Gisa B. Bonnemaïson

**Ilustrações**

**Gilles Eduar**





