

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E  
AMBIENTAL**

**ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS NO ANTIGO  
LIXÃO DO ITACORUBI, FLORIANÓPOLIS/SC**

**GABRIELA ABREU DE SOUZA**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)  
DEZEMBRO, 2009**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E  
AMBIENTAL**

**ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS NO ANTIGO  
LIXÃO DO ITACORUBI, FLORIANÓPOLIS/SC**

**GABRIELA ABREU DE SOUZA**

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte  
dos requisitos para Conclusão do Curso de Graduação em  
Engenharia Sanitária e Ambiental – TCC II

**Orientador  
Prof. Dr. Alexandre R. Cabral**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)  
DEZEMBRO, 2009**

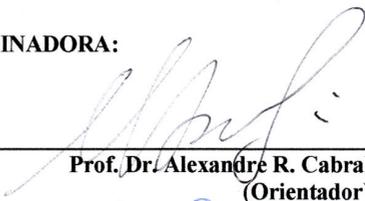
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E  
AMBIENTAL**

**ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS NO ANTIGO  
LIXÃO DO ITACORUBI, FLORIANÓPOLIS/SC**

**GABRIELA ABREU DE SOUZA**

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental – TCC II

**BANCA EXAMINADORA:**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Alexandre R. Cabral**  
(Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
**Msc. Eng. Flávia Guimarães Orofino**  
(Membro da Banca)

  
\_\_\_\_\_  
**Msc. Eng. Elivete Carmem Clemente Prim**  
(Membro da Banca)

**FLORIANÓPOLIS, (SC)  
DEZEMBRO, 2009**

*Dedico este trabalho aos meus pais Rita e Gilmar,  
e ao meu namorado Karibyan,  
que sempre me apoiaram em todos os momentos.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Alexandre por aceitar me orientar tornando possível a realização deste trabalho.

Ao meu namorado e colega de faculdade Karibyan, que sempre esteve ao meu lado com companheirismo e paciência em todos os momentos.

Aos meus pais, por todo apoio e carinho, que foram essenciais para minhas conquistas durante a faculdade.

Ao meu irmão que mesmo distante sempre desejou que esta conquista se realizasse.

## RESUMO

O gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos tem sido um grande desafio para a sociedade moderna tendo em vista a grande complexidade envolvida nesse processo e os problemas ambientais associados. Entre os problemas ambientais associados está a falta de gerenciamento dos gases gerados pela decomposição dos resíduos. O biogás gerado nos aterros e lixões, por ter em sua composição o metano, é um dos potencializadores do fenômeno conhecido como efeito estufa. Assim sendo a avaliação das quantidades produzidas é fundamental para projetos de coleta de biogás. No caso de aterros sem sistema de coleta cabe estudar a possibilidade de sua instalação inclusive com financiamento potencial através de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) prevendo o acordo de Kyoto. Desta maneira, o objetivo dessa pesquisa foi estimar a produção de biogás no aterro antigo lixão do Itacorubi, em Florianópolis/SC através de dois modelos teóricos presentes na literatura. O lixão foi o local de destinação dos resíduos sólidos domésticos da cidade de Florianópolis durante os anos de 1956 a 1989. Ao final deste estudo é apresentado ainda uma análise crítica dos métodos utilizados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos Sólidos, Lixão, Biogás, School Canyon, IPCC.

## **ABSTRACT**

The urban solid waste management has been a great challenge for the modern society because of the great complexity involved in this process and its environmental problems associated. Landfill gas produced in landfills and garbage deposits contributes a lot to the greenhouse effect, due to the methane in its composition. Thus, the objective of this research was to estimate the production of landfill gas in the old garbage deposit of Itacorubi, in Florianópolis/SC, using two theoretical models presented in the literature. From 1956 to 1989, this garbage deposit received the domestic solid waste from the city of Florianópolis. Finally, we also present the analysis of the methods used.

**KEY WORDS:** Solid Residues, Landfill, Landfill Gas, School Canyon, IPCC.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 3.1 - FASES DE FORMAÇÃO DO BIOGÁS DE ATERRO .....	16
FIGURA 4.1 - SÉRIE HISTÓRICA DE CHUVAS EM FLORIANÓPOLIS. ....	30
FIGURA 5.1 - LOCALIZAÇÃO DO LIXÃO DO ITACORUBI .....	40
FIGURA 5.2 - DETERMINAÇÃO DA ÁREA SEGUNDO O PLANO DIRETOR .....	41
FIGURA 5.3 - ANTIGO LIXÃO DO ITACORUBI .....	42
FIGURA 5.4 - MÉTODO SCHOOL CANYON.....	44
FIGURA 5.5 - MÉTODO IPCC.....	45
FIGURA 5.6 - COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS .....	46

## LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 - TAXA DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS (K) .....	21
TABELA 3.2 - PRECIPITAÇÃO ANUAL E VALORES DE K .....	21
TABELA 3.3 - VALORES DE K ADOTADOS EM ESTUDOS DE ATERROS BRASILEIROS. .	22
TABELA 3.4 - CAPACIDADE DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DO METANO (L0) .....	23
TABELA 3.5 - CAPACIDADE DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DO METANO (L0). .....	23
TABELA 3.6 - VALORES DE L0 ADOTADOS EM ESTUDOS DE ATERROS BRASILEIROS	24
TABELA 3.7 - POLUENTES A SEREM ESCOLHIDOS NO PROGRAMA .....	25
TABELA 3.8 - LOCAIS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUO E FATOR DE CORREÇÃO DE METANO .....	27
TABELA 3.9 - COMPONENTE DOS RESÍDUOS E SEU COD .....	27
TABELA 4.1- POPULAÇÃO RESIDENTE DOS CENSOS (1970, 1980, 1991 E 2000).....	31
TABELA 4.2 - POPULAÇÃO URBANA CALCULADA .....	31
TABELA 4.3 - PROPORÇÃO DE RSU EM 1988 EM FLORIANÓPOLIS .....	33
TABELA 4.4 - RELAÇÕES ENTRE POPULAÇÃO, TAXA DE ATENDIMENTO, E PRODUÇÃO DE RESÍDUOS POR ANO. ....	35
TABELA 4.5 - FRAÇÃO DE RESÍDUOS QUE FOI DEPOSITADA NO LIXÃO. ....	37
TABELA 4.6 - VALORES ADOTADOS PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO IPCC. ....	38

# SUMÁRIO

<u>1</u>	<u>INTRODUÇÃO</u>	<u>12</u>
<u>2</u>	<u>OBJETIVOS</u>	<u>13</u>
2.1	OBJETIVO GERAL	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2.3	ETAPAS COMPLEMENTARES	13
<u>3</u>	<u>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</u>	<u>14</u>
3.1	LIXÃO	14
3.2	GÁS BIOQUÍMICO, GÁS DE ATERRO OU BIOGÁS	14
3.2.1	COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS	15
3.2.2	FORMAÇÃO DE BIOGÁS EM ATERRO	15
3.2.3	INFLUÊNCIA DE CARACTERÍSTICAS DOS RSD NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS	18
3.3	MODELOS PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS DE ATERRO	19
3.3.1	MÉTODO SCHOOL CANYON OU DECAIMENTO DE PRIMEIRA ORDEM	20
3.3.2	MÉTODO IPCC	26
<u>4</u>	<u>METODOLOGIA</u>	<u>29</u>
4.1	PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL DA REGIÃO	29
4.2	POPULAÇÃO URBANA DE FLORIANÓPOLIS	30
4.3	TAXA DE RESÍDUOS SÓLIDOS GERADOS POR HABITANTES	32
4.4	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS	32
4.5	MÉTODOS APLICADOS	33
4.5.1	APLICAÇÃO DO PROGRAMA LANDGEM	33
4.5.2	APLICAÇÃO DO MÉTODO IPCC (1996)	36
<u>5</u>	<u>RESULTADOS</u>	<u>39</u>

5.1	ESTUDO DE CASO: ANTIGO LIXÃO DO ITACORUBI .....	39
5.1.1	HISTÓRICO DA DEPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA CIDADE.....	39
5.1.2	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL .....	39
5.1.3	DETERMINAÇÃO LEGAL DA ÁREA .....	41
5.1.4	HISTÓRICO DO LIXÃO DO ITACORUBI .....	42
5.1.5	CARACTERIZAÇÃO HÍDRICA DO LOCAL.....	43
5.2	ESTIMATIVAS TEÓRICAS DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS.....	43
5.2.1	MÉTODO SCHOOL CANYON .....	43
5.2.2	MÉTODO IPCC.....	44
5.2.3	COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS .....	45
<u>6</u>	<u>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</u>	<u>46</u>
<u>7</u>	<u>REFERÊNCIA BIBLOGRÁFICA .....</u>	<u>47</u>

## 1 INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos, consequência de qualquer atividade humana, possui uma relação de quantidade e qualidade ligada a hábitos de consumo. Portanto, com o crescimento da população, a produção de resíduos sólidos aumentou significativamente, e sua destinação final passou a ser um problema.

Dentre as diversas formas de disposição final desses resíduos surgiram os lixões, os quais são depósitos de resíduos sólidos a céu aberto onde ocorre uma disposição desordenada dos mesmos, logo sem preocupação alguma com o meio-ambiente. Desta forma os lixões tornam-se locais propícios para a proliferação de vetores de doenças, poluição do solo, água, e do ar. A poluição do ar se faz pela emissão de diversos gases que juntos são conhecidos como biogás ou gás de aterro.

A produção do biogás em lixões e aterros além de contribuir para o aumento do efeito estufa, acentuando o aquecimento global, pode ainda representar riscos a saúde humana. Além disso, em altas concentrações, pode causar incêndios ou explosões no lixão ou em áreas vizinhas ao mesmo.

A poluição causada pela emissão de gases nos aterros pode ser atenuada através da captação do biogás para o aproveitamento energético ou para queima do biogás. Com a queima do biogás ocorre a eliminação dos gases tóxicos e a transformação do metano em dióxido de carbono, o que auxilia na redução do potencial de aquecimento global, uma vez que o metano é um dos componentes em maior quantidade do biogás. Projetos de captação desses gases têm surgido devido a uma grande diversidade de interesses, inclusive para venda de créditos de carbono. No entanto, a primeira etapa para tais investimentos são estimativas de produção do biogás.

A estimativa de produção de biogás em aterros constitui, então, uma importante ferramenta de apoio a decisões quanto a seu prévio tratamento, seu reaproveitamento energético, ou ainda qualquer outra tomada de decisão de cunho econômico ou ambiental ligada a um aterro ou lixão.

O presente trabalho se propõe a estimar, através de modelos empíricos (IPCC, School Canyon), a produção do biogás gerada no antigo lixão do Itacorubi, em Florianópolis.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

- Estimar a produção de biogás no antigo lixão do Itacorubi, Florianópolis/SC.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Aplicar dois modelos empíricos de produção de biogás (School Canyon e IPCC).
- Fazer análise crítica dos modelos aplicados.

### **2.3 ETAPAS COMPLEMENTARES**

- Obter a caracterização dos resíduos sólidos depositados no Lixão
- Analisar a evolução da emissão do biogás ao longo dos anos

### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1 LIXÃO**

Segundo CETESB (1998) lixões são vazadouros a céu aberto onde o resíduo é lançado sobre o terreno, sem qualquer cuidado de após a jornada de trabalho cobri-lo com uma camada de terra. No Brasil, há um grande número de lixões desativados, escondidos sob camada de solo sem maiores cuidados de proteção ambiental. Esses locais apresentam um passado em que não se conhece o solo e o subsolo sob o aterro, o material ali disposto, e em muitos casos, nem mesmo o tempo de duração em que tal disposição ocorreu.

A disposição de resíduos sólidos urbanos em locais sem infra-estrutura de proteção ambiental pode ser responsável pela contaminação de recursos naturais, seres humanos e animais por meio da emissão de efluentes líquidos e gasosos. Segundo o Instituto Brasileiro de geografia e Estatística (IBGE, 2002), dados relativos à destinação final dos resíduos indicam que 63,6% dos municípios brasileiros depositam seus resíduos sólidos em lixões.

Para Jucá (2003), houve, nos últimos anos, melhora significativa nos cuidados com tratamento e destinação final de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil. Como consequência dessa evolução, nota-se uma redução da quantidade de resíduos acumulados em lixões e aumento da quantidade disposta em aterros controlados e sanitários, além de se verificar pequeno crescimento na separação de materiais constituintes dos RSU, visando à reciclagem e compostagem.

#### **3.2 GÁS BIOQUÍMICO, GÁS DE ATERRO OU BIOGÁS**

Como consequência da decomposição anaeróbica dos resíduos sólidos orgânicos, seja na deposição em aterros sanitários ou lixões, ocorre a formação do gás de aterro.

Segundo a norma brasileira NBR 10.004 biogás é “Mistura de gases produzidos pela ação biológica na matéria orgânica em condições anaeróbias, composta principalmente de dióxido de carbono e metano em composições variáveis.”

A captação e utilização do gás produzido em aterros é uma opção atrativa para a redução de gases do efeito estufa. Além disso, o metano possui uma grande energia contida nos seus átomos que faz com que o gás possa ser usado para a produção de energia elétrica através de sua combustão dentro de motogeradores que movem turbinas. Projetos deste tipo são de grande importância, pois diferentes fontes de energia alternativa podem diversificar ou incrementar a matriz energética atualmente existente, tais como a eólica, a solar, a biomassa e também a proveniente do biogás (EPA, 1996).

O controle da emissão de biogás reduz a chance de instabilidade do aterro, minimiza a migração desses gases para áreas adjacentes ao aterro, ocasionando infiltrações nos sistemas de esgoto, e melhora o bem-estar da população vizinha ao aterro, graças à redução dos odores produzidos pela emissão de mercaptanas e compostos com enxofre (CETESB, 1998).

### *3.2.1 COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS*

De modo geral os gases que compõem o biogás aterros sanitários são: metano, dióxido de carbono, gás sulfídrico, oxigênio, hidrogênio, mercaptanas, propano, butano e outros compostos. As variações na concentração desses gases são atribuídas às diferenças de composição dos resíduos e ao estágio dos processos de decomposição.

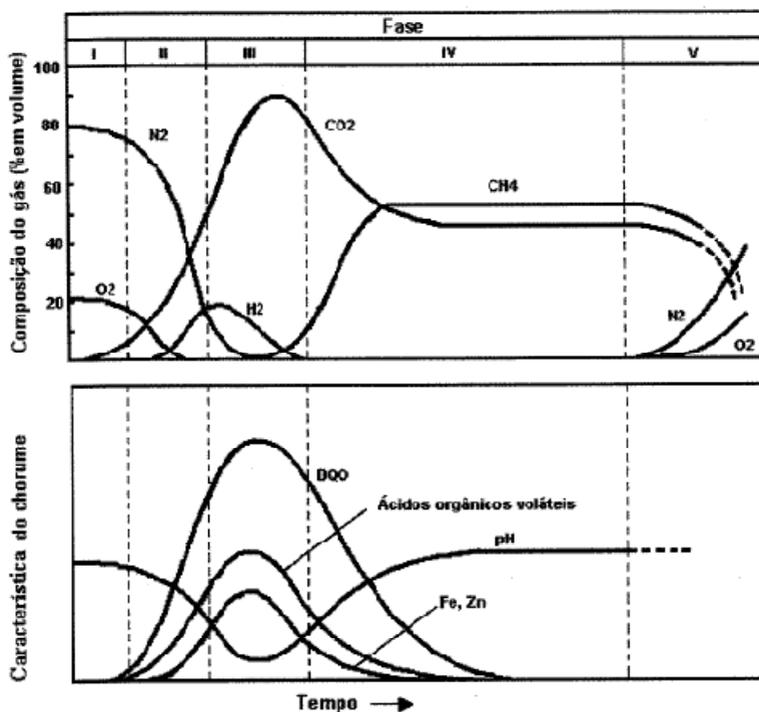
Segundo CETESB (1998) o gás de aterro é composto de 40 a 55% de metano (CH<sub>4</sub>), 35 a 50% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), 0 a 20% de nitrogênio, e concentrações residuais de compostos orgânicos voláteis, poluentes perigosos e outros elementos.

### *3.2.2 FORMAÇÃO DE BIOGÁS EM ATERRO*

A degradação dos compostos orgânicos e inorgânicos em aterros é constituída de mecanismos biológicos e físico-químicos os quais são catalisados pela presença de água advinda da umidade natural dos resíduos e da precipitação.

Quando a matéria orgânica presente nos resíduos é degradada em uma atmosfera isenta de oxigênio, onde vivem as bactérias anaeróbias, ocorre a produção natural de o biogás.(CENBIO, 2007)

A formação e a taxa de geração dos principais constituintes do gás de aterro é variável ao longo do tempo e segue várias fases distintas que podem ser observadas na Figura 3.1.



**Figura 3.1 - Fases de formação do biogás de aterro**  
 Fonte: Tchobanoglous, Theisen & Vinil (1993)

As fases apresentadas na Figura 3.1 estão descritas a seguir (TCHOBANOGLIOUS, THEISEN & VINIL, 1993):

**Fase I - Ajuste inicial:** A decomposição biológica da matéria orgânica ocorre principalmente em condições aeróbias, devido à presença de certa quantidade de ar no interior do aterro. A principal fonte de microorganismos para a decomposição aeróbia e anaeróbia nessa fase é a terra que é usada como material de cobertura para divisão das células do aterro e como camada final.

**Fase II – Transposição:** a quantidade de oxigênio decai e as reações anaeróbias se desenvolvem. Nitratos e sulfatos que podem servir como receptores de elétrons nas reações biológicas de conversão. As reações de redução podem ser monitoradas medindo-se o potencial de oxido-redução na massa de resíduos, ocorrendo principalmente entre -50 a -100 milivolts para nitratos e sulfatos. A produção do metano ocorre com valores entre -150 a -300 milivolts. Nessa fase o pH do chorume começa a cair devido à presença de ácidos orgânicos e pelo efeito das elevadas concentrações de  $\text{CO}_2$  dentro do aterro

**Fase III - Ácida:** as reações iniciadas na fase de transição são aceleradas com a produção de quantidades significativas de ácidos orgânicos e quantidades menores de gás hidrogênio. A primeira das três etapas do processo envolve transformação enzimática (hidrólise) dos compostos de maior massa molecular (lipídeos, polissacarídeos, proteínas e ácidos nucléicos) em compostos apropriados para o uso como fonte de energia pelos microorganismos. A segunda etapa do processo (acidogênese) envolve a conversão microbiológica dos compostos resultantes da primeira etapa em compostos intermediários com massa molecular menor, como o ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) e pequenas concentrações de outros ácidos mais complexos. O dióxido de carbono é o principal gás gerado durante esta fase e os microorganismos envolvidos nesta conversão, descritos como não-metanogênicos, são constituídos por bactérias anaeróbias estritas e facultativas. As demandas bioquímicas (DBO) e química de oxigênio (DQO) e a condutividade dos líquidos percolados aumentam significativamente durante esta fase devido à dissolução de ácidos orgânicos. Também devido ao baixo pH, constituintes inorgânicos como os metais pesados serão solubilizados.

**Fase IV - Metanogênica:** nesta fase predominam microorganismos estritamente anaeróbios, denominados metanogênicos, que convertem ácido acético e gás hidrogênio em  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ . A formação do metano e dos ácidos prossegue simultaneamente, embora a taxa de formação dos ácidos seja reduzida consideravelmente. O pH do líquido percolado nesta fase tende a ser mais básico, na faixa de 6,8 a 8,0.

**Fase V - Maturação:** Esta fase ocorre após grande quantidade do material orgânico ter sido biodegradado e convertido em  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  durante a fase metanogênica. Como a umidade continua a migrar pela massa de resíduos, porções de material bioegradável ainda não convertidas acabam reagindo. A taxa de geração do gás diminui consideravelmente, pois a maioria dos nutrientes disponíveis foi consumida nas fases anteriores e os substratos que restam no aterro são de degradação lenta. Dependendo das medidas no fechamento do aterro, pequenas quantidades de nitrogênio e oxigênio podem ser encontradas no gás do aterro.

### 3.2.3 INFLUÊNCIA DE CARACTERÍSTICAS DOS RSD NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

- Quantidade e composição dos resíduos

A composição do resíduo depositado no aterro é o fator mais importante na avaliação da geração de gás de aterro (Banco Mundial,2004). A maioria dos resíduos dispostos em um aterro são decompostos, o que resta consiste de vários materiais inertes tal como o concreto, cinza, solo, metais, plásticos e outros materiais não decomponíveis. Quanto mais facilmente é decomposta a fração orgânica do resíduo, mais acelerada será a taxa de produção de gás no aterro. No entanto, um dos problemas na aplicação de modelos de estimativa de biogás é a limitação de categorias de resíduos de alguns modelos além das diferentes categorias utilizadas entre os países.

- Tamanho das partículas

Quanto menor a unidade ou partícula do resíduo disposto, maior será a área da superfície específica. A partícula que possui uma área superficial maior decomporá mais rapidamente do que uma partícula com uma área de superfície específica menor. Um aterro que recebe resíduos em pedaços diminutos terá uma taxa de decomposição mais rápida e completa do que um aterro que recebe somente resíduos inteiros.

- Umidade do resíduo

A umidade é o fator limitante primordial na taxa de decomposição de resíduo. Quanto maior a umidade no aterro maior será sua produção de biogás. Alguns dos fatores que influenciam o teor de umidade de um aterro incluem a precipitação e a temperatura no local, tipo de cobertura de aterro, condição de cobertura, tipo de sistema de coleta de chorume, e tipo de base de aterro ou alinhamento natural (Banco Mundial, 2004).

- Idade do resíduo

A geração de gás em um aterro possui duas variáveis dependentes do tempo: tempo de atraso e tempo de conversão. O tempo de atraso é o período que vai da disposição dos resíduos até o início da geração do metano (início da Fase III). Tempo de conversão é o período que vai da disposição dos resíduos até o final da geração do metano (final da Fase V). Por exemplo, os resíduos de jardim têm os tempos de atraso e conversão menores, enquanto que o couro e o plástico possuem tempos de atraso e conversão maiores.

- pH (Potencial Hidrogeniônico)

O pH no meio exterior tem grande influência sobre o crescimento dos microrganismos. Na digestão anaeróbia, observam-se duas fases distintas quanto ao comportamento do potencial hidrogeniônico: a primeira se caracteriza por diminuição do pH em patamares próximos de 5,0 e se deve a ação das bactérias acidogênicas, a segunda, por aumento do pH e sua estabilização em valores próximos da neutralidade induzidas pela ação das bactérias metanogênicas. (PROSAB, 2003)

- Temperatura

A atividade enzimática das bactérias depende estreitamente da temperatura, alterações bruscas de temperatura causam desequilíbrio da população, principalmente nas bactérias formadoras de metano. Em torno de 10° C essa atividade é muito reduzida e, acima de 65°C, as enzimas são destruídas pelo calor. Os estudos da evolução dos resíduos sólidos urbanos demonstram que as temperaturas ideais das bactérias mesófilas são entre 32 e 37 graus e para as termófilas entre 60 e 65 graus. (PROSAB, 2003)

- Densidade dos resíduos

LIMA (1986) apud Brito Filho (2005), realizando estudos em escala real, pode verificar a ocorrência do aumento da velocidade no processo de digestão e um acentuado aumento na fração molar do gás metano devido ao aumento da altura da célula de lixo. Células com altura de 5,00 metros, sobrepostas, conseguem produzir gás mais rapidamente do que células isoladas. A experiência realizada na cidade de São Paulo, litoral Paulista, atenta ao fato das células não ultrapassarem a altura de 2,00 metros, tornando-se insignificante a produção de gás metano, justificando a suposição de que, quanto maior for a altura da célula, ou seja, seu grau de adensamento ou compactação, maior será a produção de gás.

### **3.3      *MODELOS PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS DE ATERRO***

Modelos matemáticos são ferramentas úteis e econômicas para avaliar o potencial de geração de biogás. Os resultados do modelo podem ser usados para avaliar o potencial para migração e emissões perigosas, e para avaliar a viabilidade do projeto de gestão do biogás. (Banco Mundial, 2004).

Existem diversos modelos disponíveis atualmente para calcular a produção de biogás. A produção de gás total e a taxa em que os gases são gerados podem variar um pouco com os diferentes modelos, mas o parâmetro de insumo mais importante, que é comum a todos os modelos, é a quantidade do resíduo presumido passível de decomposição. Os demais parâmetros podem variar dependendo do modelo usado e são influenciados por diversas variáveis, incluindo os fatores que influenciam a geração do gás de aterro e as incertezas nas informações disponíveis sobre o local.

Qualquer modelo de produção é bom somente na medida dos dados de insumo e freqüentemente há presunções muito amplas necessárias com respeito a estimar quantidades e tipos de resíduos depositados. Portanto, é apropriado usar um modelo simples que empregue parâmetros menos numerosos que podem ser designados mais razoavelmente segundo as condições específicas do local. O êxito previsível de qualquer modelo é dependente na maior parte do grau de certeza necessário, na confiabilidade dos dados, na experiência do indivíduo analisando os dados, e no grau de semelhança entre o local em questão e outros locais que possam ter sido modelados com sucesso.

Modelos cinéticos de primeira ordem são usados freqüentemente para avaliar a produção de metano durante a vida de um aterro. No entanto, conforme demonstrado nos estudos de três aterros sanitários na Holanda realizados por Scharff and Jacobs em 2001, as estimativas teóricas assim como as medições diretas nos aterros podem apresentar grandes divergências que naquele estudo chegaram a mais de 800%.

### *3.3.1 MÉTODO SCHOOL CANYON OU DECAIMENTO DE PRIMEIRA ORDEM*

Modelos cinéticos de primeira ordem são usados freqüentemente para avaliar a produção de metano durante a vida de um aterro. Esses modelos são adaptados para aterros específicos por numerosas presunções sobre condições no aterro. O modelo empírico mais amplamente aceito, de primeira ordem, de decomposição e usado pela indústria e por agências reguladoras (inclusive a EPA dos EUA) é o relativamente simples e objetivo Modelo School Canyon. Este modelo está baseado na premissa de que há uma fração constante de material biodegradável no aterro por unidade de tempo (Banco Mundial, 2001).

Para implementação desse método foi desenvolvido o programa LandGEM. Este programa possui algumas limitações em relação a composição dos resíduos, variação operacional do aterro e outras mudanças que podem restringir o uso do mesmo. Estas influências serão levadas em consideração na determinação dos valores adotados.

A seguir seguem alguns parâmetros importantes para introdução no programa:

**a. Taxa de Geração do Metano (k)**

A taxa de geração de metano representa a proporção de metano gerado pela massa de resíduo no aterro. O valor de k é função da umidade contida no resíduo, a quantidade de nutrientes disponível para os microorganismos realizarem a decomposição, o pH e a temperatura da massa de resíduos.

A EPA dispõe de alguns valores “k” os quais são relacionados na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1 - Taxa de geração de resíduos (k)**

<b>Tipo Padrão</b>	<b>Tipo de Aterro</b>	<b>k valor ano<sup>-1</sup></b>
<b>CAA</b>	Convencional	0.05 (padrão)
<b>CAA</b>	Área Árida	0.02
<b>Inventory</b>	Convencional	0.04
<b>Inventory</b>	Área Árida	0.02
<b>Inventory</b>	Molhado (bioreator)	0.7

**Fonte: EPA (2005)**

\* CAA: Clean Air Act. Lei norte Americana

\* Inventory: Valor padrão do programa

As tabelas a seguir Tabela 3.2 e Tabela 3.3 apresentam, respectivamente, as variações de k de acordo com a precipitação anual; e os valores de k adotados em alguns aterros brasileiros.

**Tabela 3.2 - Precipitação anual e Valores de k**

<b>Precipitação anual</b>	<b>Valores k</b>		
	<b>Relativamente inerte</b>	<b>Moderadamente inerte</b>	<b>Altamente degradável</b>
<250 mm	0.01	0.02	0.03
>250 e <500mm	0.01	0.03	0.05
>500 e <1000 mm	0.02	0.05	0.08
>1000 mm	0.02	0.06	0.09

**Fonte: Manual para Preparação de Gás de Aterro sanitário para Projetos de Energia, 2004**

**Tabela 3.3 - Valores de k adotados em estudos de aterros brasileiros.**

Aterro estudado		Valor adotado para k (ano <sup>-1</sup> )
<b>Aterro Sanitário Canabrava (Salvador/BA)</b>	MCT (2007)	0,12
<b>Aterro Sanitário de Bandeirante/SP</b>	USEPA (2002)	0,0395
<b>Aterro Controlado de Terra Brava/RJ</b>	BRITO FILHO (2005)	0,04
<b>Aterro Sanitário de Adrinópolis e Marambaia (Nova Iguaçu/RJ)</b>	MCT (2007)	0,1
<b>Aterro Sanitário do Aurá (Belém/PA)</b>	MCT (2007)	0,05
<b>Aterro Sanitário Anaconda (Santa Isabel/SP)</b>	MCT (2007)	0,1
<b>Aterro Sanitário de Guaratinguetá/SP</b>	MENDES (2005)	0,05
<b>Aterro Sanitário Delta (Campinas/SP)</b>	ENSINAS (2003)	0,0283

### ***b. Potencial de Geração do Metano (L<sub>0</sub>)***

O potencial de geração de metano (L<sub>0</sub>) representa a produção total de metano (m<sup>3</sup> de metano por tonelada de resíduo). O valor de L<sub>0</sub> é um fator dependente da composição do resíduo e em particular da fração de matéria orgânica presente.

A EPA usa um valor pré-estabelecido de L<sub>0</sub> igual a 170 m<sup>3</sup> de metano/tonelada de resíduo, no entanto é possível que o usuário do modelo manipule esse dado aumentando ou diminuindo o valor de L<sub>0</sub> para refletir o conhecimento específico da caracterização do resíduo com conteúdos de maior ou menor de lixo orgânico.

Só é recomendado que o parâmetro L<sub>0</sub> seja reduzido ou a quantidade de resíduo contribuinte seja reduzida se houver dados claros e concisos quantificando a fração de resíduo inerte ou relativamente inerte na massa de resíduos totais. A Tabela 3.4, Tabela 3.5, Tabela 3.6 trazem valores de potencial de geração de metano.

**Tabela 3.4 - Capacidade do potencial de geração do metano (L0)**

<b>Tipo de emissão</b>	<b>Tipo de Aterro</b>	<b>L<sub>0</sub> Valor – m<sup>3</sup>/mg</b>
<b>CAA</b>	Convensional	170 (padrão)
<b>CAA</b>	Área Árida	170
<b>Inventory</b>	Convensional	100
<b>Inventory</b>	Área Árida	100
<b>Inventory</b>	Molhado (bioreactor)	96

**Fonte: EPA (2005).**

**Tabela 3.5 - Capacidade do potencial de geração do metano (L0).**

<b>Precipitação anual (mm/ano)</b>	<b>Lo (m<sup>3</sup>/t)</b>
<b>0-249</b>	60
<b>250-499</b>	80
<b>&gt; 500</b>	84

**Fonte: GUZZONE (2003).**

**Tabela 3.6 - Valores de Lo adotados em estudos de aterros brasileiros**

<b>Aterro estudado</b>		<b>Valor adotado para Lo (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t RSD)</b>
<b>Aterro Sanitário Canabrava (Salvador/BA)</b>	MCT (2007)	180
<b>Aterro Sanitário de Bandeirante/SP</b>	USEPA (2002)	125
<b>Aterro Controlado de Terra Brava/RJ</b>	BRITO FILHO (2005)	100
<b>Aterro Sanitário de Adrinópolis e Marambaia (Nova Iguaçu/RJ)</b>	MCT (2007)	164
<b>Aterro Sanitário do Aurá (Belém/PA)</b>	MCT (2007)	170
<b>Aterro Sanitário Anaconda (Santa Isabel/SP)</b>	MCT (2007)	170,8
<b>Aterro Sanitário de Guaratinguetá/SP</b>	MENDES (2005)	131,4
<b>Aterro Sanitário Delta (Campinas/SP)</b>	ENSINAS (2003)	157

***c. Concentração de Compostos Orgânicos Não Metanos (NMOC10)***

A concentração de NMOC em um aterro é calculada em função dos tipos de resíduos presentes no aterro e o conjunto de reações que produzem vários compostos a partir da decomposição anaeróbia do resíduo. O padrão de concentração do NMOC, segundo a CAA (Clean Air Act), é de 4.000 ppmv. Também pode-se determinar NMOC através do inventário de co-disposição pré-estabelecido pelo LandGEM: se não existe co-disposição de resíduos perigosos no aterro deve-se usar 600 ppmv, caso haja co-disposição usa-se 2.400 ppmv.

***d. Concentração de Metano (%)***

O programa LandGEM assume como base que na massa de resíduos há de 50% de dióxido de carbono e 50% de metano com um adicional traço de NMOCs e outros gases poluentes. Porém se o teor de metano no biogás for maior ou menor, este deverá ser modificado no *User-specified*. Caso a nova percentagem de metano fique abaixo de 40% ou acima de 60%, não é recomendado o uso do programa já que poderá ocorrer invalidação da equação de primeira ordem de decomposição, ou seja, o programa não fornecerá valores confiáveis.

### *e. Seleção de Gases/Poluentes*

É possível escolher quatro gases ou poluentes para serem modelados de uma só vez. Os gases e poluentes disponíveis pelo programa estão relacionados de acordo com as características de concentração (ppmv) e peso molecular. Os poluentes que podem ser incorporados no sistema estão citados na Tabela 3.7.

**Tabela 3.7 - Poluentes a serem escolhidos no programa**

Gás/ poluente	Concentração	Peso Molecular
<b>Gases</b>		
<b>Total de gás de aterro</b>	não aplicável	30.03
<b>Metano</b>	não aplicável	16
<b>Dióxido de carbono</b>	não aplicável	
<b>NMOCs</b>	600 para não registro ou não conhecimento da co-disposição 2400 para registro co-disposição	86.18
<b>Poluentes</b>		
<b>1,1,1-Tricoloroetano</b>	0.48	133.41
<b>1,1,2,2-Tetracloroetano</b>	1.1	167.85
<b>1,1 Dicloroetano</b>	2.4	98.97
<b>1,1-Dicloroetano</b>	0.2	96.94
<b>1,2-Dicloroetano</b>	0.41	98.96
<b>1,2-Dicloropropano</b>	0.18	112.99
<b>2-Propanol</b>	50	60.11
<b>Acetona</b>	7	58.08
<b>Acrilonitrilo</b>	6.3	53.06
<b>Benzeno</b>	1.9 para não conhecimento da disposição 11 para co-disposição	78.11
<b>Bromodiclorometano</b>	3.1	163.83
<b>Butano</b>	5	58.12
<b>Carbono difulfide</b>	0.58	76.13
<b>Carbono monóxido</b>	140	28.01

Fonte: EPA (2005).

### 3.3.2 MÉTODO IPCC

O modelo IPCC apresenta uma metodologia de fácil aplicação permitindo calcular ou determinar as emissões anuais de metano para países ou regiões específicas a partir da quantidade de resíduos sólidos depositados em aterros de resíduos sólidos de classificação diferente.

Esse método considera a estimativa do percentual de carbono orgânico degradável e sua fração distinta presente na massa de resíduo, determinando deste modo a quantidade de metano que pode ser gerada por determinada quantidade de resíduo depositado, onde se considera diferentes categorias de resíduos sólidos urbanos. Caso não se disponha de dados para o cálculo no país, poderão ser aplicados dados padronizados fornecidos pelo IPCC, porém a qualidade dos resultados será prejudicada.

A metodologia do IPCC é baseada no balanço de massa aproximado que envolve a estimativa da degradação orgânico do carbono contida no resíduo sólido, o carbono orgânico acessível para decomposição bioquímica e usando esta estimativa para calcular a quantidade metano que pode ser gerado na massa de resíduo.

O método do IPCC segue a equação abaixo:

$$E_{CH_4} = (\text{Pop}_{\text{urb}} \times \text{Taxa}_{\text{RSD}} \times \text{RSD}_f \times \text{FCM} \times \text{COD} \times \text{COD}_f \times F_{16/12-R}) \times (1 - \text{OX}) \quad (1)$$

Onde:

**E<sub>CH<sub>4</sub></sub>** = Emissão de Metano (KgCH<sub>4</sub>/ano);

**Pop<sub>urb</sub>** = População urbana do município (nº habitantes);

**Taxa RSD** = Taxa de geração de resíduos sólidos domésticos por habitante por ano (kg RSD/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 (KgCH<sub>4</sub>/ano);

**OX** = Fator de oxidação (fração adimensional).

O fator de correção de metano (FCM) está relacionado com a qualidade do aterramento do resíduo, considerando o fato do resíduo ser aterrado de forma inadequada produzindo uma menor quantidade de metano em relação aquele destinado em locais adequados, onde uma maior parte do resíduo é decomposta em condições anaeróbias. Valores recomendados pelo IPCC para este fator são mostrados na Tabela 3.8.

**Tabela 3.8 - Locais de disposição de resíduo e Fator de Correção de Metano**

<b>Tipo de local</b>	<b>Fator de correção de metano</b>
<b>Adequado</b>	1,0
<b>Inadequado (profundo para <math>\geq 5,00</math> m de resíduos)</b>	0,8
<b>Inadequado (não profundo para <math>&lt; 5,00</math> m de resíduos)</b>	0,4
<b>Sem classificação</b>	0,6

**Fonte: IPCC (1996)**

\* Locais adequados devem ter deposição controlada do resíduo abrangendo o material de cobertura, compactação mecânica e nivelamento do resíduo.

\* Para locais não classificados é assumido um valor Default para FCM.

A quantidade de carbono orgânico degradável (COD) é determinada pela Equação 02, onde esta se baseia na composição do resíduo e na quantidade de carbono em cada componente da massa de resíduo como reportado em IPCC (1996). Na Tabela 3.9 são apresentados os valores de COD para diferentes componentes do resíduo.

**Tabela 3.9 - Componente dos resíduos e seu COD**

<b>Componente</b>	<b>COD (% em massa)</b>
<b>A= Papel e papelão</b>	40
<b>B= Resíduos de parques e jardins</b>	17
<b>C= Restos de alimentos</b>	15
<b>D= Tecidos</b>	40
<b>E= Madeira</b>	30

**Fonte: IPCC, 1996.**

$$\text{COD} = 0,4 \times (A) + 0,17 \times (B) + 0,15 \times (C) + 0,30 \times (E)$$

(2)

No caso de não estar discriminada a composição de matéria orgânica presente nos resíduos, e sim, como outros, esta categoria englobaria os resíduos de jardim, parques e outros orgânicos putrescíveis não alimentícios (B), resíduos de alimentos (C) e resíduos de madeira e palha (D), a Equação 02 teria de ser tratada por uma faixa, dentro dos limites (15-30%), sugerida da seguinte forma:

$$\text{COD} = 0,4 \times (A) + (0,15 \text{ a } 0,30)(B + C + D)$$

(3)

A Fração diferenciada COD (COD<sub>f</sub>) é a parcela de COD convertida em gás de aterro. Segundo Tabasaran (1981), estimar a quantidade de carbono diferenciada é confiar em um modelo teórico que varia com a temperatura na zona anaeróbia de um aterro:

$$\text{COD}_f = 0,014T + 0,28$$

(4)

Onde:

T= temperatura (°C)

Assume-se que a temperatura na zona anaeróbia de um local de disposição de resíduos sólidos (LDRS) permanece constante por volta dos 35°C não obstante da temperatura ambiente (Bingemer & Crutzen, 1987 apud IPCC, 1996). É recomendado o valor de 0,77 para a fração de COD<sub>f</sub> obtido através da Equação (04). Caso haja informação adicional, será de grande relevância para a determinação do COD<sub>f</sub>.

Parte da difusão de metano nos materiais de cobertura dos aterros pode ser oxidada mediante bactérias metanotróficas que utilizam reações para ganhar energia e carbono para seu crescimento. Com essa transformação do metano na cobertura do aterro não acontece toda a liberação do gás produzido para o ambiente devendo então essa proporção ser descontada da quantidade de biogás estimada. Essa quantidade é chamada de fator de oxidação (OX) que é dada como porcentagem nesse método.

## 4 METODOLOGIA

Este estudo foi implementado com o intuito de demonstrar a produção de biogás no antigo Lixão do Itacorubi o qual esteve em operação de 1956 a 1989 recebendo os resíduos sólidos domésticos do município de Florianópolis, capital do estado de Santa Catarina. Para esta demonstração serão utilizados dois modelos teóricos de estimativa de produção de biogás, o School Canyon e o IPCC. Estes modelos foram escolhidos por serem de acessíveis e serem os mais utilizados atualmente por órgãos ambientais reconhecidos internacionalmente.

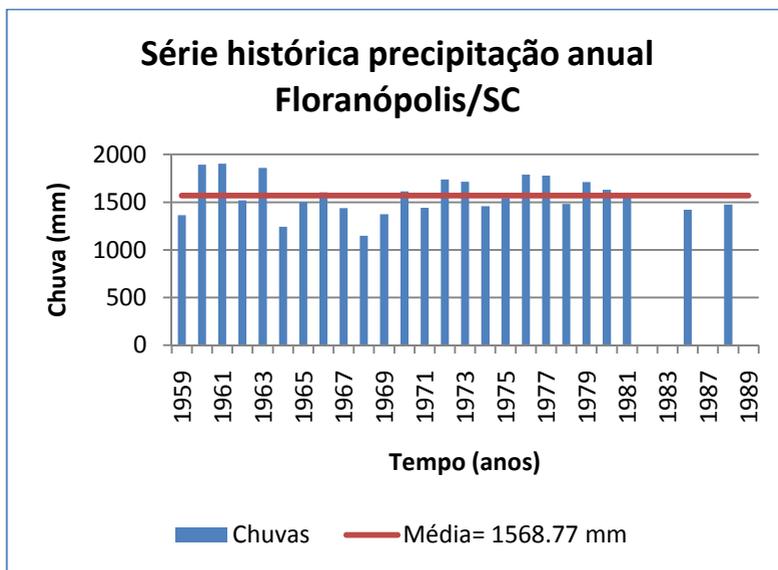
Para a implementação dos modelos foi preciso fazer a caracterização de diversos aspectos referentes ao ambiente em que o lixão foi inserido e ao próprio resíduo lá depositado. Esses aspectos serão detalhados nos itens a seguir.

### 4.1 *PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL DA REGIÃO*

A umidade da massa dos resíduos é um fator essencial na determinação da produção do gás de aterro, ela é determinada de acordo com a umidade pré-existente nos resíduos e também com a umidade advinda da precipitação no local do aterro.

A precipitação acaba tendo um papel decisivo na escolha de parâmetros como a taxa de geração de metano (k) e no potencial de geração de metano (L0) que podem inclusive ser determinados de acordo com a precipitação anual da região.

Para o estudo da precipitação foi feita uma análise da série história da precipitação anual da cidade de Florianópolis através do Sistema de Informações Hidrológicas, via web, da Agência Nacional de Águas (ANA), e fez-se então uma seleção de quatro estações pluviométricas próximas ao lixão. Escolheram-se as estações pluviométricas de código 2748005, 2748013, 2748022 e 2748023 para servir de base para o estudo das precipitações no local. Foram inseridas quatro estações devido ao fato de nenhuma delas isoladamente possuir dados representativos referentes aos anos de recebimento de resíduos, entre 1959 e 1989.



**Figura 4.1 - Série histórica de chuvas em Florianópolis.**

## **4.2 POPULAÇÃO URBANA DE FLORIANÓPOLIS**

A estimativa da população urbana anual do município de Florianópolis foi determinada através da contagem da população disponível nos censos nacionais (IBGE) de 1970, 1980 e 1991 e os dados de 1950 e 1960 foram obtidos, no IBGE, a partir da porcentagem da população residente na capital do estado em relação à população de Santa Catarina. Para a determinação do crescimento médio geométrico anual foi utilizada a seguinte equação (exemplo da determinação do crescimento geométrico e populacional para o censo de 1970 e 1980):

$$Pop_{80} = Pop_{70} \times (1 + i)^{(80-70)}$$

sendo:

$$i = (Pop_{80} / Pop_{70})^{\frac{1}{(80-70)}} - 1$$

Onde:

- Pop80 é a população (residente em áreas urbanas) no ano de 1980 (IBGE);
- Pop70 é a população (residente em áreas urbanas) no ano de 1970 (IBGE);
- $i$  é a taxa média geométrica para o incremento populacional anual.

**Tabela 4.1- População residente dos censos (1970, 1980, 1991 e 2000).**

<b>Ano</b>	<b>População Urbana Florianópolis</b>
<b>1950</b>	-
<b>1960</b>	-
<b>1970</b>	121028
<b>1980</b>	161795
<b>1990</b>	239996
<b>2000</b>	332185

Como não há dados disponíveis da população de Florianópolis nos anos de 1950 e 1960 estes foram calculados, durante o estudo, de acordo com a Tabela 4.2.

**Tabela 4.2 - População urbana calculada**

<b>Ano</b>	<b>População total Santa Catarina</b>	<b>Porcentagem da população que vive na capital</b>	<b>População total calculada Florianópolis</b>	<b>Taxa de Urbanização</b>	<b>População urbana calculada</b>
1950	1560502	4.3	67102	0.6	40261
1960	2146909	4.6	98758	0.6	59255
1970	2930411	4.9	143590	0.6	86154
1980	3687652	5.3	195446	0.6	117267
1990	4538248	5.6	254142	0.6	152485
2000	5349580	6.4	342373	0.6	205424

Com os dados da contagem da população para os anos de 1970, 1980, 1990, 2000 e os números calculados na Tabela 4.2 para os anos de 1950 e 1960 obteve-se a taxa de crescimento urbano do município e uma estimativa da população ao longo dos anos de funcionamento do lixão conforme Apêndice 1.

#### **4.3 TAXA DE RESÍDUOS SÓLIDOS GERADOS POR HABITANTES**

Segundo informações obtidas na prefeitura municipal de Florianópolis, o total de resíduo sólido recolhido pelo sistema de coleta convencional no ano de 1990 foi de 55414 toneladas. Como, segundo o IBGE, a população para o mesmo ano era de 239.996 habitantes, chegou-se a um valor aproximado de 231 kg de resíduo gerado por habitante por ano o que corresponde a 0.633 kg por dia.

Como esta foi a caracterização mais antiga encontrada em que se pode relacionar aos dados de contagem da população serão utilizados esses dados na obtenção da produção de biogás para o lixão do Itacorubi.

#### **4.4 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS**

A Universidade Federal de Santa Catarina através do seu Depto. De Engenharia Sanitária juntamente com a COMCAP (Companhia de Melhoramento da Capital) desenvolveram, no ano de 1988, a primeira caracterização dos resíduos sólidos do município de Florianópolis. A pesquisa utilizou a metodologia descrita por Ruocco Jr e foi realizada durante 11 meses, em 8 roteiros de coleta amostrados mês a mês. Os resultados são descritos na tabela abaixo:

**Tabela 4.3 - Proporção de RSU em 1988 em Florianópolis**

<b>Resíduo Sólido Doméstico</b>	<b>Proporção (%)</b>
Orgânico	47.33
Papel	25.01
Papelão	6.89
Plástico Mole	6.74
Plástico duro	2.14
Vidro	1.95
Ferro	3.35
Material não ferroso	0.36
Madeira	1.15
Trapo	2.58
Couro	0.14
Louça	0.19
Borracha	0.49
Cerâmica	0.08
Terra e similares	0.19
Outros	0.009
Pedras	1.4

Fonte: COMCAP, 2002.

## **4.5 MÉTODOS APLICADOS**

### **4.5.1 APLICAÇÃO DO PROGRAMA LANDGEM**

Os dados de entrada necessários para operação do programa LandGEM-v302 estão relacionados abaixo:

**a) Nome do Aterro**

O nome adotado para o “aterro” foi Lixão do Itacorubi.

**b) Ano de Abertura do Aterro**

O ano em que o lixão iniciou o recebimento de resíduos foi 1956.

**c) Ano de Fechamento do Aterro**

O último ano que o aterro recebeu resíduos sólidos domésticos foi em 1989.

***d) Taxa de Geração do Metano (k)***

Para taxa de geração de metano foi utilizado o valor de 0.05 que é o indicado como padrão pela EPA e que se enquadra nos dados fornecidos pelo manual de preparação de gás de aterro para projetos de energia elaborado em 2004 e que leva em consideração o índice anual de chuvas.

***e) Potencial de Geração do Metano (L0)***

Como não há dados concisos da quantidade de resíduo inerte optou-se por adotar o padrão utilizado pela EPA que é de 170 m<sup>3</sup> de metano por tonelada de resíduo. Este valor também se enquadra nos estudos relacionados a índices de precipitação anuais fornecidos por Guzzone.

***f) Concentração de Compostos Orgânicos Não Metanos (NMOC10)***

A concentração de NMOC foi estipulada sendo 600 ppmv considerando-se a inexistência de resíduos perigosos na massa depositada no lixão.

***g) Concentração de Metano (%)***

Com indicação do programa foi usado o valor de 50% de concentração de gás carbônico e 50% de metano com residuais de outros poluentes como os NMOCs.

***h) Seleção de Gases/Poluentes***

Foram avaliados os gases: biogás e metano.

***i) Informar a quantidade de resíduos depositados por ano de funcionamento do aterro.***

Segundo a Companhia de Melhoramento da Capital (COMCAP) a taxa de atendimento da população atualmente é de 90%, neste estudo serão considerados diferentes valores deste atendimento ao longo dos anos.

**Tabela 4.4 - Relações entre população, taxa de atendimento, e produção de resíduos por ano.**

<b>Ano</b>	<b>População Urbana (hab)</b>	<b>Deposição RSD no lixão (kg/ano)</b>
1956	50768	3502212.035
1957	52768	3640208.877
1958	54847	3783643.177
1959	57008	3932729.185
1960	59255	5450252.791
1961	63641	5853733.677
1962	68353	6287084.155
1963	73413	6752515.463
1964	78848	7252402.537
1965	84685	7789296.130
1966	90954	8365935.824
1967	97687	8985264.015
1968	104919	9650440.920
1969	112686	10364860.710
1970	121028	16698253.234
1971	124593	17190122.317
1972	128263	17696480.054
1973	132041	18217753.225
1974	135931	21880111.384
1975	139935	22524618.937
1976	144057	23188111.310
1977	148300	23871147.727
1978	152669	24574303.883
1979	157166	25298172.432
1980	161795	29763843.981
1981	167700	30850072.764

<b>Ano</b>	<b>População Urbana (hab)</b>	<b>Deposição RSD no lixão (kg/ano)</b>
1982	173820	31975943.368
1983	180164	33142902.517
1984	186739	34352449.735
1985	193554	37831522.972
1986	200617	39212180.968
1987	207939	40643225.951
1988	215528	42126496.791
1989	223393	43663899.466

#### 4.5.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO IPCC (1996)

O método do IPCC segue a equação abaixo:

$$E_{\text{CH}_4} = (Pop_{urb} \times Taxa_{RSD} \times RSD_f \times FCM \times COD \times COD_f \times F16/12 - R) \times (1 - OX) \quad (1)$$

Onde: foram adotados os seguintes valores:

a) **População Urbana**

A população urbana considerada é a mesma utilizada no programa LandGEM e encontra-se na Tabela 4.4.

b) **Taxa de geração de resíduos sólidos domésticos por habitante por ano**

A taxa de geração de resíduos considerada foi de 231 kg / ano.

c) **Fração de RSD que foi depositada no lixão**

Varia ao longo dos anos e está demonstrado na Tabela 4.5.

**Tabela 4.5 - Fração de resíduos que foi depositada no Lixão.**

<b>Ano</b>	<b>RSDf</b>	<b>Ano</b>	<b>RSDf</b>
1950	0.2	1970	0.6
1951	0.2	1971	0.6
1952	0.2	1972	0.6
1953	0.2	1973	0.6
1954	0.2	1974	0.6
1955	0.3	1975	0.7
1956	0.3	1976	0.7
1957	0.3	1977	0.7
1958	0.3	1978	0.7
1959	0.3	1979	0.7
1960	0.4	1980	0.8
1961	0.4	1981	0.8
1962	0.4	1982	0.8
1963	0.4	1983	0.8
1964	0.4	1984	0.8
1965	0.4	1985	0.85
1966	0.4	1986	0.85
1967	0.4	1987	0.85
1968	0.4	1988	0.85
1969	0.4	1989	0.85

**d) Fator de correção do metano**

Foi utilizado um FCM de 0.6 uma vez que o lixão não teve cobertura adequada que garantisse uma decomposição da matéria orgânica de forma ideal.

**e) Carbono orgânico degradável no resíduo**

De acordo com a caracterização feita pelo município em 1988 foi constatado a proporção de 31,9% de papel e papelão, 47,33% de resíduos de alimentos e 1,15 % de madeiras o que, com a aplicação da fórmula (04), obteve-se um valor de COD de 0.2003.

**f) Fração de COD que realmente degrada transformando-se em biogás**

Conforme especificado anteriormente o valor de CODf foi estipulado em relação a temperatura de decomposição das bactérias chegando a um valor padrão de 0.77.

**g) Fração de CH<sub>4</sub> no gás de aterro**

A fração de metano no gás foi estimada como sendo 50% do total de gases.

***h) Taxa de geração de carbono em metano***

Esta é uma constante da fórmula fixada em 16/12.

***i) Quantidade de metano recuperado***

Como não ocorre a recuperação de metano este item foi incluído com o valor zero.

***j) Fator de oxidação***

O fator de oxidação foi incluído com o valor 10%, uma vez que segundo Brito Filho 2005, este é o valor mais amplamente aceito quando não houveram estudos específicos.

A seguir apresenta-se na Tabela 4.6 um resumo dos dados adotados para a aplicação do método IPCC.

**Tabela 4.6 - Valores adotados para aplicação do método IPCC.**

<b>Coeficiente</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor adotado</b>
População urbana	Pop urb	habitantes	Tabela 4.4
Taxa de geração de resíduos sólidos domésticos por habitante por ano	Taxa RSD	KG RSD/habitante x ano	231
Fração de RSD que é depositada em locais de disposição de resíduos sólidos	RSDf	Fator adimensional	Tabela 4.5
Fator de correção de metano	FCM	Fator adimensional	0,6
Carbono orgânico degradável no resíduo sólido doméstico	COD	Fator adimensional ou kgC/kgRSD	0,2003
Fração de COD que realmente degrada	CODf	Fator adimensional	0,77
Fração de CH <sub>4</sub> no gás de aterro	F	Fator adimensional	0,5
Taxa de geração de carbono em metano	16/12	Fator adimensional ou kgCH <sub>4</sub> /kg C	1,333
Quantidade de metano recuperado	R	kgCH <sub>4</sub> /ano	0
Fator de oxidação	OX	Fração adimensional	0,1

## 5 RESULTADOS

### 5.1 *ESTUDO DE CASO: ANTIGO LIXÃO DO ITACORUBI*

A área estudada é relativa ao Antigo Lixão do Itacorubi, situado, no bairro Itacorubi, na cidade de Florianópolis, Santa Catarina. A seguir serão detalhadas as características referentes ao local.

#### 5.1.1 *HISTÓRICO DA DEPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA CIDADE*

Assim como diversos municípios brasileiros, Florianópolis dispôs seus resíduos de forma irregular durante muito tempo. Fazendo uma retrospectiva a cerca de 170 anos é possível compreender o surgimento do lixão do Itacorubi:

É aprovada, em 1830, pela câmara municipal de Florianópolis uma lei que regulariza a deposição dos resíduos sólidos em praias, rios e nos mares. Essa lei veio como uma forma de evitar que os detritos continuassem a se acumular pelas ruas da cidade.

O primeiro serviço de coleta de resíduos sólidos concedido a coletoras particulares se deu em 1884. Apesar de haver a coleta a deposição final continuava sendo o mar.

Já em 1914 foi construído o incinerador de lixo da cidade, o qual se localizava na cabeceira insular da ponte Hercílio Luz. Após alguns anos a fumaça passa a incomodar moradores que começam a reivindicar uma outra forma de destino para os resíduos da cidade.

Por fim, foi em 1956 que se começou a deposição do resíduo domiciliar de Florianópolis em um “banhado” atrás do Morro da Cruz, entre o cemitério São Francisco de Assis e a penitenciária da cidade. Mais tarde o local ficou conhecido como Lixão do Itacorubi.

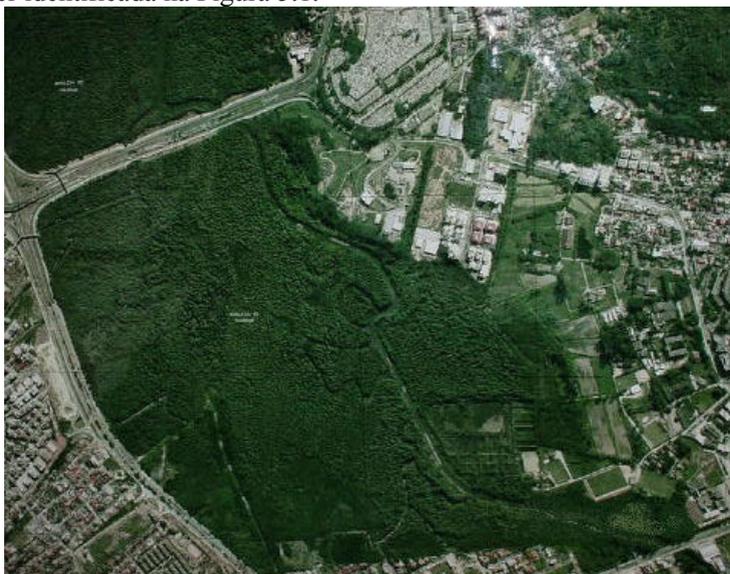
#### 5.1.2 *CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL*

A área em que está inserido o lixão é uma região de manguezal, com relevo quase que horizontal e com aclividade em suas margens. Nas áreas não alteradas por atividade antrópica as partes mais altas estão a 45 centímetros acima do nível da maré baixa. No interior do manguezal, o nível médio da maré é de 0,63 metros (FILHO e PANITZ 1998 apud SORIANO-SIERRA et al 1986).

O manguezal do Itacorubi é o mangue de Florianópolis que possui maior degradação uma vez que estando dentro do perímetro urbano já tenha perdido mais de 78% de sua área original devido a aterros residenciais e sanitários.

Na área próxima ao antigo Lixão do Itacorubi, a vegetação do mangue é constituída principalmente pela *Avicennia schaueriana* (Siriuba), a qual compreende quase que a totalidade da vegetação do mangue do Itacorubi, chegando a ocupar por volta de 98% de toda a área, segundo DALOTTO (2003).

A área do lixão localiza-se na Baía Norte delimitado pela avenida Beira Mar, rodovia SC 404, avenida da Saudade e pelo loteamento Santa Mônica e pode ser identificada na Figura 5.1.



**Figura 5.1 - Localização do Lixão do Itacorubi**



#### 5.1.4 HISTÓRICO DO LIXÃO DO ITACORUBI

O lixão do Itacorubi iniciou suas atividades por volta de 1956, em uma época em que não era popular o uso de termos como “desenvolvimento sustentável”. Na época a área foi escolhida por ser praticamente isenta de moradias e ter em suas redondezas somente o cemitério municipal São Francisco de Assis (fundado em novembro de 1925).

A disposição dos resíduos, conforme pode ser visto na Figura 5.3, era feita com a simples descarga sobre o solo sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. Como os resíduos ficavam expostos a céu aberto, acabavam promovendo a proliferação de vetores, geração de maus odores, a poluição das águas subterrâneas e superficiais pelo chorume, comprometendo os recursos hídricos e o sistema de mangue do local e ainda gerando problemas sociais e depreciação de áreas vizinhas.



**Figura 5.3 - Antigo Lixão do Itacorubi**

Fonte: COMCAP

Em 1989 encerrou-se o recebimento de resíduos sólidos domésticos no lixão, e no mesmo ano foi assinado pela Prefeitura Municipal de Florianópolis, um contrato com a empresa Formacco, no qual a empresa responsabilizava-se pelo transporte e destinação final dos resíduos sólidos. No entanto, durante cerca de dez anos, o local continuou recebendo resíduos da construção civil e material de poda em geral, até o ano de 1999.

Com o fim do recebimento dos resíduos domésticos o então lixão passou a funcionar como uma estação de transbordo. Em 1992, foi instalado o Centro de Triagem para o material recolhido pela coleta seletiva. E foi a partir de 1997 que começaram ações efetivas de reurbanização do espaço. Em 2000 foi concluída a nova estrutura do Centro de Transferência de Resíduos Sólidos - CETReS.

Atualmente, os resíduos da capital são coletados pela COMCAP, encaminhados à estação de transbordo do Itacorubi onde são transferidos para as carretas terceirizadas pela empresa contratada (Formacco Transambiental) e então transportados até o local de disposição final no aterro sanitário localizado no município de Biguaçu, de propriedade da mesma empresa.

### *5.1.5 CARACTERIZAÇÃO HÍDRICA DO LOCAL*

O sistema hídrico da área em estudo é constituído principalmente pelos rios Sertão e Itacorubi, sendo que este último fica localizado bem próximo ao antigo lixão. De acordo com DALOTTO (2003) “Os níveis hídricos em regime de vazão mínima oscilam em torno de 40 cm na ponte de Madre Benvenuta e em 2,2 metros em avenida da Saudade”. Estes níveis podem chegar a 3,5 metros devido a precipitações intensas em conjunto com a maré alta. “Em condições de vazões mínimas registram-se velocidades de 20cm/s e uma vazão de aproximadamente 1m<sup>3</sup>/s” cita DALOTTO (2003) a respeito do ponto de observação na Avenida da Saudade.

O trecho do rio Itacorubi localizado na área em estudo de acordo com a Resolução CONAMA Nº 20 de 1986, pode ser classificado como Classe 7.

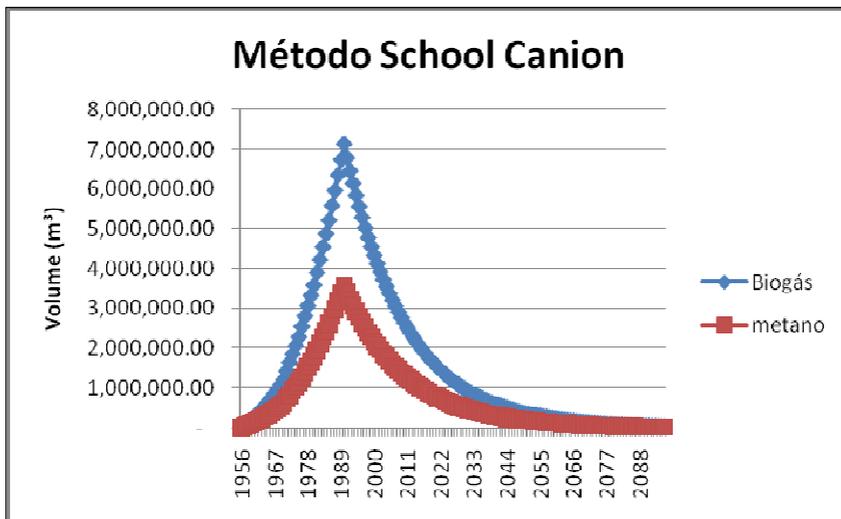
## **5.2 ESTIMATIVAS TEÓRICAS DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS**

Os resultados referentes a aplicação dos métodos School Canion, aplicado com o programa LandGEM, e do IPCC estão descritos a seguir.

### *5.2.1 MÉTODO SCHOOL CANYON*

O método Scchool Canyon foi utilizado neste trabalho com a aplicação do programa LandGEM. No programa foram selecionados os gases relacionados a produção de biogás. Os gráficos a seguir mostram a produção de biogás e metano ao longo do tempo em metros cúbicos por ano.

Os dados resultantes da aplicação deste método estão apresentados no Apêndice 2.



**Figura 5.4 - Método School Canyon**

Observa-se que segundo o método School Canyon a produção de metano e biogás perdura por cerca de 100 anos após o fechamento do lixão.

Usando este método o pico de produção dos gases ocorre um ano após o fechamento do lixão, em 1990. Para este ano o lançamento de biogás foi de 7.135.397 m<sup>3</sup> de biogás e 3.567.689 m<sup>3</sup> de metano.

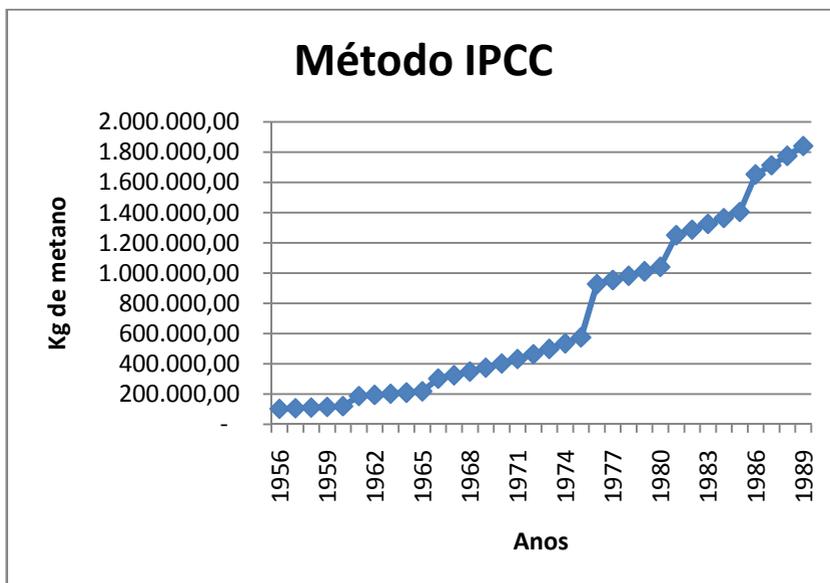
Hoje, segundo este método, a emissão anual de biogás e de metano seria respectivamente 2.759.550 m<sup>3</sup> e 1.379.775 m<sup>3</sup>.

Fazendo uma análise deste método como um todo é possível dizer que o modelo possui algumas adaptações de constantes que podem ser decisivas no cálculo da produção dos gases.

### 5.2.2 MÉTODO IPCC

O gráfico apresentado abaixo foi produto dos resultados obtidos com a utilização da fórmula de produção de metano por ano.

Os dados resultantes da aplicação deste método estão apresentados no anexo1.



**Figura 5.5 - Método IPCC**

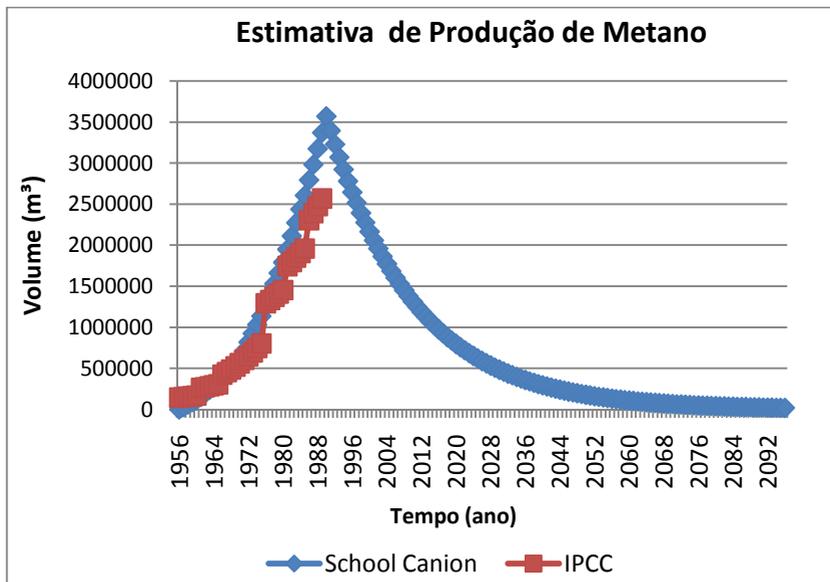
O método IPCC é caracterizado por uma aproximação grosseira uma vez que não leva em conta a cinética de geração do biogás pela degradação dos resíduos e não apresenta valores de geração de metano após o encerramento do aterro.

Este método mostrou-se inadequado para ser utilizado na obtenção de dados de produção de biogás em aterros ou lixões. Ele é mais indicado para uma estimativa mais genérica como no caso de se estimar a produção total de biogás de um país.

### 5.2.3 COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS

Com a conversão dos dados obtidos pela fórmula do método IPCC de quilogramas para metros cúbicos de metano através da densidade do metano de  $0.7167 \text{ kg/m}^3$  obteve-se a curva de geração de metano em volume.

A sobreposição da produção de metano dos dois métodos avaliados está disposta na Figura 5.6.



**Figura 5.6 - Comparação dos métodos**

Os dois modelos utilizados chegaram a resultados consideravelmente próximos mas que no entanto devem, com base nos estudos de SCHARFF AND JACOBS, ser questionados devido as condições com que cada modelo adapta seus parâmetros.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho objetivou, através de estimativas teóricas, realizar uma análise crítica dos modelos aplicados, além de realizar uma análise da evolução da emissão de biogás gerado no Antigo Lixão do Itacorubi/SC.

Os métodos apresentados são estimativas teóricas indiretamente baseadas em parâmetros obtidos de aterros sanitários europeus e norte-americanos. Uma melhor maneira de avaliar o potencial de um aterro específico seria através da realização de pesquisas e medições de campo durante um vasto período de tempo e em diversos pontos do aterramento dos resíduos. Outra opção válida seria a utilização de mais métodos teóricos que condissessem com maior precisão com a realidade do local.

No entanto, uma vez que se opta pela utilização de modelos teóricos, independente do modelo usado para determinar a produção de biogás de um aterro, deveria haver a possibilidade de se fazer uma completa análise da sensibilidade dos parâmetros para determinar quais parâmetros possuem maior influência nos valores de produção do biogás.

Quanto à caracterização dos resíduos a mesma foi feita de forma genérica apresentando dados referentes a mais antiga pesquisa de resíduos sólidos fornecidas pela COMCAP. Como os dados eram relativamente recentes (dados de 1989) os mesmos podem não ter mostrado a realidade da proporção dos resíduos do município de Florianópolis.

Devido ao fato de o lixão ter funcionado em uma época que não havia grandes preocupações com o meio ambiente ou com registros de produção de poluentes houve uma grande dificuldade no tocante a uma ideal quantificação e qualificação dos resíduos gerados no período em que o lixão esteve ativo.

Outro fator limitante foi que a maioria dos estudos de parâmetros dos modelos eram baseados em aterros sanitários e não em lixões como era o ideal para tomar como base de entrada dados.

Apesar de o modelo do School Canyon apresentar aproximações e constantes que não se enquadram exatamente como padrões para este específico lixão os dados apresentados podem ser considerados aceitáveis para uma representação de lançamento de metano e biogás.

## 7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABNT (**Associação Brasileira de Normas Técnicas**) - NBR – 10004 – Resíduos Sólidos – Classificação, 1987.

ABNT (**Associação Brasileira de Normas Técnicas**) - NBR – 8419

BANCO MUNDIAL, **Manual para a preparação de gás de aterro sanitário para projetos de energia na América Latina e Caribe**, 2003.

BRITO FILHO, L. F., **Estudo de gases em aterros de resíduos sólidos urbanos**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2005.

CENBIO – Centro Nacional de referência em Biomassa- Nota Técnica VII: **Geração de Energia a partir do Biogás gerado por Resíduos Urbanos e Rurais**, 2007.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares**, 1998

**COMCAP. Caracterização Física dos Resíduos Sólidos Urbanos de Florianópolis**, Florianópolis, 2002.

DALOTTO, Roque A. S. **Estruturação de dados com suporte à gestão de manguezais utilizando técnicas de geoprocessamento**. Tese. Florianópolis: UFSC, 2003. 219 p.

EPA. **A Landfill Gas-to-Energy Project Development Handbook**, USA. 1998.

GUZZONE, B.; MULLER, D.; STEGE, G.A. **User's Manual México Landfill Gas Model**. 2003.

H. SCHARFF AND J. JACOBS. **Comparison of Methane Emission Models and Measurements**. 2001.

IBGE– **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**, 2002.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Guidelines for National Greenhouse Inventories: Reference Manual (vol 3)**. 1996

IPT. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo S.A. **Compromisso Empresarial para Reciclagem - CEMPRE**, Publicação IPT 2622, 2 ed., 370p, São Paulo, 2000.

JUCÁ, J.F.T.; MACIEL, F.J.; MARIANO, M.O.H.; BRITO, A.R. **Relatório Técnico do Estudo de Aproveitamento Energético do Biogás no Aterro da Muribeca**. Universidade Federal de Pernambuco / Grupo de Resíduos Sólidos. 2003.

MCT – **Ministério da Ciência e Tecnologia**. Disponível em <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/55362.html>>. Acesso em: outubro de 2009.

MENDES, L. G., **Proposta de um sistema de aproveitamento energético de um aterro sanitário regional na cidade de Guaratinguetá**. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, SP, Brasil, 2005.

PANITZ, Clarice M. N. **Restauração de Manguezais da Ilha de Santa Catarina e Grande Florianópolis**, Santa Catarina, Brasil. 1998.

PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BASICO. (PROSAB), **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Coordenador Armando Borges de Castilhos Junior, vol 3, 2003.

TSCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H. & VINIL, S. **Integrated solid waste management. Engineering principles and management issues**. Irwin MacGraw-Hill. 1993.

U.S. Environmental Protection Agency ,Washington, **LANDGEM (Landfill Gas Emissions Model)**, Version 3.01 – User’s Guide, EPA – Environmental Research Group. 2005

USEPA - United States Environmental Protection Agency. **Powering microturbines with landfill gas, with landfill gas**, EPA430-02-012 DRAFT. Mar. 2002.

WORLD BANK. **Handbook for the preparation of landfill gas to energy projects in Latin America and Caribbean**. World Bank. October. 2003.

<http://www.ana.gov.br> (acessado em setembro de 2009)

<http://www.comcap.org.br/artigos/relatorio.pdf> (acessado em setembro de 2009)

<http://www.pmf.sc.gov.br/portal/pmf/cidade/perfildeflorianopolis/> (acessado em setembro de 2009)

## APÊNDICE 1

### *Estudo populacional*

Dados da população urbana de Florianópolis segundo o IBGE

Ano	População Urbana Florianópolis
<b>1950</b>	-
<b>1960</b>	-
<b>1970</b>	121028
<b>1980</b>	161795
<b>1990</b>	239996
<b>2000</b>	332185

Dados da população urbana de Florianópolis segundo o IBGE

Ano	População total Santa Catarina	Porcentagem da população que vive na capital
<b>1950</b>	1560502	4,3
<b>1960</b>	2146909	4,6
<b>1970</b>	2930411	4,9
<b>1980</b>	3687652	5,3
<b>1990</b>	4538248	5,6
<b>2000</b>	5349580	6,4

Dados calculados da população urbana de Florianópolis através de cálculos da porcentagem da população que vive na capital e taxa de urbanização.

Ano	População total Santa Catarina	Porcentagem da população que vive na capital	População total calculada Florianópolis	Taxa de Urbanização	População urbana calculada
<b>1950</b>	1560502	4,3	67102	0,6	40261
<b>1960</b>	2146909	4,6	98758	0,6	59255
<b>1970</b>	2930411	4,9	143590	0,6	86154
<b>1980</b>	3687652	5,3	195446	0,6	117267
<b>1990</b>	4538248	5,6	254142	0,6	152485
<b>2000</b>	5349580	6,4	342373	0,6	205424

População urbana adotada para Florianópolis e o crescimento urbano calculado.

Ano	População taxa de crescimento urbano	
	habitantes	%
<b>1950</b>	40261	3,94028
<b>1960</b>	59255	7,40298
<b>1970</b>	121028	2,94563
<b>1980</b>	161795	3,64949
<b>1991</b>	239996	3,68
<b>2000</b>	332185	-

Taxa de atendimento de coleta de resíduos sólidos urbanos, população atendida por esse serviço, taxa de geração de resíduos por habitante por dia e produção total de resíduos pela população por ano.

Ano	População	taxa de crescimento urbano	Taxa de atendimento	População Atendida	Taxa de geração RSD	Produção RSD
	hab	%	%	hab	kg/hab.dia	kg/ano
1950	40261	3,940	60	24157	0,780	6877384,020
1951	41847	3,940	60	25108	0,780	7148371,975
1952	43496	3,940	60	26098	0,780	7430037,605
1953	45210	3,940	60	27126	0,780	7722801,640
1954	46992	3,940	60	28195	0,780	8027101,387
1955	48843	3,940	60	29306	0,780	8343391,387
1956	50768	3,940	60	30461	0,780	8672144,087
1957	52768	3,940	60	31661	0,780	9013850,554
1958	54847	3,940	60	32908	0,780	9369021,200
1959	57008	3,940	60	34205	0,780	9738186,552
1960	59255	7,403	60	35553	0,780	10121898,04
1961	63641	7,403	60	38185	0,780	10871219,68
1962	68353	7,403	60	41012	0,780	11676013,43
1963	73413	7,403	60	44048	0,780	12540385,86
1964	78848	7,403	60	47309	0,780	13468747,56
1965	84685	7,403	60	50811	0,780	14465835,66
1966	90954	7,403	60	54572	0,780	15536737,95
1967	97687	7,403	60	58612	0,780	16686918,88
1968	104919	7,403	60	62951	0,780	17922247,42
1969	112686	7,403	70	78880	0,780	22457198,20
1970	121028	2,946	70	84720	0,780	24119699,11
1971	124593	2,946	70	87215	0,780	24830176,68
1972	128263	2,946	70	89784	0,780	25561582,30
1973	132041	2,946	70	92429	0,780	26314532,43
1974	135931	2,946	70	95152	0,780	27089661,71
1975	139935	2,946	70	97954	0,780	27887623,44

Ano	População	taxa de crescimento urbano	Taxa de atendimento	População Atendida	Taxa de geração RSD	Produção RSD
	hab	%	%	hab	kg/hab.dia	kg/ano
1976	144057	2,946	70	100840	0,780	28709090,19
1977	148300	2,946	70	103810	0,780	29554754,32
1978	152669	2,946	70	106868	0,780	30425328,61
1979	157166	2,946	70	110016	0,780	31321546,82
1980	161795	3,649	70	113257	0,780	32244164,31
1981	167700	3,649	75	125775	0,780	35808120,17
1982	173820	3,649	75	130365	0,780	37114934,26
1983	180164	3,649	75	135123	0,780	38469440,42
1984	186739	3,649	75	140054	0,780	39873379,15
1985	193554	3,649	75	145165	0,780	41328554,50
1986	200617	3,649	75	150463	0,780	42836836,35
1987	207939	3,649	75	155954	0,780	44400162,80
1988	215528	3,649	75	161646	0,780	46020542,71
1989	223393	3,649	75	167545	0,780	47700058,24
1990	231546	3,649	75	173660	0,780	49440867,53
1991	239996	3,649	75	179997	0,780	51245207,50

## APÊNDICE 2

### Resultados obtidos pelo método School Canyon

Ano	Biogás	Metano	Gás de aterro	Metano	
	m <sup>3</sup> /ano	m <sup>3</sup> /ano	Mg/ano	Mg/ano	Kg/ano
<b>1956</b>	0	0	0	0	0
<b>1957</b>	58218,96995	29109,48498	72,70522306	19,42035	19420,35
<b>1958</b>	115892,5557	57946,27785	144,7293575	38,65877	38658,77
<b>1959</b>	173137,7454	86568,87272	216,2185008	57,75428	57754,28
<b>1960</b>	230069,3834	115034,6917	287,3160733	76,74521	76745,21
<b>1961</b>	309450,9638	154725,4819	386,4496635	103,2249	103224,9
<b>1962</b>	391668,3173	195834,1587	489,1246342	130,6504	130650,4
<b>1963</b>	477079,6785	238539,8393	595,7883569	159,1415	159141,5
<b>1964</b>	566062,5689	283031,2845	706,9122895	188,8239	188823,9
<b>1965</b>	659015,578	329507,789	822,9941999	219,8306	219830,6
<b>1966</b>	756360,2579	378180,129	944,5605326	252,3023	252302,3
<b>1967</b>	858543,1433	429271,5716	1072,16893	286,3878	286387,8
<b>1968</b>	966037,9035	483018,9517	1206,410923	322,2453	322245,3
<b>1969</b>	1079347,641	539673,8204	1347,914796	360,0425	360042,5
<b>1970</b>	1199007,344	599503,6719	1497,348656	399,9579	399957,9
<b>1971</b>	1418114,231	709057,1156	1770,974505	473,0463	473046,3
<b>1972</b>	1634711,728	817355,8641	2041,466569	545,2976	545297,6
<b>1973</b>	1849163,071	924581,5353	2309,278464	616,8331	616833,1
<b>1974</b>	2061820,875	1030910,437	2574,850547	687,7702	687770,2
<b>1975</b>	2273027,862	1136513,931	2838,610815	758,2234	758223,4
<b>1976</b>	2536608,655	1268304,327	3167,776727	846,1472	846147,2
<b>1977</b>	2798364,016	1399182,008	3494,662997	933,462	933462
<b>1978</b>	3058707,864	1529353,932	3819,786535	1020,306	1020306
<b>1979</b>	3318043,498	1659021,749	4143,650993	1106,814	1106814
<b>1980</b>	3576764,402	1788382,201	4466,747761	1193,116	1193116
<b>1981</b>	3897102,364	1948551,182	4866,793365	1299,973	1299973
<b>1982</b>	4219874,167	2109937,084	5269,878407	1407,641	1407641

Ano	Biogás	Metano	Gás de aterro	Metano	
	m <sup>3</sup> /ano	m <sup>3</sup> /ano	Mg/ano	Mg/ano	Kg/ano
1983	4545620,097	2272810,048	5676,677608	1516,302	1516302
1984	4874878,138	2437439,069	6087,862818	1626,134	1626134
1985	5208184,966	2604092,483	6504,104247	1737,316	1737316
1986	5583070,55	2791535,275	6972,270208	1862,368	1862368
1987	5962624,097	2981312,048	7446,26563	1988,978	1988978
1988	6347455,553	3173727,777	7926,852231	2117,347	2117347
1989	6738175,689	3369087,845	8414,792754	2247,682	2247682
1990	7135397,17	3567698,585	8910,85231	2380,184	2380184
1991	6787399,743	3393699,872	8476,264914	2264,101	2264101
1992	6456374,352	3228187,176	8062,872596	2153,68	2153680
1993	6141493,259	3070746,629	7669,64166	2048,644	2048644
1994	5841969,098	2920984,549	7295,588822	1948,73	1948730
1995	5557052,903	2778526,452	6939,778756	1853,689	1853689
1996	5286032,235	2643016,118	6601,321753	1763,284	1763284
1997	5028229,401	2514114,7	6279,371492	1677,288	1677288
1998	4782999,759	2391499,88	5973,12293	1595,485	1595485
1999	4549730,108	2274865,054	5681,810288	1517,673	1517673
2000	4327837,153	2163918,576	5404,70513	1443,655	1443655
2001	4116766,044	2058383,022	5141,11455	1373,247	1373247
2002	3915988,995	1957994,497	4890,379435	1306,273	1306273
2003	3725003,958	1862501,979	4651,872816	1242,565	1242565
2004	3543333,371	1771666,686	4424,998301	1181,965	1181965
2005	3370522,963	1685261,482	4209,188587	1124,319	1124319
2006	3206140,619	1603070,309	4003,904038	1069,486	1069486
2007	3049775,296	1524887,648	3808,631333	1017,326	1017326
2008	2901035,999	1450518	3622,882191	967,7107	967710,7
2009	2759550,804	1379775,402	3446,192142	920,5149	920514,9
2010	2624965,923	1312482,962	3278,119368	875,6209	875620,9
2011	2496944,825	1248472,412	3118,2436	832,9164	832916,4
2012	2375167,389	1187583,694	2966,165065	792,2945	792294,5

Ano	Biogás	Metano	Gás de aterro	Metano	
	m <sup>3</sup> /ano	m <sup>3</sup> /ano	Mg/ano	Mg/ano	Kg/ano
2013	2259329,108	1129664,554	2821,503488	753,6539	753653,9
2014	2149140,327	1074570,164	2683,897139	716,8978	716897,8
2015	2044325,517	1022162,758	2553,001931	681,9342	681934,2
2016	1944622,585	972311,2923	2428,490557	648,6759	648675,9
2017	1849782,222	924891,111	2310,051675	617,0396	617039,6
2018	1759567,279	879783,6393	2197,389126	586,9462	586946,2
2019	1673752,17	836876,0849	2090,221193	558,3205	558320,5
2020	1592122,313	796061,1566	1988,279903	531,0909	531090,9
2021	1514473,592	757236,7959	1891,310348	505,1893	505189,3
2022	1440611,843	720305,9215	1799,070054	480,5509	480550,9
2023	1370352,374	685176,1872	1711,328372	457,1142	457114,2
2024	1303519,5	651759,7502	1627,865902	434,8205	434820,5
2025	1239946,104	619973,0521	1548,473945	413,614	413614
2026	1179473,219	589736,6096	1472,95398	393,4418	393441,8
2027	1121949,631	560974,8157	1401,117167	374,2534	374253,4
2028	1067231,502	533615,7511	1332,783876	356,0009	356000,9
2029	1015182,008	507591,0039	1267,783239	338,6385	338638,5
2030	965670,997	482835,4985	1205,952721	322,1229	322122,9
2031	918574,6667	459287,3334	1147,137713	306,4128	306412,8
2032	873775,2516	436887,6258	1091,191147	291,4689	291468,9
2033	831160,7297	415580,3648	1037,973126	277,2538	277253,8
2034	790624,5426	395312,2713	987,3505796	263,7319	263731,9
2035	752065,3286	376032,6643	939,1969236	250,8696	250869,6
2036	715386,6697	357693,3349	893,3917491	238,6345	238634,5
2037	680496,8502	340248,4251	849,8205194	226,9962	226996,2
2038	647308,6271	323654,3136	808,3742836	215,9255	215925,5
2039	615739,0129	307869,5064	768,9494046	205,3946	205394,6
2040	585709,0669	292854,5334	731,4472996	195,3774	195377,4
2041	557143,6986	278571,8493	695,7741938	185,8488	185848,8
2042	529971,4798	264985,7399	661,840886	176,7848	176784,8

Año	Biogás	Metano	Gás de aterro	Metano	
	m <sup>3</sup> /año	m <sup>3</sup> /año	Mg/año	Mg/año	Kg/año
2043	504124,4657	252062,2329	629,5625251	168,1629	168162,9
2044	479538,0254	239769,0127	598,8583984	159,9615	159961,5
2045	456150,6799	228075,34	569,6517297	152,1601	152160,1
2046	433903,9487	216951,9744	541,869487	144,7392	144739,2
2047	412742,2035	206371,1017	515,4422003	137,6801	137680,1
2048	392612,5287	196306,2643	490,3037875	130,9654	130965,4
2049	373464,5897	186732,2948	466,3913896	124,5781	124578,1
2050	355250,5067	177625,2534	443,6452132	118,5024	118502,4
2051	337924,7351	168962,3675	422,0083808	112,723	112723
2052	321443,9513	160721,9756	401,4267892	107,2254	107225,4
2053	305766,9448	152883,4724	381,8489737	101,996	101996
2054	290854,5149	145427,2574	363,2259795	97,02156	97021,56
2055	276669,3728	138334,6864	345,5112394	92,28976	92289,76
2056	263176,0483	131588,0241	328,6604574	87,78874	87788,74
2057	250340,801	125170,4005	312,6314978	83,50723	83507,23
2058	238131,536	119065,768	297,3842797	79,43454	79434,54
2059	226517,724	113258,862	282,8806772	75,56047	75560,47
2060	215470,3242	107735,1621	269,0844238	71,87534	71875,34
2061	204961,7125	102480,8562	255,9610216	68,36994	68369,94
2062	194965,6118	97482,80591	243,4776553	65,0355	65035,5
2063	185457,0267	92728,51336	231,6031099	61,86368	61863,68
2064	176412,1808	88206,0904	220,3076929	58,84655	58846,55
2065	167808,4572	83904,22861	209,56316	55,97657	55976,57
2066	159624,3422	79812,17109	199,3426441	53,24656	53246,56
2067	151839,3712	75919,68558	189,6205886	50,6497	50649,7
2068	144434,0776	72217,03882	180,3726834	48,17948	48179,48
2069	137389,9446	68694,97228	171,5758038	45,82974	45829,74
2070	130689,3579	65344,67894	163,2079531	43,5946	43594,6
2071	124315,5627	62157,78135	155,2482073	41,46846	41468,46
2072	118252,6212	59126,31058	147,6766629	39,44602	39446,02

Año	Biogás	Metano	Gás de aterro	Metano	
	m <sup>3</sup> /año	m <sup>3</sup> /año	Mg/año	Mg/año	Kg/año
2073	112485,3728	56242,68638	140,474387	37,52222	37522,22
2074	106999,3964	53499,6982	133,6233703	35,69224	35692,24
2075	101780,9743	50890,48713	127,1064817	33,95151	33951,51
2076	96817,05757	48408,52879	120,9074254	32,29567	32295,67
2077	92095,23396	46047,61698	115,0107007	30,72059	30720,59
2078	87603,6964	43801,8482	109,4015626	29,22233	29222,33
2079	83331,21371	41665,60685	104,0659855	27,79714	27797,14
2080	79267,10246	39633,55123	98,99062746	26,44146	26441,46
2081	75401,20025	37700,60013	94,16279759	25,15189	25151,89
2082	71723,84032	35861,92016	89,57042376	23,92522	23925,22
2083	68225,82735	34112,91368	85,20202265	22,75838	22758,38
2084	64898,41449	32449,20724	81,04667097	21,64844	21648,44
2085	61733,28147	30866,64073	77,09397818	20,59263	20592,63
2086	58722,5138	29361,2569	73,3340605	19,58832	19588,32
2087	55858,58301	27929,2915	69,75751616	18,63298	18632,98
2088	53134,32777	26567,16388	66,35540196	17,72424	17724,24
2089	50542,93602	25271,46801	63,11921081	16,85982	16859,82
2090	48077,92795	24038,96397	60,04085058	16,03756	16037,56
2091	45733,13973	22866,56987	57,11262374	15,2554	15255,4
2092	43502,70819	21751,35409	54,32720821	14,51138	14511,38
2093	41381,05607	20690,52804	51,677639	13,80365	13803,65
2094	39362,87815	19681,43908	49,15729081	13,13044	13130,44
2095	37443,12793	18721,56397	46,75986145	12,49006	12490,06
2096	35617,00504	17808,50252	44,47935609	11,88091	11880,91

## Resultados obtidos pelo método IPCC

Ano	Metano	Metano
	kg/ano	m <sup>3</sup> /ano
1956	102,806.87	143444.78
1957	106856.7383	149095.49
1958	111067.4765	154970.67
1959	115444.1929	161077.43
1960	119991.9944	167422.90
1961	187081.6428	261032.01
1962	194451.073	271314.46
1963	202115.4337	282008.42
1964	210078.555	293119.23
1965	218355.7581	304668.28
1966	302611.3783	422228.80
1967	325015.8762	453489.43
1968	349075.0486	487058.81
1969	374916.5711	523115.07
1970	402673.2262	561843.49
1971	432482.9034	603436.45
1972	464498.8134	648107.73
1973	498889.4878	696092.49
1974	535818.3513	747618.74
1975	575489.6847	802971.51
1976	927138.6715	1293621.70
1977	954448.4623	1331726.61
1978	982562.6088	1370953.83
1979	1011504.093	1411335.42
1980	1041295.895	1452903.44
1981	1250630.102	1744984.10
1982	1287469.593	1796385.65
1983	1325399.432	1849308.54
1984	1364437.495	1903777.72

Ano	Metano	Metano
	kg/ano	m <sup>3</sup> /ano
<b>1985</b>	1404628.468	1959855.54
<b>1986</b>	1652580.685	2305819.29
<b>1987</b>	1712884.38	2389960.07
<b>1988</b>	1775404.522	2477193.42
<b>1989</b>	1840192.181	2567590.60