Biogás e a Valoração Energética dos Resíduos Sólidos

Francisco J. P. de Oliveira

FRAL CONSULTORIA

Ecos SARDENHA 2012

TÓPICOS

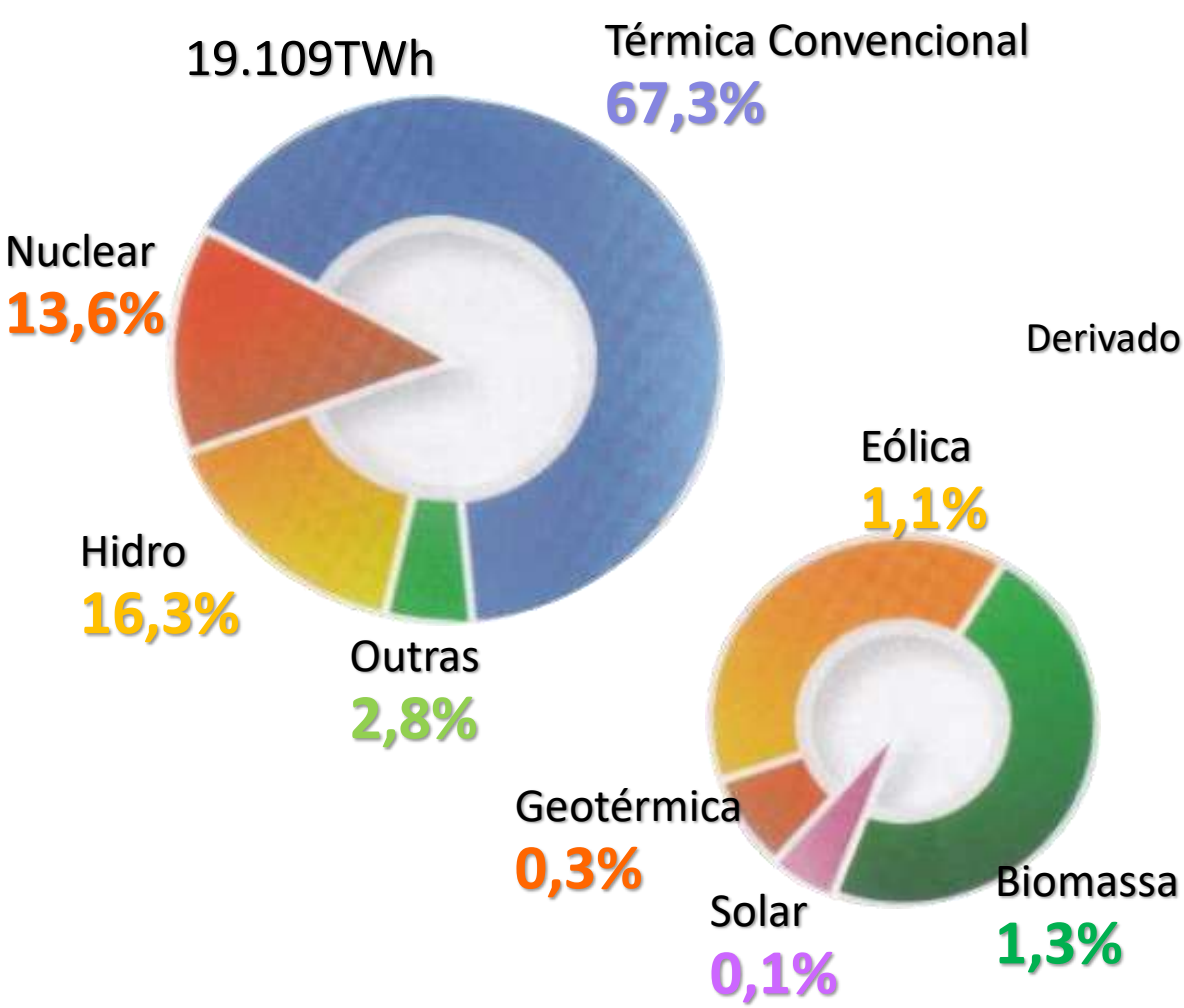
- Matriz Energética - Mundial/Brasil
  - Tarifas

- Balanço de CO2 no estado de São Paulo.
- Biogás - Produção
  - Fases de Geração
  - Composição

- Aproveitamento Energético do Biogás.
- Potencial de Geração Energia Elétrica a partir do Biogás no Brasil.
- Potencial de Geração de Biomassa (Sucroalcooleiro) na Região Sudeste do Brasil.
- Aterro Sanitário (Biogás) x Incineração.
- Discussão dos Principais Fatores que afetam as Avaliações de Produção de Biogás.
- Apresentação de Taxa de Geração de Biogás e Respectivos Decaimentos e sua influencia na Viabilidade Econômica dos Projetos.

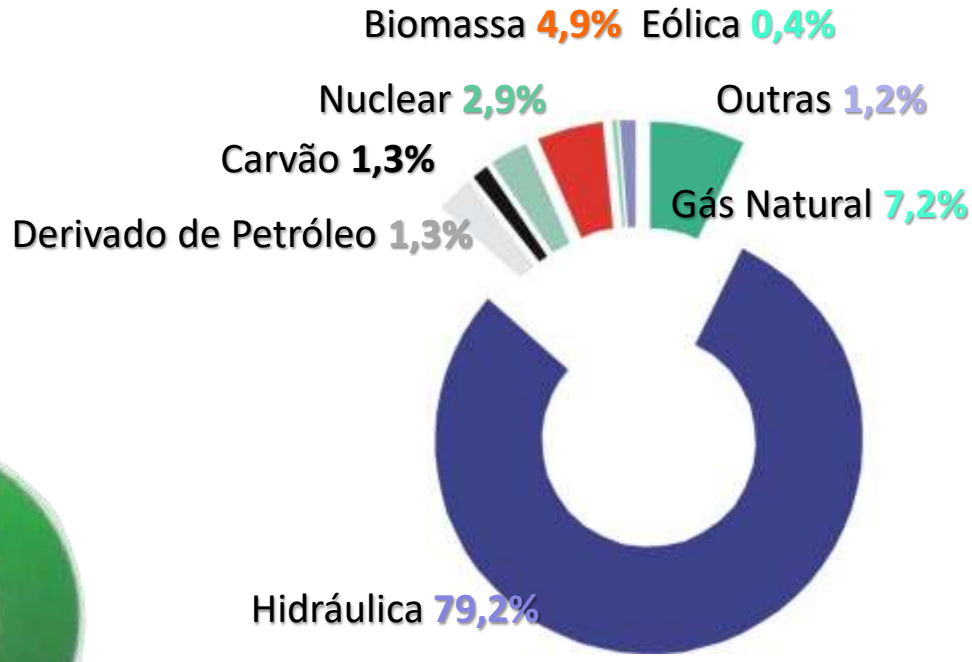
Geração de energia elétrica no mundo (%)

2008



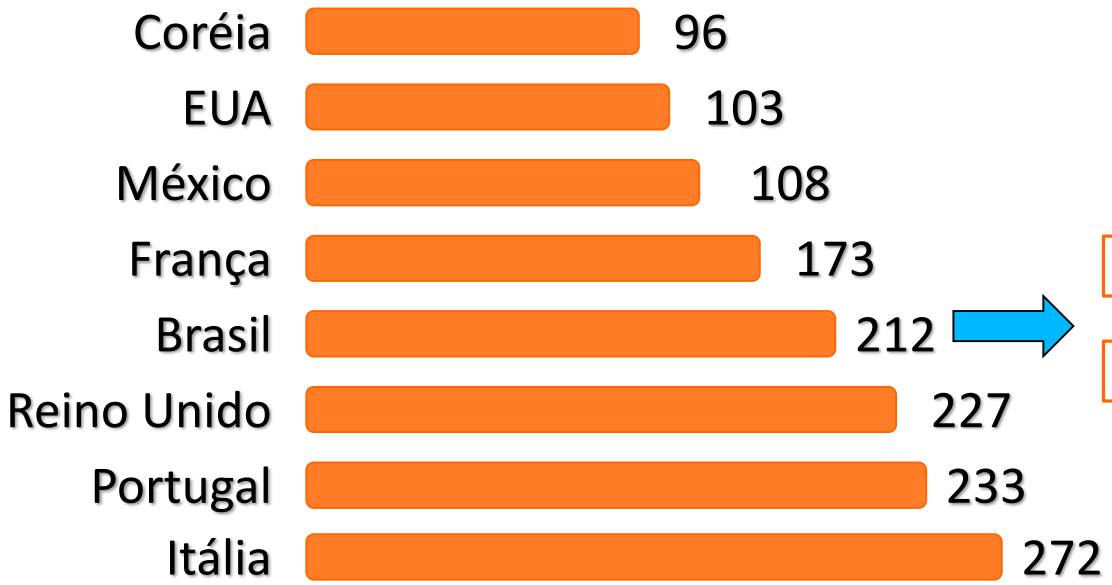
Fonte: U.S. Energy Information Administration (EIA) 2011.

Geração de energia no Brasil (%)



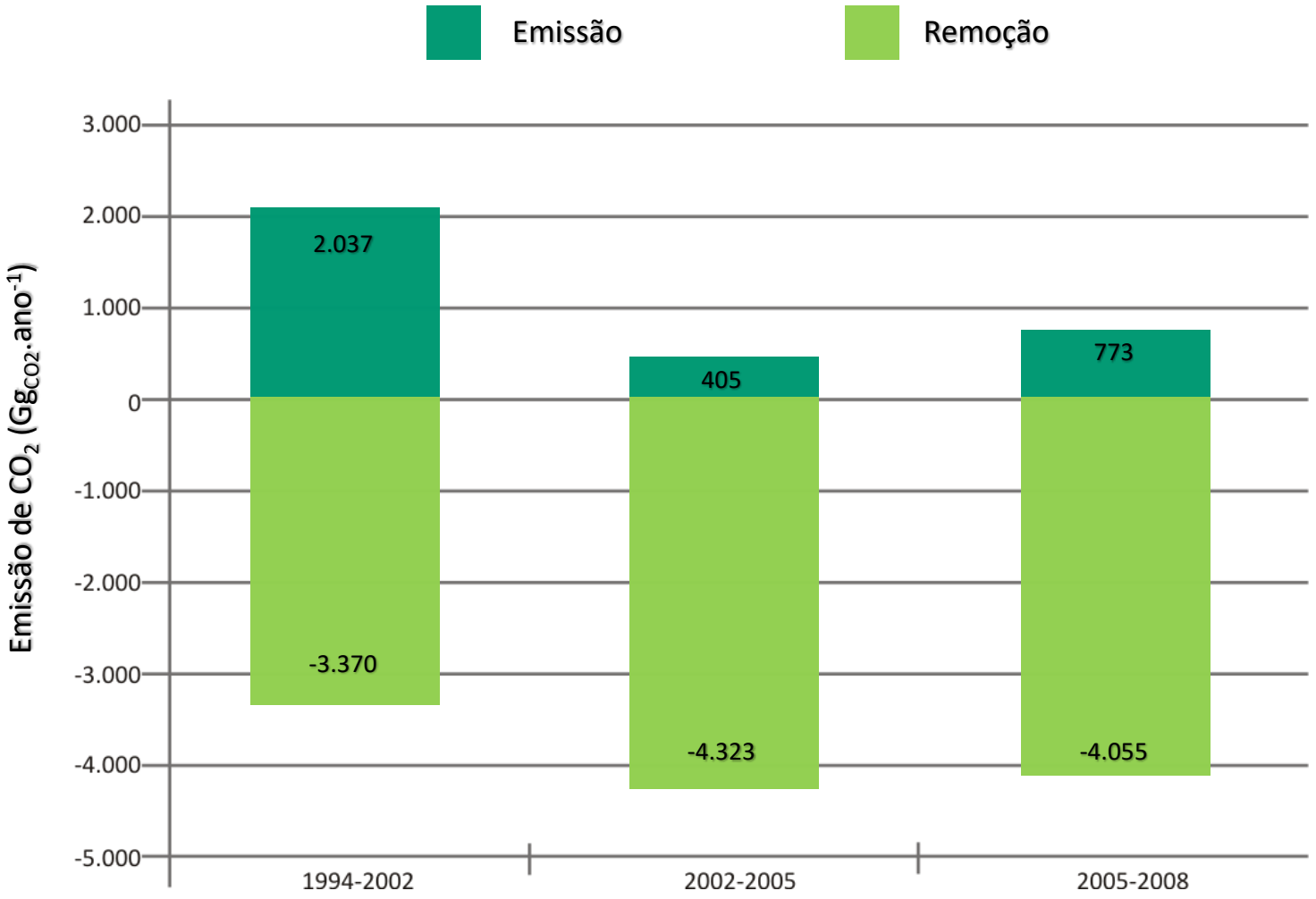
Fonte: Balanço Energético Nacional (BEM) 2011

Tarifas de energia elétrica residencial em 2008 no mundo (U$)



Fonte:Novo Ambiente (2011)

Gráfico 1. Balanço Média Anual de CO2 nos períodos 1994 a 2002, 2002 a 2005 e 2005 a 2008 no estado de São Paulo (Gg)

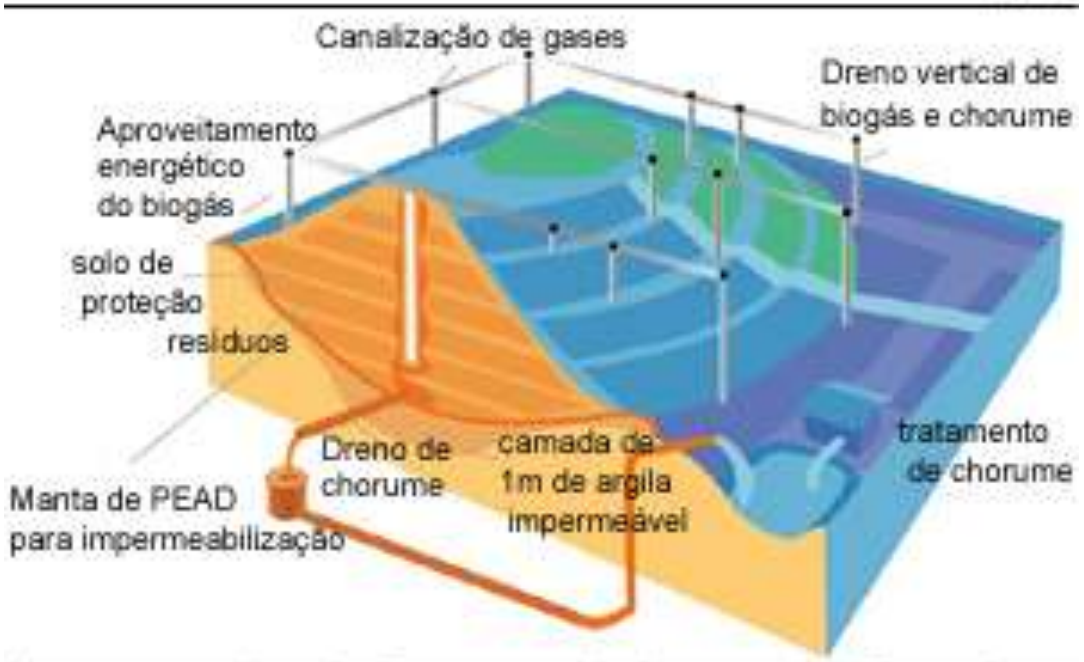


Fonte: Comunicação Estadual (2011)

BIOGÁS

O biogás, resultado de processos físicos, químicos e microbiológicos no interior dos resíduos.
A qualidade depende do sistema microbiológico que conduze o processo de geração do gás, dada a natureza orgânica da maior parte dos resíduos.

Divulgação



O esquema acima detalha como é o funcionamento do Centro de Tratamento de Resíduos feito de acordo com normas ambientais

Fases da degradação da matéria orgânica

A geração do biogás: 5 fases (QIAN *et al.* – 2002)

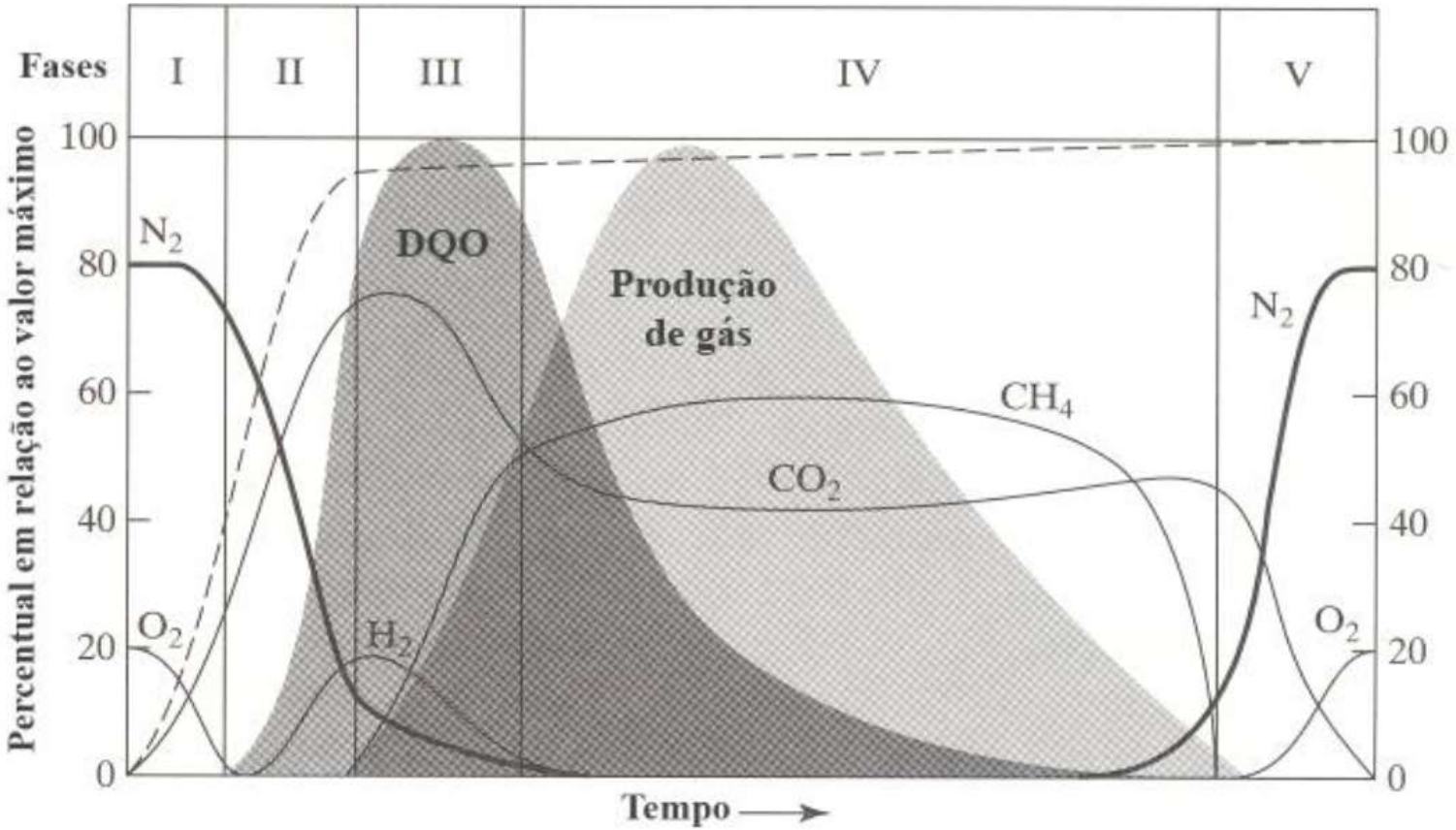


Figura 01: Geração de gases aterro de RSU com o tempo (Modificado de UKDOE, 1993, apud QIAN *et al.*, 2002).

Tabela 01: Resumo das fases da geração de gás em RSU (Modificado de EMCON, 1998, apud QIAN *et al*., 2002).

Fase	Nome	Atividade primária
I	Aeróbia	Diminuição de O_2 no gás do aterro (várias horas a 1 semana)
II	Aeróbia/Geração de Ácidos	Formação de ácidos graxos livres, estando na sua máxima produção e omeçãondo a produção de CH_4 (1 a 6 meses)
III	Transição para anaeróbia	As concentrações de CH_4 e CO_2 se estabilizam e não tem presença de N_2 no aterro (3 anos e 3 meses)
IV	Anaeróbia	As concentrações de CH_4 e CO_2 começam a reduzir e um pouco N_2 (ar) retorna ao sistema (8 a 40 anos)
V	Transição para estabilização	O gás é primordialmente ar e toda a decomposição anaeróbia é completada (1 a mais de 40 aonos)

Composição de Biogás em aterros

O gás de aterro é composto por vários gases, metano e o dióxido de carbono e outros em quantidades em traços.

Tabela 02 : Composição típica de gás de aterros de RSU

COMPOSIÇÃO	PORCENTAGEM (BASE SECA)
METANO	45-60
DIÓXIDO DE CARBONO	40-60
NITROGÊNIO	2-5
OXIGÊNIO	0,1-1,0
ENXOFRE, MERCAPTANOS, ETC	0-1,0
AMÔNIA	0,1-1,0
HIDROGÊNIO	0-0,2
MONÓXIDO DE CARBONO	0-0,2
GASES EM MENOR CONCENTRAÇÃO	0,01-0,6

Fonte: TCHOBANOGLOUS ET AL (1994)

Aproveitamento energético nos Aterros Sanitários

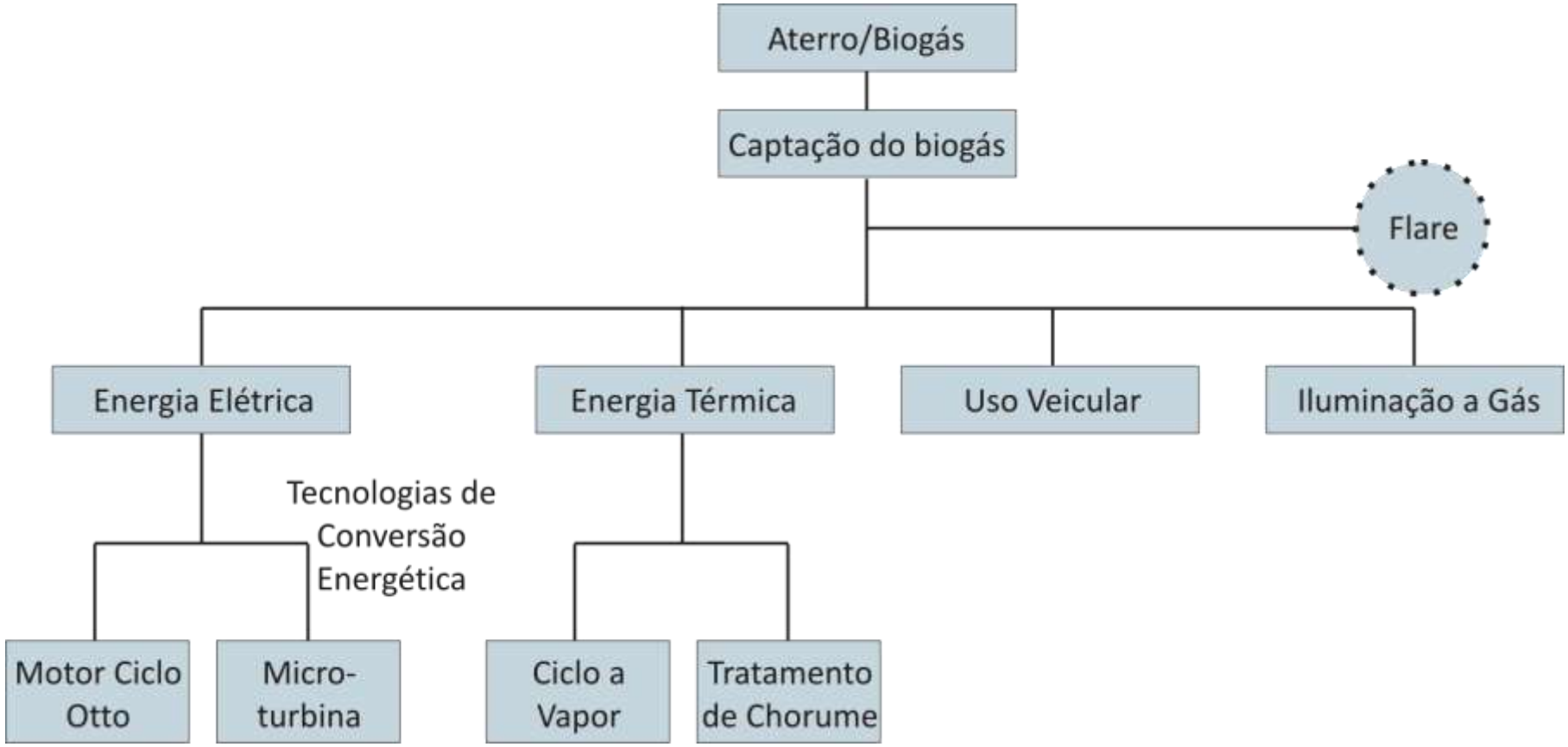
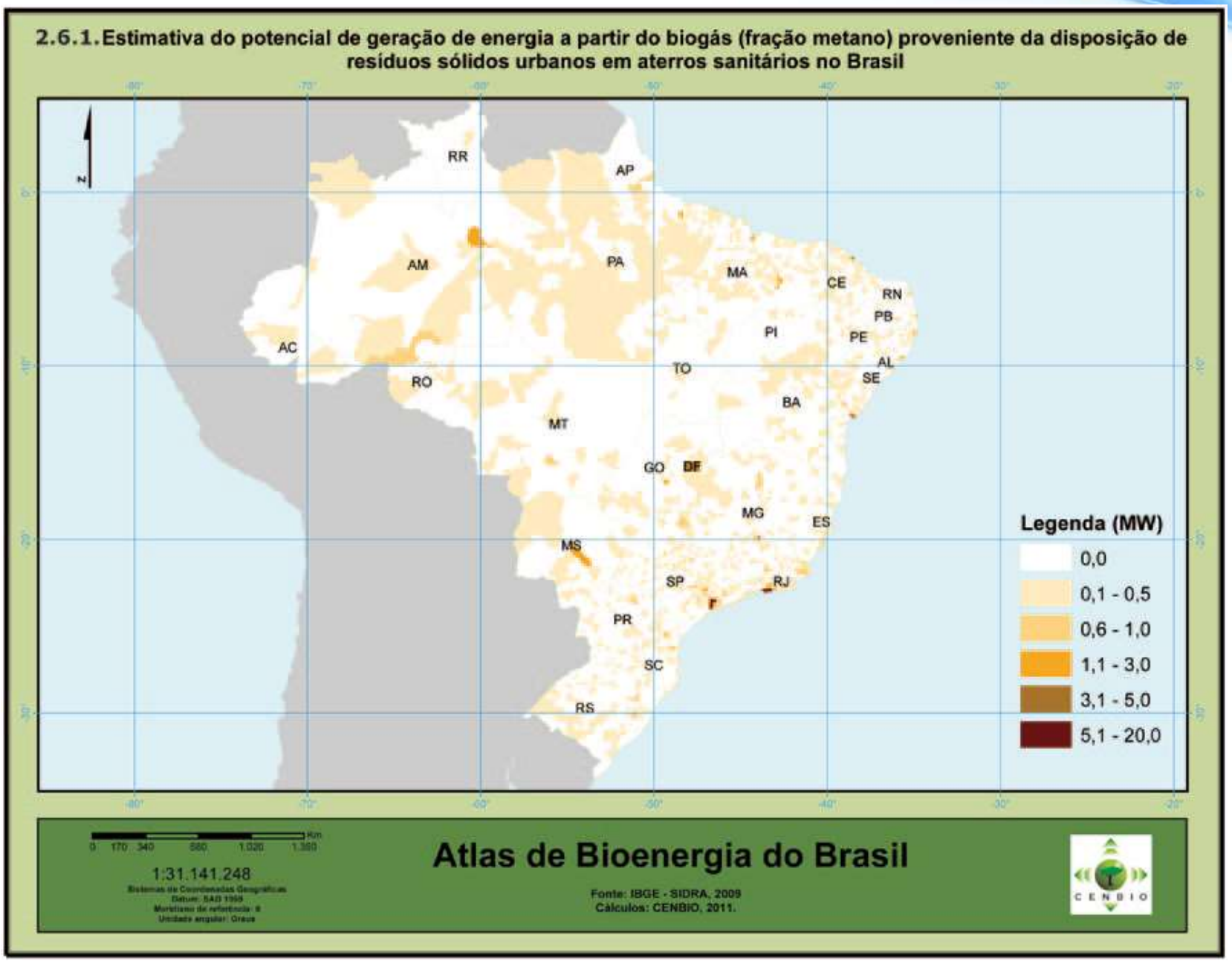
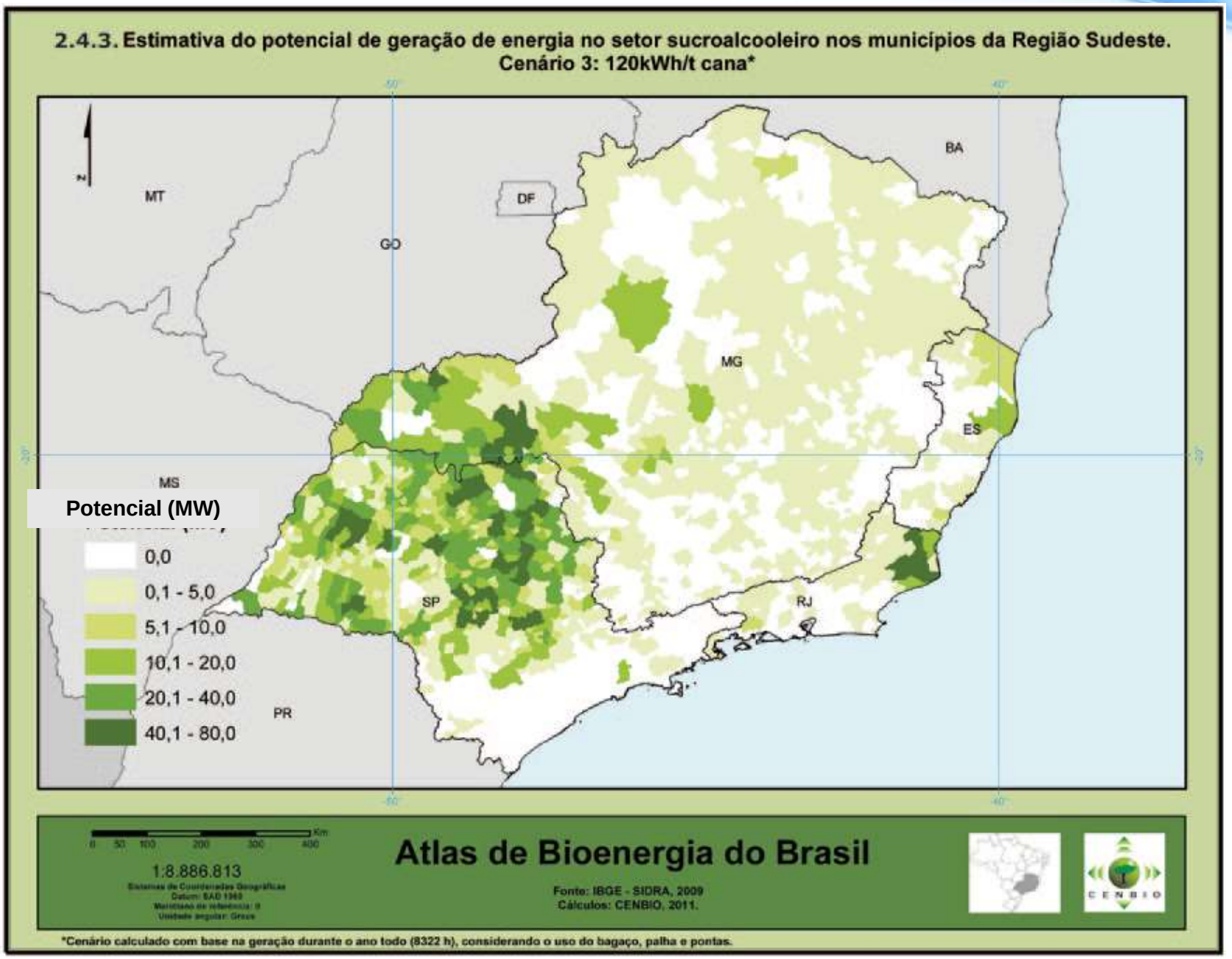


Figura 2:Diagrama de aproveitamento alternativo de Biogás.

Fonte: Instituto Agir Sustentável *apud ICLEI, 2009*.

2.6.1. Estimativa do potencial de geração de energia a partir do biogás (fração metano) proveniente da disposição de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários no Brasil




2.4.3. Estimativa do potencial de geração de energia no setor sucroalcooleiro nos municípios da Região Sudeste.
Cenário 3: 120kWh/t cana*
MT
GO
DF
BA
MG
ES
MS
SP
RJ
PR
Potencial (MW)
0,0
0,1 - 5,0
5,1 - 10,0
10,1 - 20,0
20,1 - 40,0
40,1 - 80,0
1:8.886.813
Atlas de Bioenergia do Brasil
Fonte: IBGE - SIDRA, 2009
Cálculos: CENBIO, 2011.
CENBIO
*Cenário calculado com base na geração durante o ano todo (8322 h), considerando o uso do bagaço, palha e pontas.

Valoração Energética e Investimentos

QUEIMA BIOGÁS + GERAÇÃO DE ENERGIA								
Geração de Resíduos (t/ano)	Investimento Sistema de Queima de Gás (USD) (10^3)	Investimento Gerador de Energia (USD) (10^3)	Capacidade Instalada (MW)	Geração de Energia (MWh/ano)	Preço Energia (USD/MWh)	Receita Venda de Energia (USD/ano) (10^3)	Receita Venda de Créditos (10USD/CER.ano) (10^3)	Payback (a) (k)
100.000	1.380	1.492	0,5	4.380	40	175	252	7
					120	526		4
500.000	4.258	4.604	2,5	21.900	40	876	776	5
					120	2.628		3
1.000.000	6.916	7.479	4,5	39.420	40	1.577	1.260	5
					120	4.730		2

INCINERAÇÃO + GERAÇÃO DE ENERGIA						ATERRO DE CINZAS		
Geração de Resíduos (t/ano)	Investimento Incinerador (USD) (10^3)	Taxa de Conversão de Resíduo para Energia (MWh/t)	Geração de Energia (MWh/ano)	Preço Energia (USD/MWh)	Receita Venda de Energia (USD/ano) (10^3)	Geração de Cinzas (t/ano)	Custo Aterro (USD) (000)	Payback (a) (k)
100.000	37.923	0,3	30.000	40	1.200	15.000	854	32
				120	3.600			11
		0,7	70.000	40	2.800			14
				120	8.400			5
500.000	117.000	0,3	150.000	40	6.000	75.000	4.272	20
				120	18.000			7
		0,7	350.000	40	14.000			9
				120	42.000			3
1.000.000	190.067	0,3	300.000	40	12.000	150.000	8.544	17
				120	36.000			6
		0,7	700.000	40	28.000			7
				120	84.000			2

(k) TIR = 15%, Tax. Juros 5% a.a.

Comparativo das vantagens entre Aterros Sanitários e a Incineração

Aterros Sanitários

- Dispõem o lixo de maneira adequada ambientalmente;
- Menor geração de energia;
- O tempo de aproveitamento do biogás depende da vida útil do aterro, que é em media de 25 anos;
- Necessária grandes áreas para a implantação;
- Precisa de um sistema de tratamento do "chorume";
- Depois de esgotado o aproveitamento dos gases precisa de manutenção por pelo menos 30 anos;
- Baixos custos de instalação;
- Custo operacional baixo.

Usina de Incineração

- Reduz cerca de 95 - 98% do volume original dos RSU dependendo da composição;
- Gera significativa quantidade de energia;
- Necessária a triagem de resíduos devido a que não pode ser inserido diretamente no incinerador;
- A usina requer menores áreas para sua instalação;
- Requer sofisticados sistemas de filtragem sobretudo em função de poluentes tais como NOx, CO, SOx, material particulado, dioxinas e furanos;
- Elimina emissões de CH_4;
- Elevados custos de instalação;
- Custo operacional alto;
- Baixíssimo custo de transmissão;
- Viabilidades associadas:
  - Redução nos custos de investimento e operação;
  - Instalação de Usinas próximas a grandes centros consumistas;
  - Venda de energia para grandes consumidores.

Conclusões

1. Não há riscos para geração de CER´s para aterros com capacidade acima de 500.000 t/ano;
2. Exploração energética do Biogás requer determinados estudos de viabilidade, sobretudo quanto a longevidade de vazão em função das dimensões do aterro e sistemas de captação sobretudo em decorrência do rápido decaimento de produção.

Discussão sobre os Fatores que Influem nas Avaliações do Parâmetro L_0 pela Metodologia do IPCC, frente a outras Metodologias USEPA/BM

Metodologia cinética de primeira ordem do IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – 1996)

Equação 01:

$$Q_{T,x} = k \times Rx \times L_0 \times e^{-k(T-x)} \qquad (01)$$

Onde:

- ✓QT-x: quantidade de CH_4 gerado no ano atual (m^3/ano)
- ✓k: constante da geração de CH_4 (1/ano)
- ✓Rx: quantidade de resíduos depositada no ano x (t)
- ✓Lo: potencial da geração de CH_4 por tonelada de lixo (m^3/t)
- ✓T: ano atual
- ✓x: ano de depósito dos resíduos

Potencial de geração de metano do lixo (Lo):

• Varia de 125m^3 de ton de CH_4/ton de resíduo a 310m^3 de ton de CH_4/ton de resíduo.

Equação 02:

$$Lo = FCM \times COD \times CODf \times F \times (16/12) \qquad (02)$$

Sendo:

- ✓FCM: fator de correção de metano;
- ✓COD: carbono orgânico degradável (t de C/ t lixo);
- ✓CODf: fração de COD dissociada;
- ✓F: fração em volume de metano no biogás;
- ✓(16/12): fator de conversão de carbono em metano (t de CH_4/ t de C).

Fator de Correção para o Metano (FCM):

Tipo de Local	FCM
Adequado	1,0
Inadequado – profundo (> 5 m de lixo)	0,8
Inadequado – raso (< 5 m de lixo)	0,4

Carbono Orgânico Degradável (COD):

Equação 03:

$$COD = 0{,}4\,A + 0{,}17\,B + 0{,}15\,C + 0{,}30\,D \qquad (03)$$

(Amostragem pontual – sob influência da heterogeneidade do lixo)

Fração dos RSU que corresponde a:

- ✓A: Papel e têxteis.
- ✓B: Jardins e parques e outros resíduos orgânicos putrescíveis (excluídos os alimentos).
- ✓C: Restos de alimentos.
- ✓D: Madeira e palha.

Caso não sejam conhecidas as frações dos resíduos o IPCC recomenda um valor de 12% para o COD.

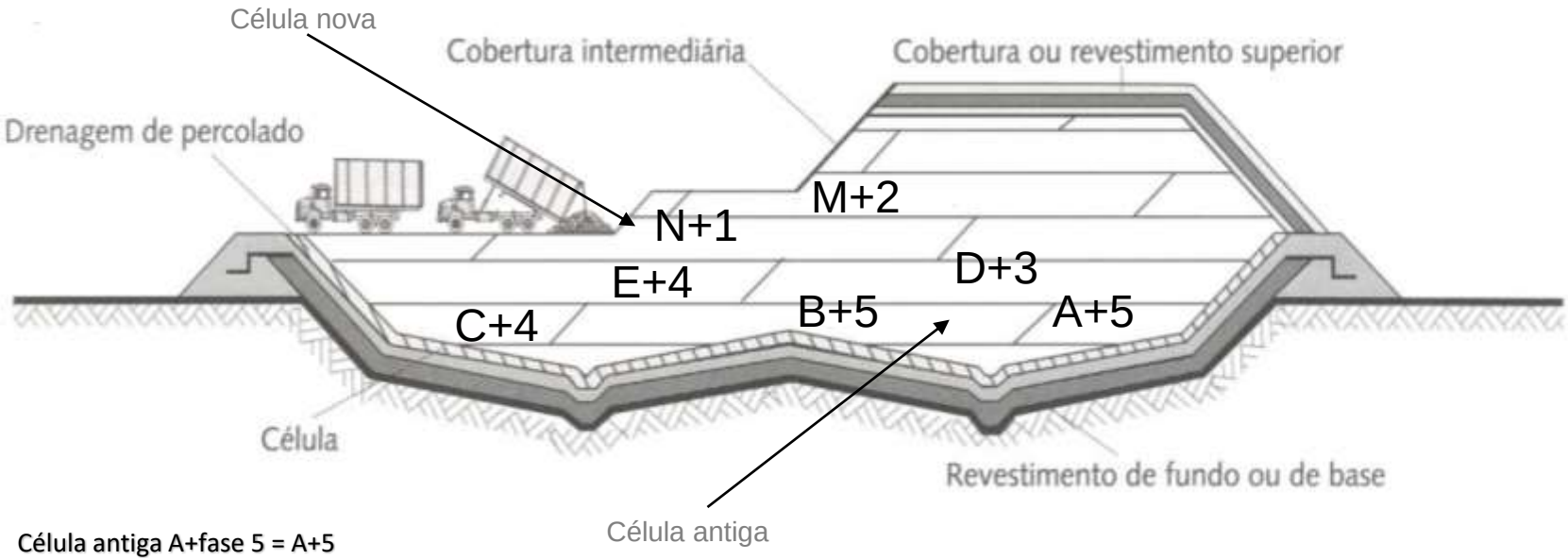
Valores recomendados para o COD:

Componente	Porcentagem de COD em Massa
A. Papel, papelão e tecidos	40
B. Resíduos de parques e jardins	17
C. Resto de alimentos	15
D. Madeira	30

Fração do Carbono Orgânico Degradável Assimilado (COD_F):

- O CODF corresponde à fração do carbono orgânico degradável que realmente se degrada.
- O CODF não se decompõe totalmente e parte permanece no aterro inclusive durante longos períodos de tempo.
- Na ausência de dados o IPCC propõe um valor de **77%** para o COD_F.

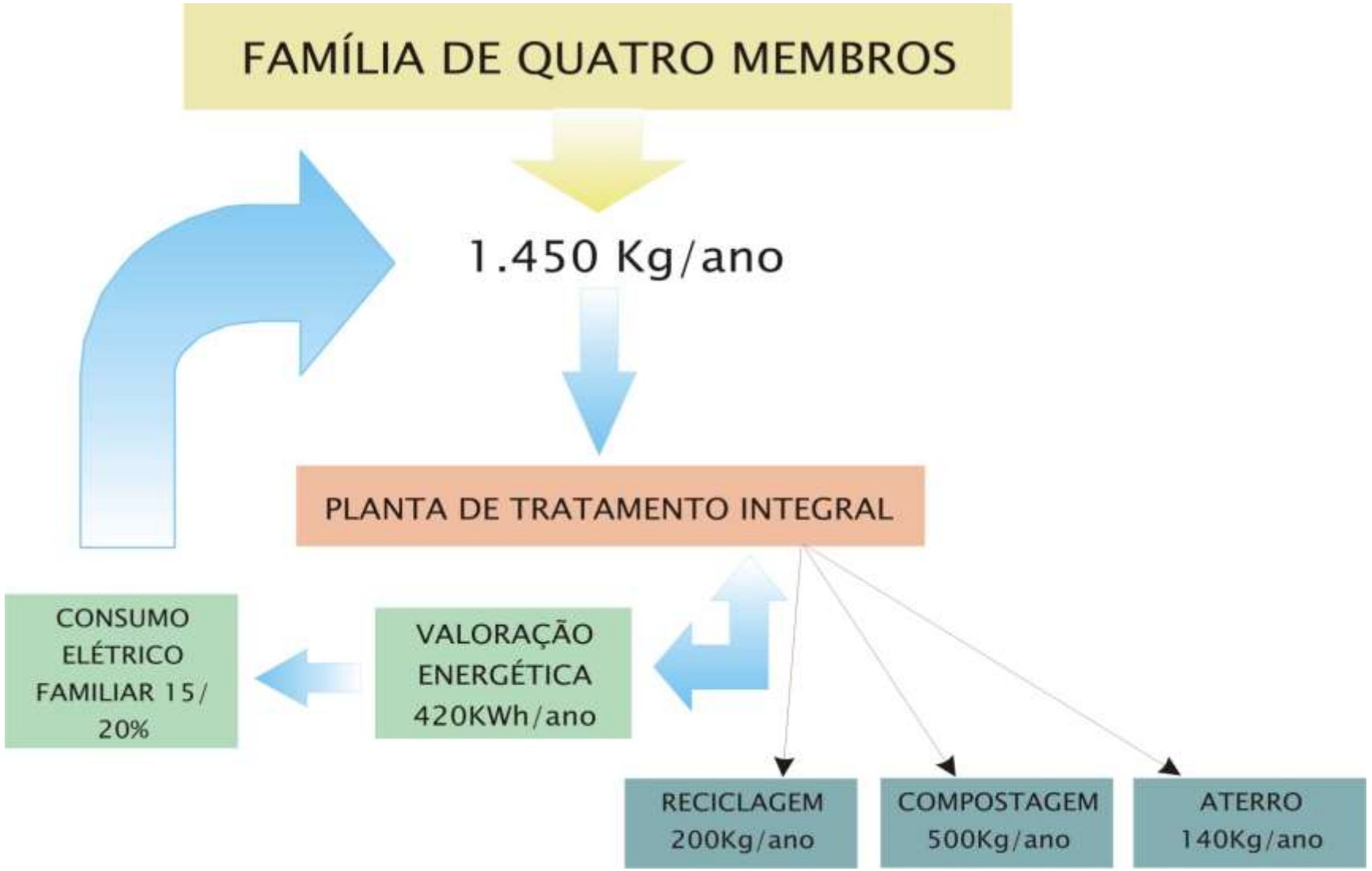
Porém, conforme demonstrado a seguir, os valores de COD variam de 13,1% a 16%, de acordo com os tipos e idade dos resíduos aterrados além da sequência do aterramento.



Célula antiga A+fase 5 = A+5
Célula antiga B+fase 5 = B+5....
Célula nova N+fase 1 = N+1.....

Configuração da disposição de células de RSU

Ciclo do Lixo



Fatores que influenciam sensivelmente o potencial de geração de gás L_0:

Idade do Lixo

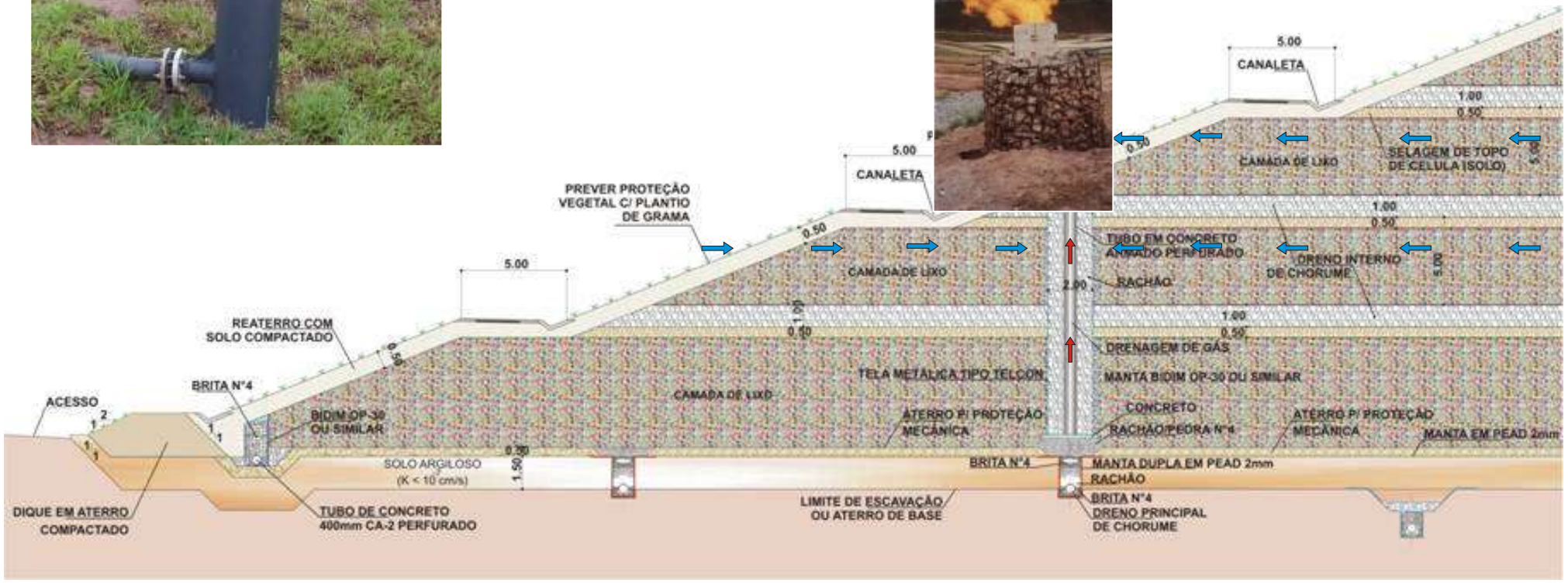
- Início da geração de metano → terceira fase
- Intensificada → quarta fase.
- A duração de cada fase depende das condições próprias de cada aterro.
- Os resíduos são depositados ao longo do tempo, os processos de decomposição os afetam de forma diferente, conforme a fase em que se encontram.
- Resíduos novos possuem maior potencial de geração de metano em condições de umidade adequada.

Operação

- A operação de um aterro de resíduos é um processo dinâmico
- Novas quantidades de resíduos são depositadas diariamente
- Locais com depósitos mais antigos, podem ser escavados para melhoramento do sistemas de captação ou para implantação de drenos entre camadas, alterando desta forma os processos desenvolvidos na massa de resíduos.

Sistema de Disposição Final de Resíduos Domiciliares

- Operação do aterro x Operação do Sistema de gás e Geração.



Cálculo do Potencial de geração de metano (L0) do Aterro São João e de Bandeirantes a partir da Análise gravimétrica dos resíduos coletados.

Aterro Sanitário	São João (media %)	Bandeirantes (media %)
PESO TOTAL DA AMOSTRA	361,3	420,63
MATÉRIA ORGÂNICA	53,2	60,62
PAPEL, PAPELÃO E JORNAL	16,4	12,32
EMBALAGEM LONGA VIDA	1,1	1,01
EMBALAGEM PET	0,4	0,60
ISOPOR	0,2	0,38
PLÁSTICO MOLE	10,5	5,40
PLÁSTICO DURO	6,3	6,12
METAIS FERROSOS	0,8	1,09
PILHAS E BATERIAS	0,2	0,01
VIDROS	1,1	1,70
TERRA E PEDRA	2,7	3,21
MADEIRA	0,6	0,66
TRAPOS E PANOS	1,9	3,14
DIVERSOS	1,9	2,12
ALUMÍNIO	0,4	0,36
BORRACHA	0,0	0,00
ESPUMA	0,0	0,00
SUB-TOTAL	97,9	98,78
PERDAS NO PROPROCESSO DE TRIAGEM	2,1	1,22

Aterro São João:

Tipos de resíduos:
A=0,18
B=0,03
C=0,53
D=0,01 ***COD=0,160***

Cálculo de L0:
FMC=1
COD=0,16
CODF=0,77
F=0,4
γ = 0,000717 t/m³

L_0 = 91,44 m³ CH4/t RSU

Aterro Bandeirantes:

Tipos de resíduos:
A=0,15
B=0,03
C=0,61
D=0,01 ***COD=0,160***

Cálculo de L0:
FMC=1
COD=0,16
CODF=0,77
F=0,4
γ = 0,000717 t/m³

L_0 = 91,77 m³ CH4/t RSU

Comparativo dos valores do parâmetro L_0 com as diferentes Metodologias

A continuação mostra-se os valores do parâmetro L_0 utilizado pelas Metodologias USEPA, Banco Mundial e o IPCC para o calculo das emissões de metano para aterros sanitários.

PARÂMETROS	USEPA	BANCO MUNDIAL	IPCC
L0 (M3CH4/tRSD)	**100**	**170**	**91,77***

*** Valor calculado**

- Valores utilizados para o resíduo tipo C (**restos de alimentos**) Tabela 9.

Tabela 9. Decréscimo do valor do Resíduo Tipo C

Resíduo tipo C	COD	L_0
0.61 (inicial)	0.160	114.71
0.56	0.153	109.75
0.51	0.146	104.38
0.46	0.138	99.01
0.41	0.131	93.64

- ✓ O valor inicial é conservado por ser considerado uma célula nova;
- ✓ Valores vão diminuindo logo do valor inicial devido a idade do resíduo de ~-0,05; -0,10; -0,15 e -0,2 de modo a representar as células novas para mais antigas.

Na Figura 5 pode ser observado as diferenças de L_0.

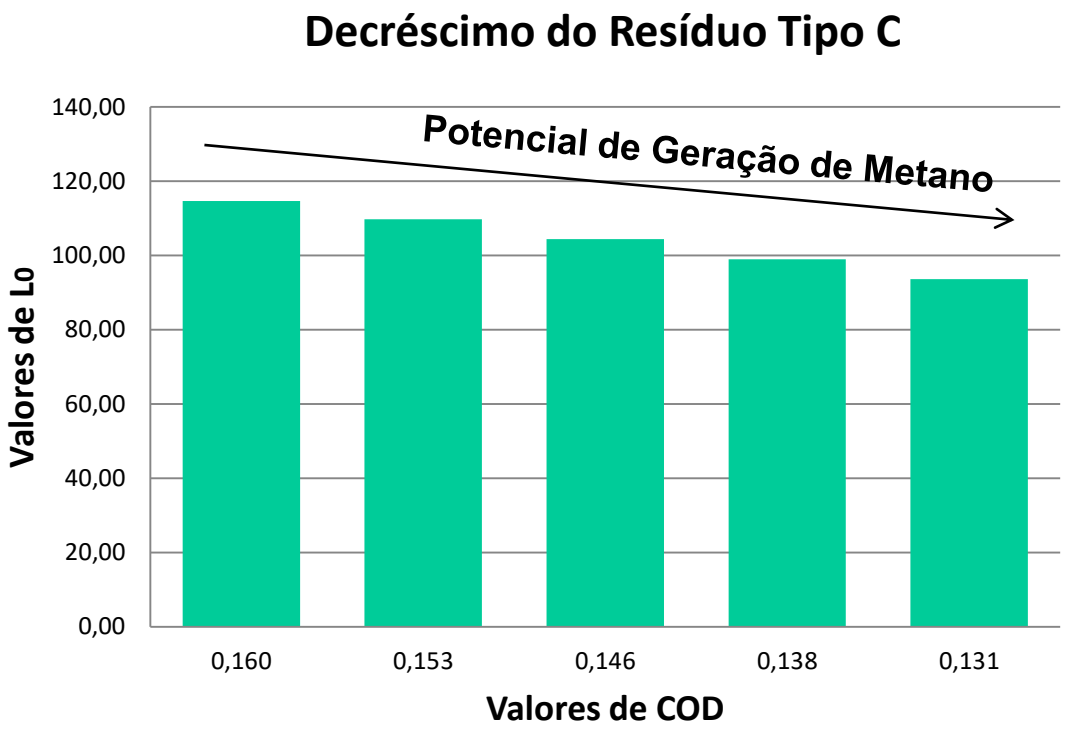


Figura 5: Variações de L_0

- ✓ A disposição dos resíduos em células em distintos tempos e espaços próximas entre elas, os resíduos contidos sofrem diferentes fases de degradação,
- ✓ L_0 tem a tendência de variar seus valores.

Comparativo de resultados de emissão de CH_4 para diferentes metodologias

Exemplos:

A) "Análise de Modelos de Geração de Gases em aterros Sanitários: Estudo de Caso" (Borba, 2006).

No gráfico foram considerados:

1. Parâmetros específicos: k= 0,1 ano -1 e L_0= 164 m^3 CH_4/t aplicada para todas as metodologias e;
2. Parâmetros recomendados: k e L_0 sugeridos pelas mesmas metodologias

Estimativa foi aplicada para os anos 2003 a 2005.

Diferença de geração de CH_4 entre as metodologias aplicadas com os parâmetros recomendados de k e L_0.

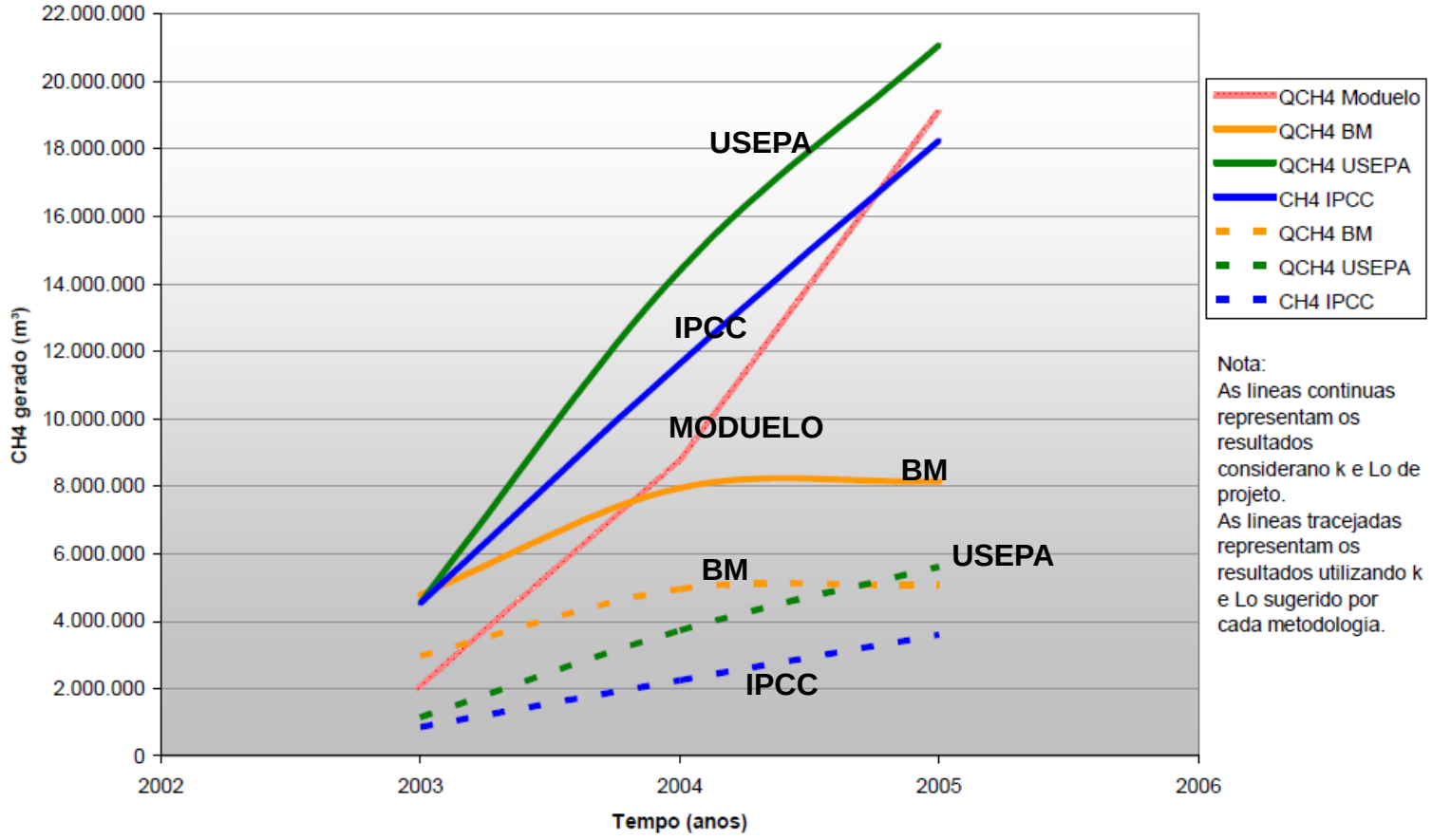


Figura 6: Geração de CH_4 Utilizando as metodologias BM, USEPA, Moduelo e IPCC. (Borba, 2006).

B) Felipe Jucá “Evaluation of landfill gas production and emissions in a MSW Large-scale Experimental Cell in Brazil” SARDINIA, 2011.

- Uma célula experimental de 36.659t no Recife/PE – Brasil,
- Clima tropical,
- Resultado uma decomposição de 4 a 5 vezes mais rápido que as previsões obtidas pelas tradicionais metodologias de primeira ordem de emissão de gases, empregando os valores recomendados para cada modelo

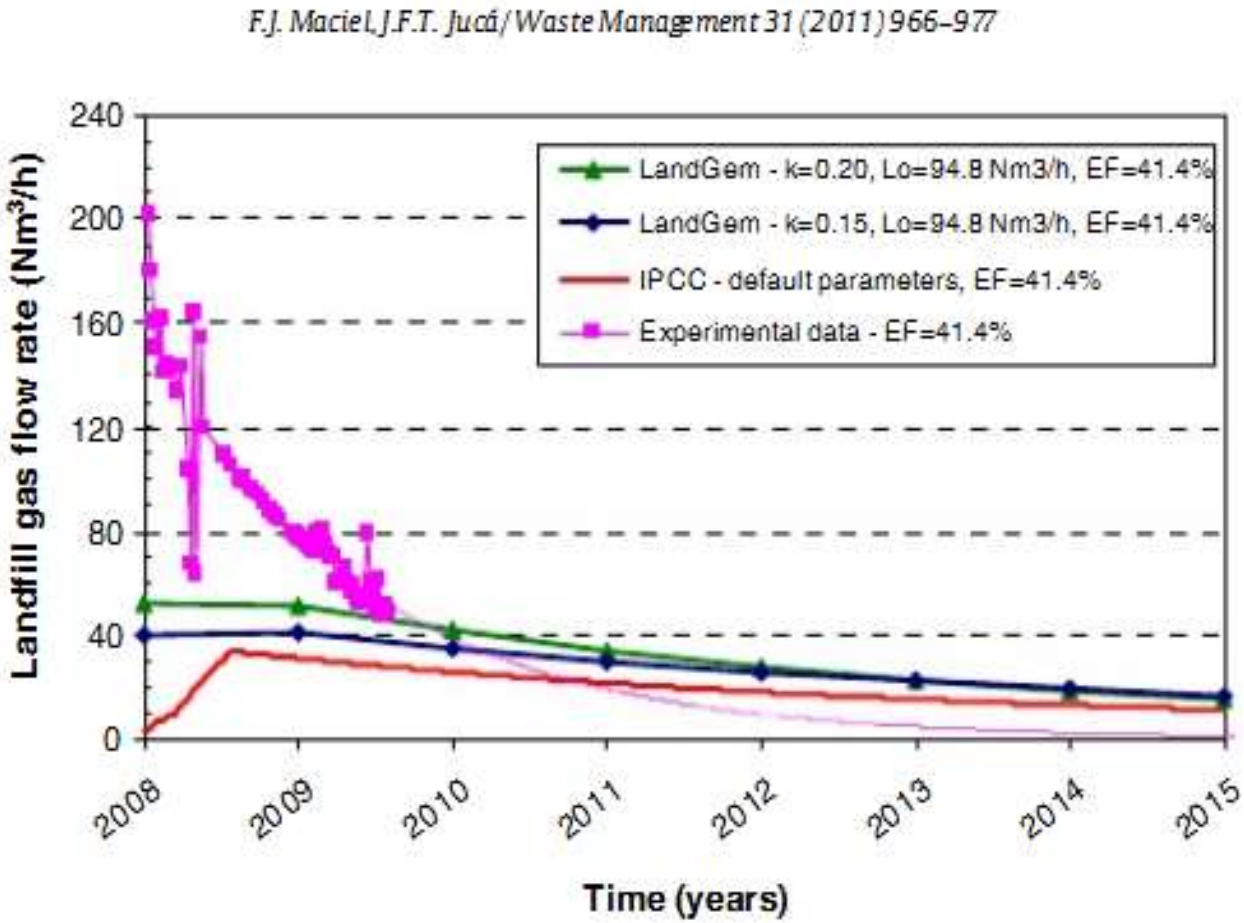


Figura 7: Taxa de geração de gás teórico e a medida na Celula Experimental.
(F.J. Maciel, J.F.T. Jucá, 2011)

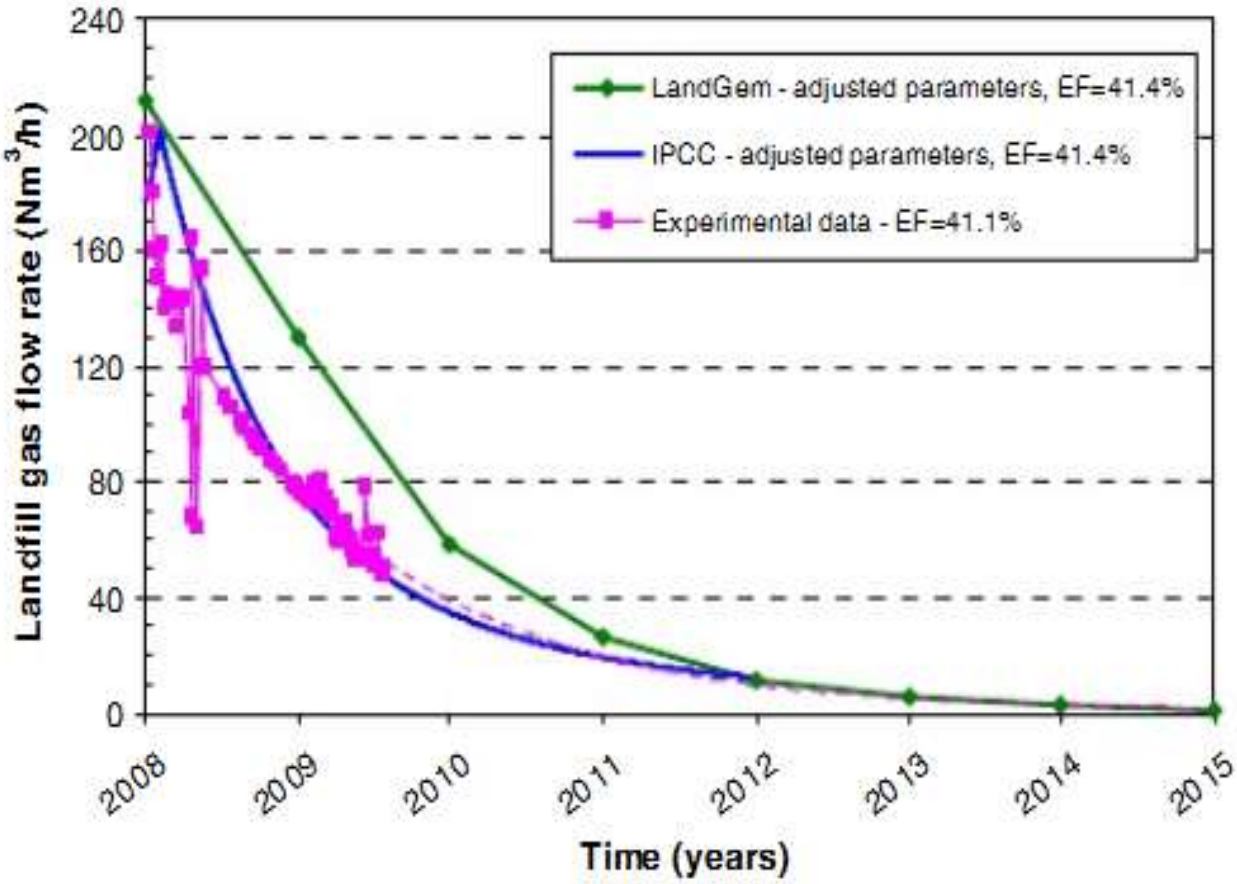


Figura 8 : Taxa de geração de gás com parâmetros ajustados.
(F.J. Maciel, J.F.T. Jucá, 2011)

C) "Uncertainties in Understanding and Measuring the Completion of Waste Degradation" (SARDINIA, 2011)

- Taxas de geração de metano de 20 aterros sanitarios
- Queda inferior a 2m^3/t.a logo após o fechamento dos aterros
- Posteriormente de 0.5 a 2 m^3/t.a por varias décadas.

- Essas taxas são de ordem semelhante às taxas de lisímetros utilizados por K. Knox,(2011).

- As estimativas por métodos bioquímicos subestima o potencial verdadeiro
- O método baseado no carbono e fibras não ficam claras podendo ser significativamente superiores.

Sardinia 2011, Thirteenth International Waste Management and Landfill Symposium

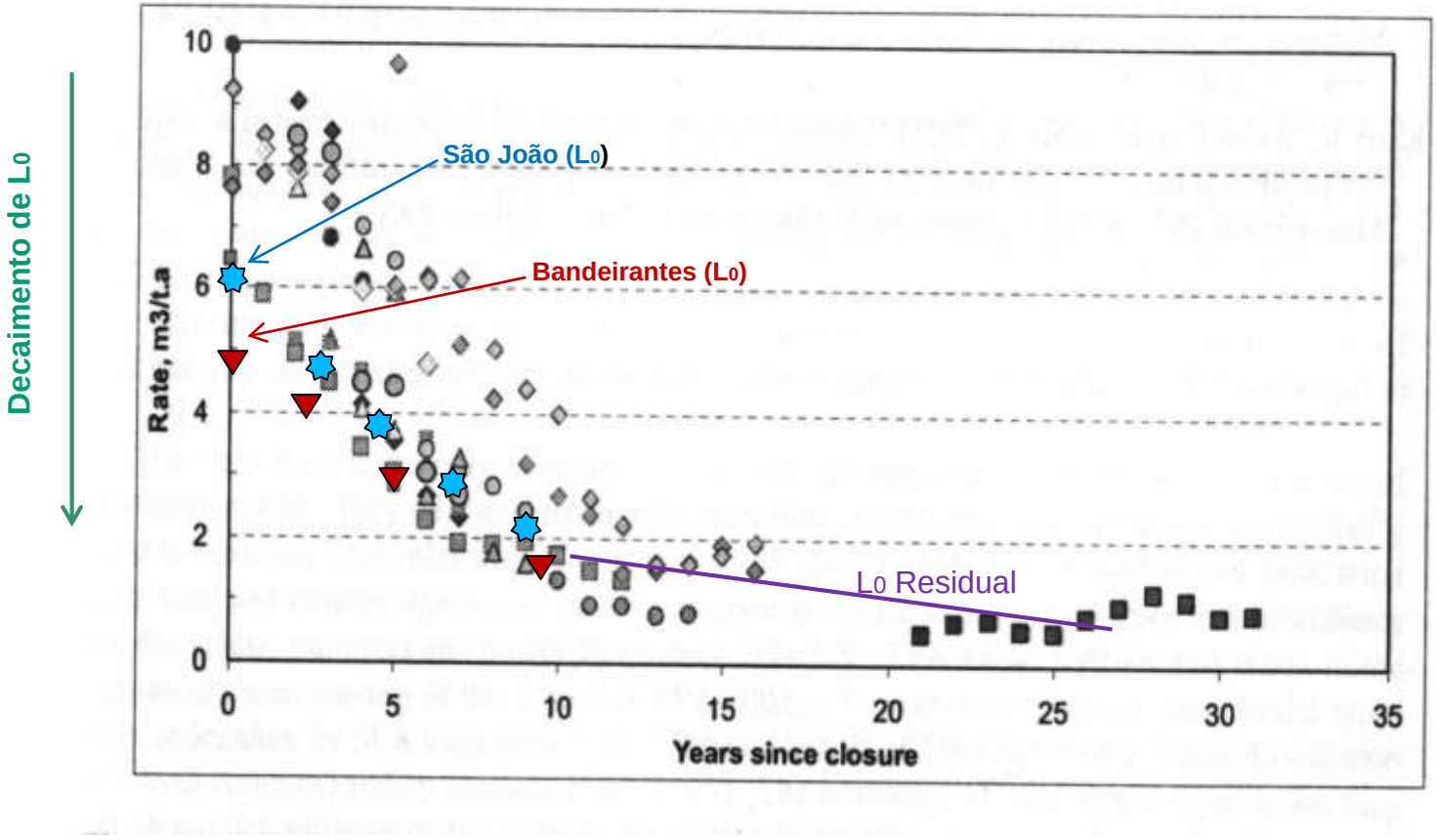
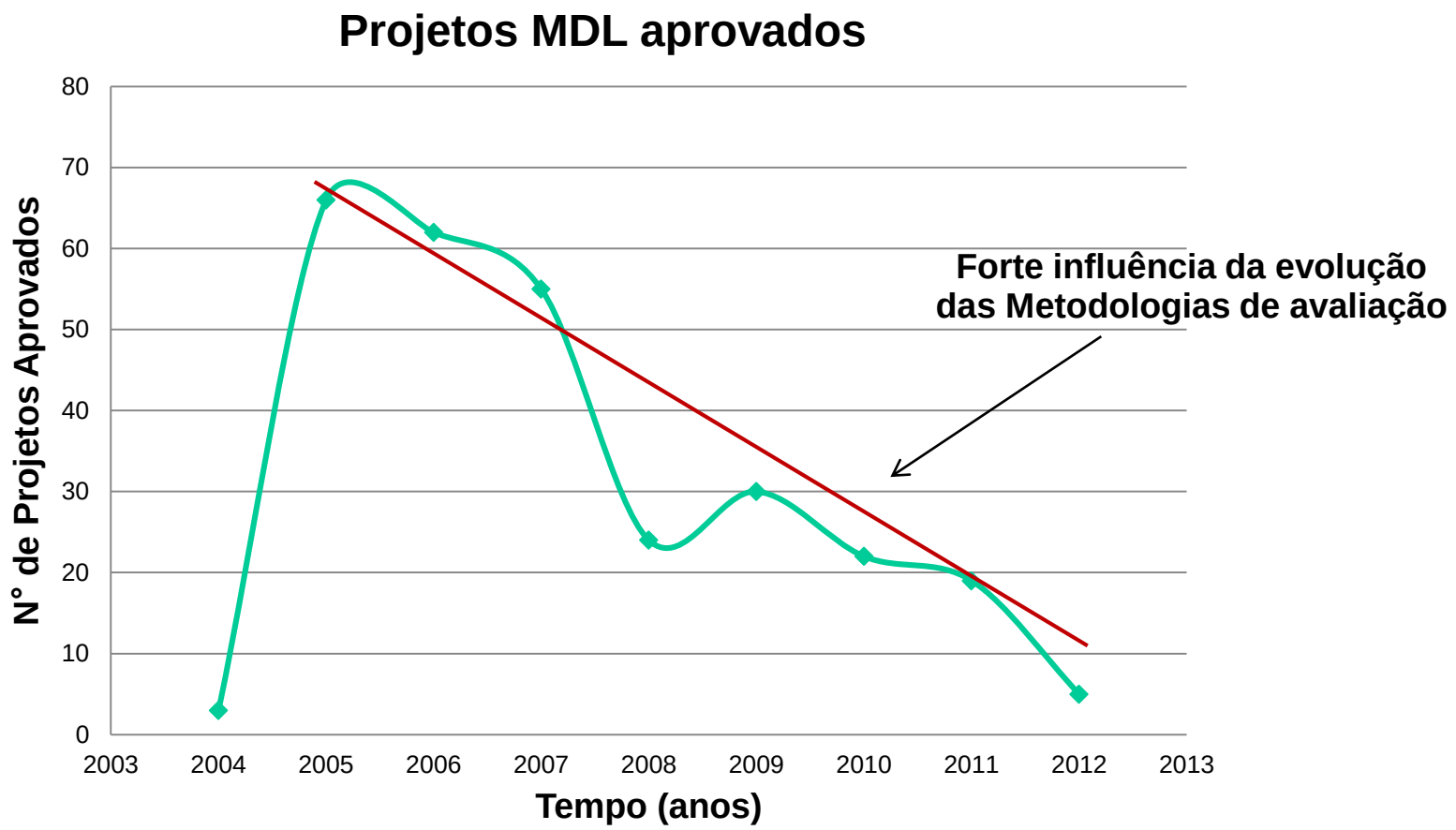


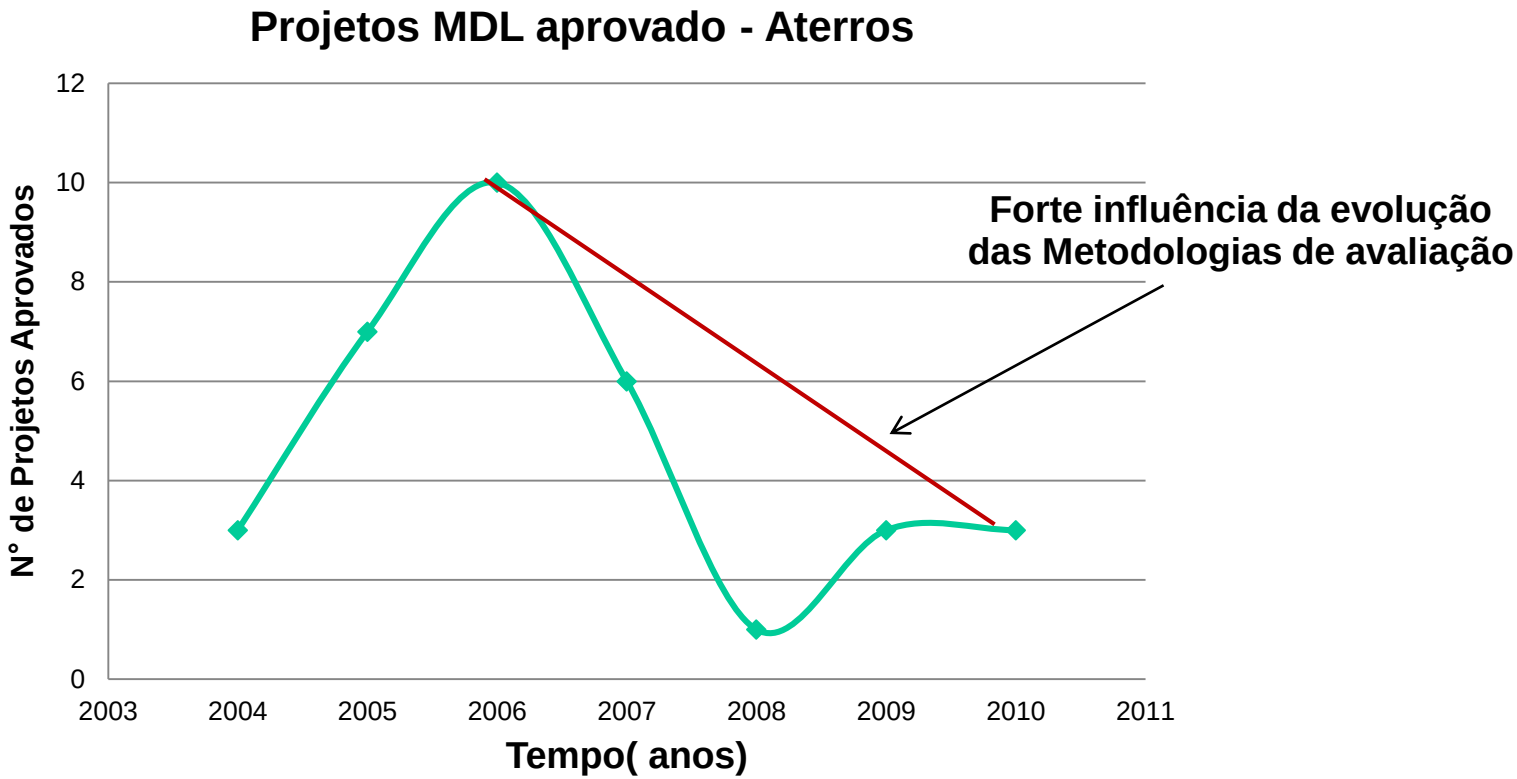
Figura 9: Estimativa da Taxa de geração de gás de 20 Aterros Sanitários fechados no Hong Kong e Inglaterra (Modificado, K. Knox, 2011).

Atividades de Projetos MDL Aprovados nos termos da Resolução N° 1



Fonte: MCTI, 2012

Atividades de Projetos MDL Aprovados nos termos da Resolução N° 1, Resíduos - Aterros



Fonte: MCTI, 2012

Principais Conclusões

- A utilização do modelo de decaimento de primeira ordem do IPCC não calibrado para estimar a geração de gases e emissão em lugares específicos pode resultar em valores irreais;
- A geração de metano no aterro, é no Maximo de 65% do valor estimado;
- A calibração do modelo de avaliação poder ser realizada havendo apenas um efetivo sistema de coleta de gás, envolvendo:
  - ✓ A seleção de uma zona representativa de todo o aterro, constituída pelo menos de três camadas de baixa permeabilidade, e com um eficiente sistema de coleta de gás;
  - ✓ A determinação da geração de metano na zona de teste, monitorando a captação de metano e emissões fugitivas durante um período adequado de tempo (> 2 anos);
  - ✓ A determinação de uma constante de geração de metano (K) para o lixo aterrado na zona de testes, para que seja depois aplicada ao aterro;

- Um modelo assim calibrado pode ser usado para:
  - ✓ Determinar estimativas mais reais:
    - ➢ Geração de metano;
    - ➢ Emissões e eficiência dos sistemas de coleta nas diferentes regiões do aterro;
  - ✓ Podem ser muito úteis para avaliar o desempenho das medidas de gestão de aterros sanitários, e o biogás ao longo do tempo.

Conclusão Geral

A metodologia apresentada pelo IPCC permite calcular as emissões de metano com os parâmetros recomendados, conhecendo-se as algumas características dos resíduos depositados no aterro.

Porém, observa-se cada vez mais, nos estudos em aterros sanitários ou experimentais, que as medições das emissões de gás em situ, mostram uma divergência de valores aplicando os modelos tradicionais de primeira ordem entre os valores medidos.

Estes modelos devem ser utilizados com atenção considerando que são aplicados para análises econômicas de projetos, levando-se em conta principalmente as características regionais próprias, como no caso do Brasil, além das eficiências de captação (30% e 60%) e do forte decaimento (50% a cada 5 anos).

Agradecimentos:

Daniela Kuhn e Rafael Chávez

Bibliografia

•F.J. Maciel and J.F.T. Jucá, Evaluation of landfill gas production and emissions in a MSW Large-scale Experimental Cell in Brazil, SARDINIA-2011.

• K. Knox, K. Chieng and S. Hayward-Higham, Uncertainties in Understanding and Measuring the Completion of Waste Degradation, SARDINIA-2011.

•Revista Novo Ambiente Ano 02-19-Dezembro/2011.

•Silvia Mary Pereira Borba, Análise de Modelos de Geração de Gases em aterros Sanitários: Estudo de Caso, Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2006.

•T. Clingan and S. Bateman, Evaluating Landfill Gas Emissions at the Wollert Landfill Autralia, S. Dever, SARDINIA -2011.

OBRIGADO!

Engº Francisco J. P. Oliveira

Contato: (11) 5093-7709/5093-3591

franciscojpoliveira@fralconsultoria.com.br