

*Inventário do ESP das emissões de gases de efeito estufa pelo tratamento de resíduos  
(sólidos e efluentes) de 1990 a 2008*

João Wagner Silva Alves

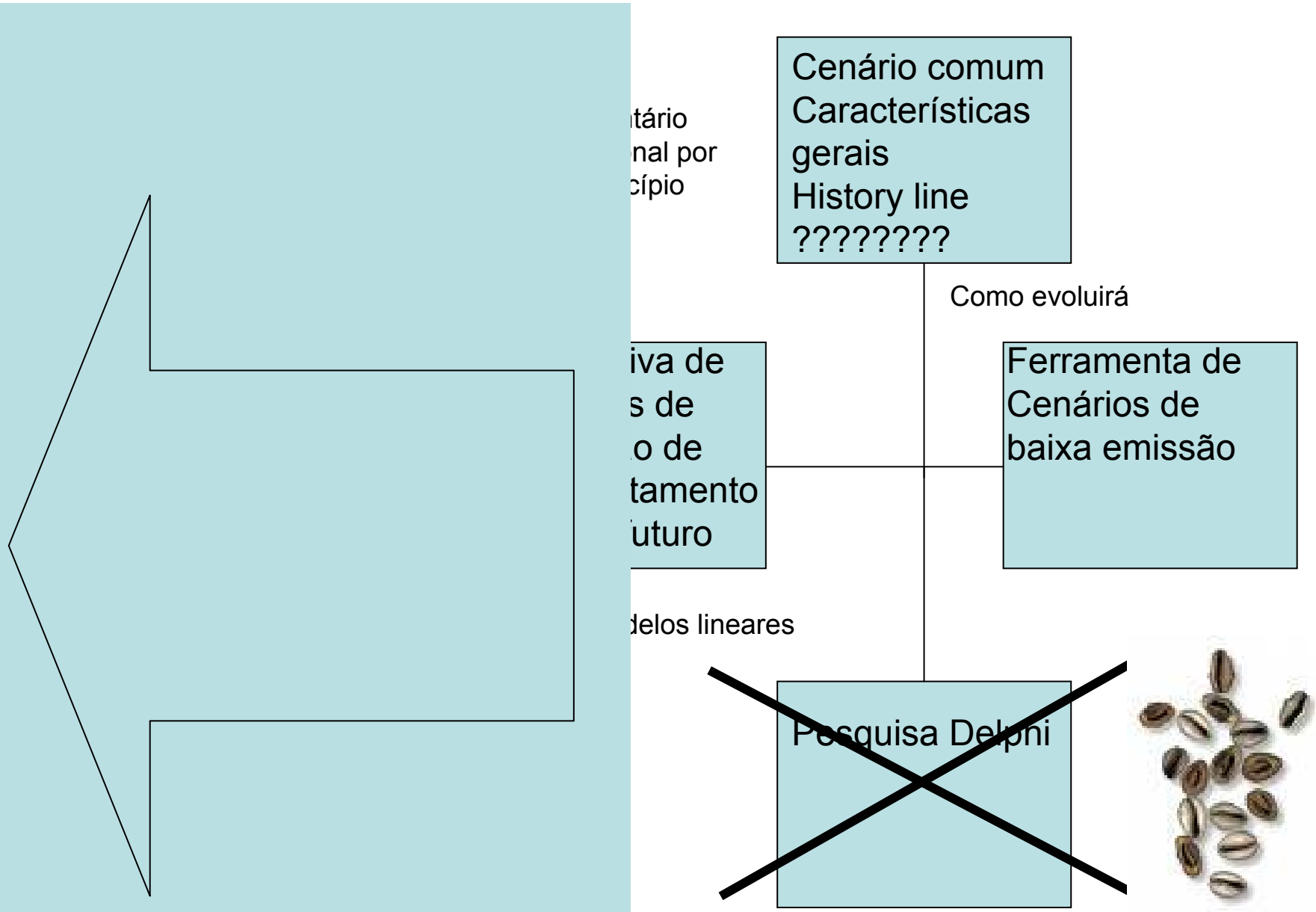
17 de março de 2009



**SECRETARIA DO  
MEIO AMBIENTE**



# Inventário Estadual das emissões de geé pelo tratamento de resíduos de 1990 a 2008



## Pesquisa web-delphi em andamento na SMA



Perguntas muito bem elaboradas e pertinentes,  
Ambientação adequada,  
Ferramenta estimulante para a ampla participação

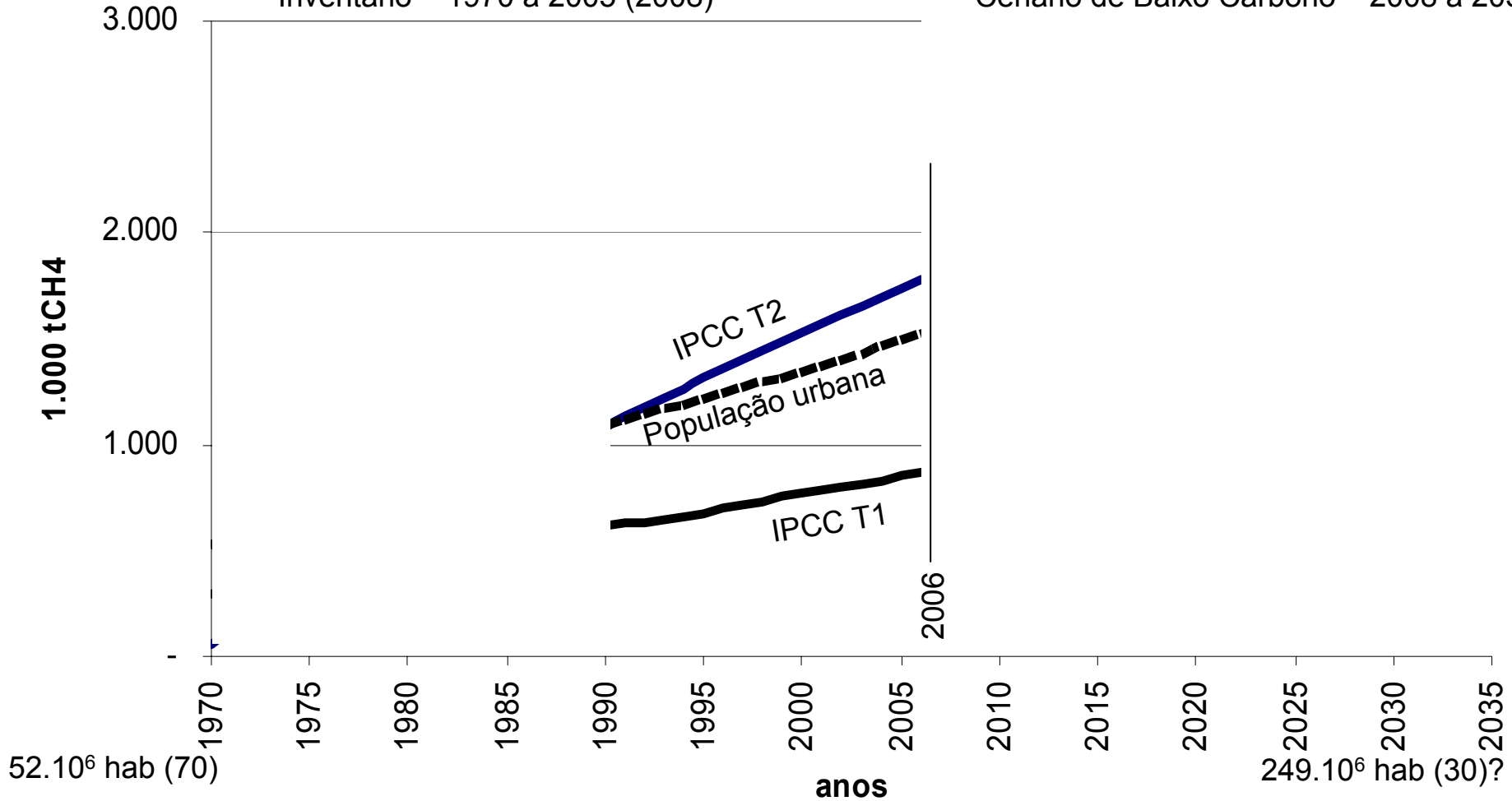
# Inventário Estadual das emissões de gee pelo tratamento de resíduos de 1990 a 2008

*IPCC - GPG2000 - Tier 1 -  $Q = ((MSW_t \cdot MSW_{t_0} \cdot L_0) - R) \cdot (1 - OX)$*

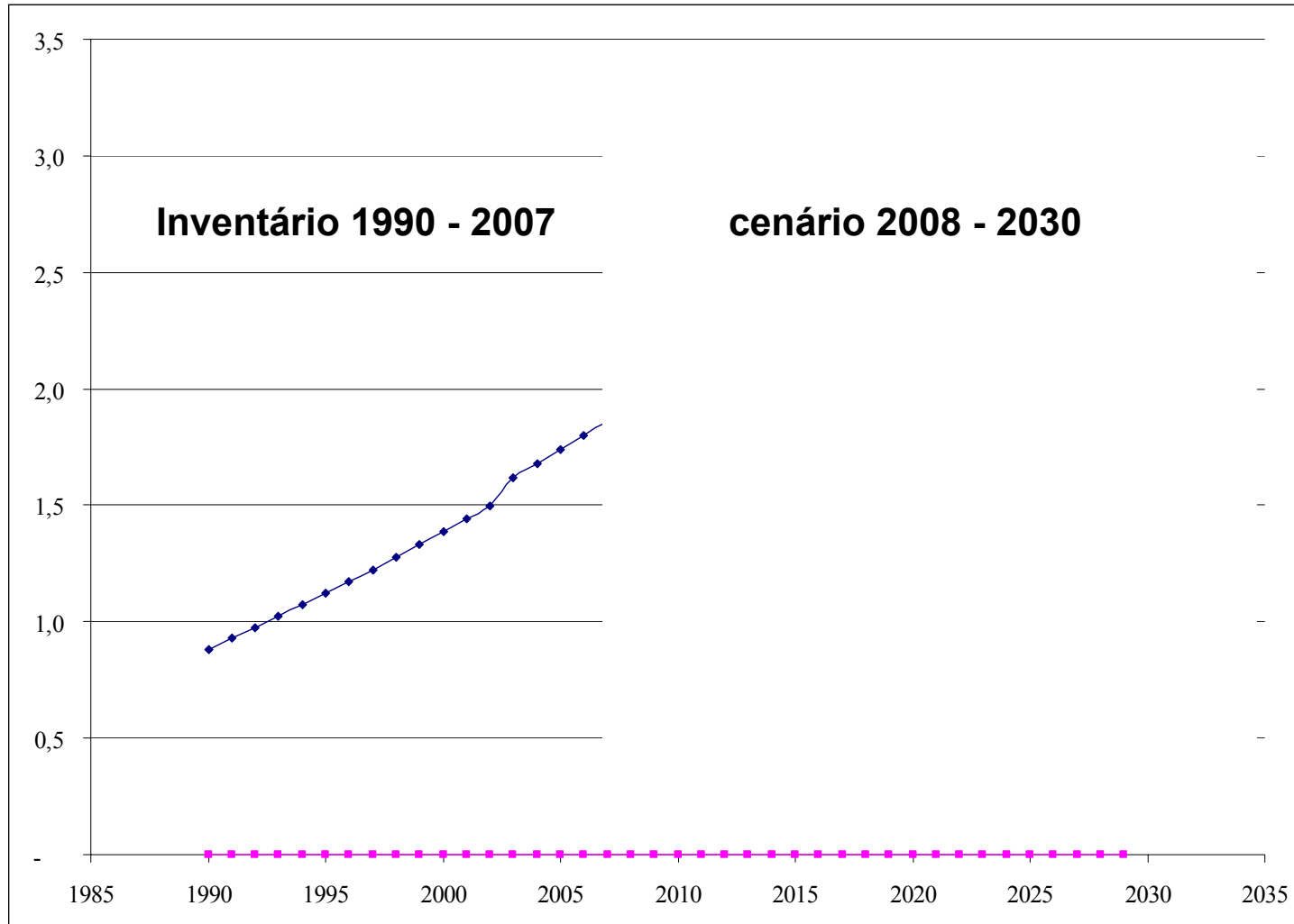
*Tier 2 -  $Q = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSW_{t_0} \cdot L_0 \cdot e^{-k \cdot t} - R) \cdot (1 - OX)$*

Inventário – 1970 a 2005 (2008)

Cenário de Baixo Carbono – 2008 a 2030



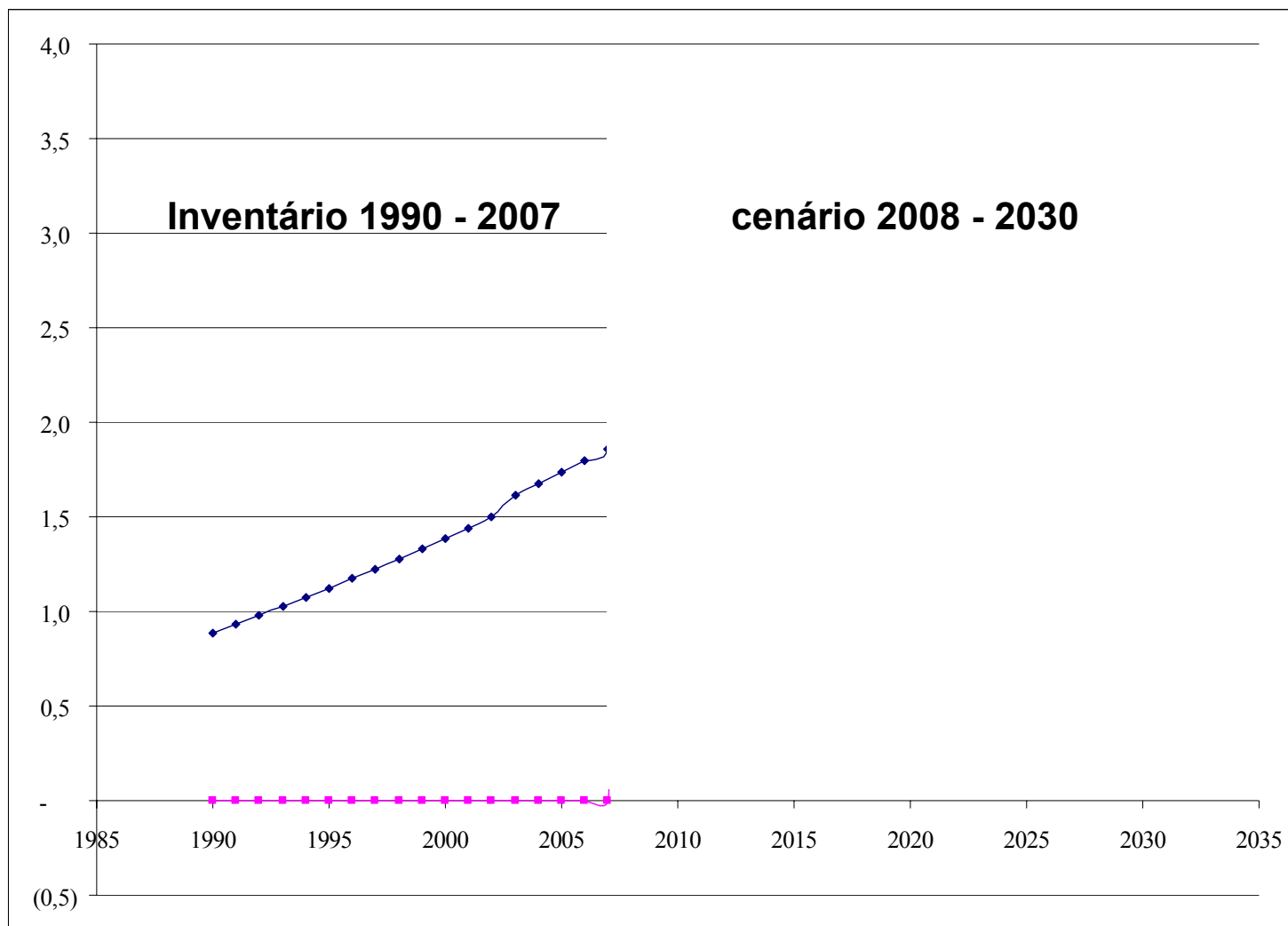
## Cenário BAU - 100% dos RSM em aterros



Simulação para uma cidade qualquer

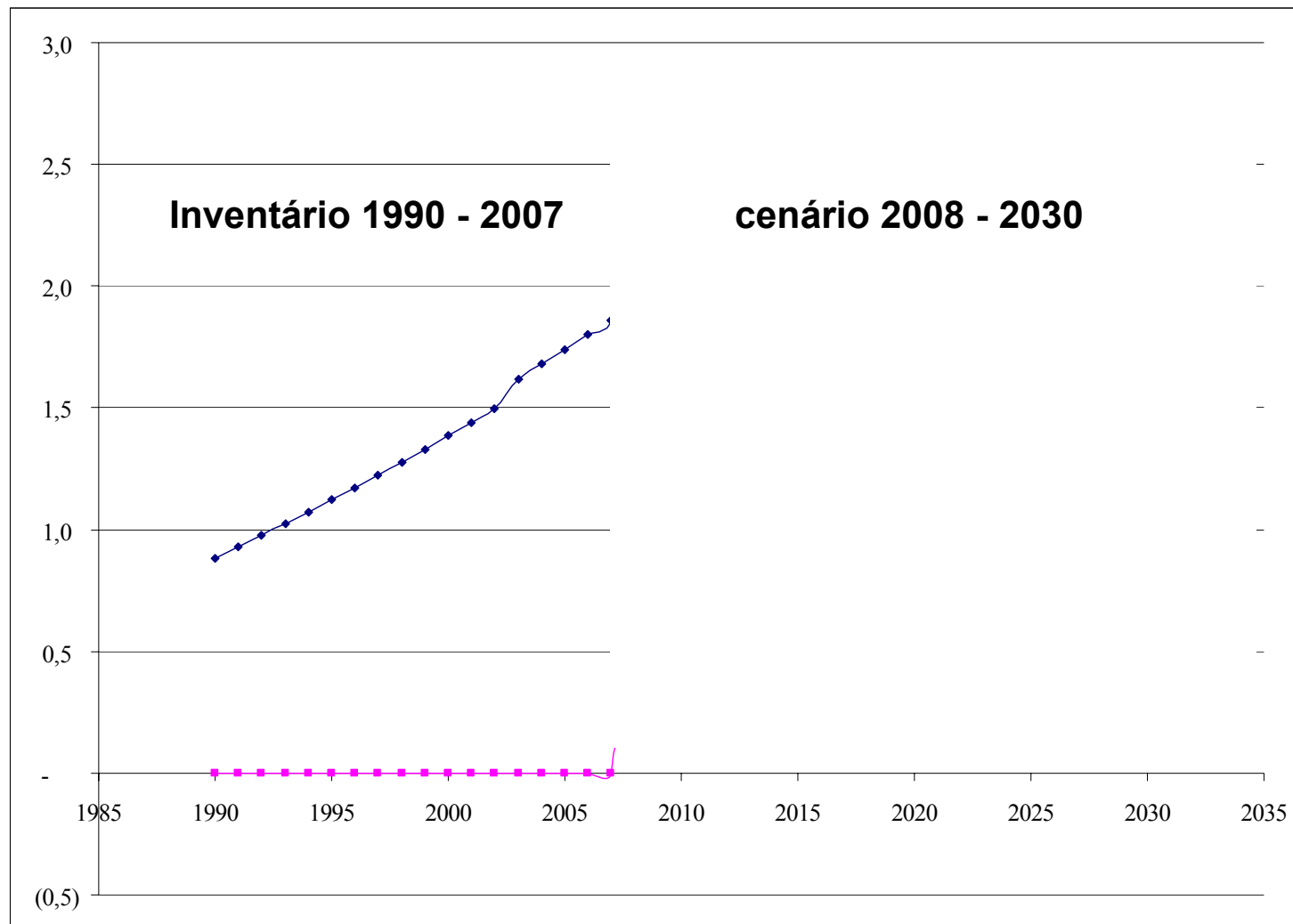
# Inventário Estadual das emissões de gee pelo tratamento de resíduos de 1990 a 2008

Cenário BAU - 100% incinerado após 2008 RSM (com % default (IPCC) de fósseis)



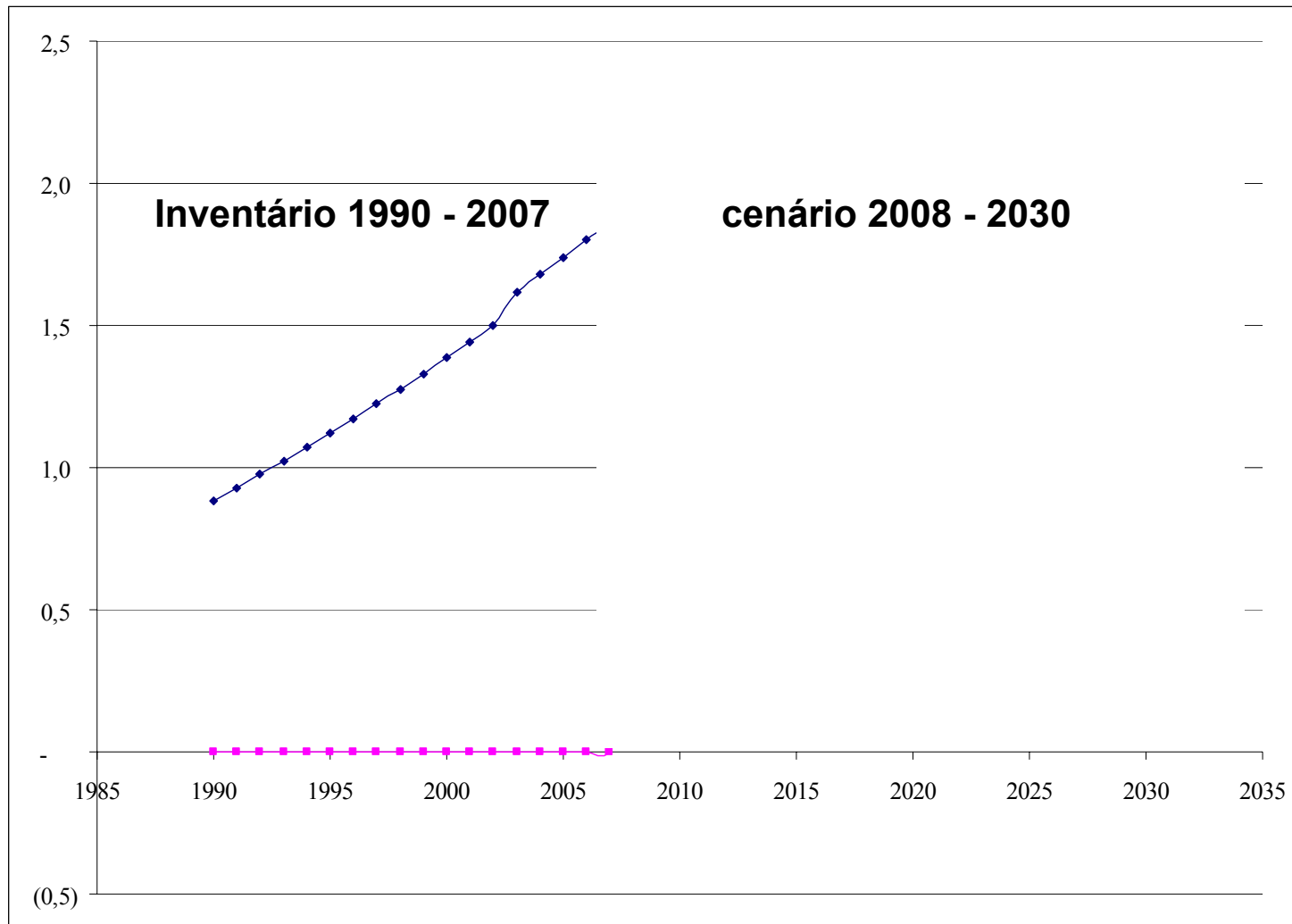
Simulação para uma cidade qualquer

## Cenário BAU - 100% incinerado após 2008 RSM (com menor % de fósseis)



Simulação para uma cidade qualquer

Cenário BAU - 100% incinerado após 2008 RSM (com muito menor % de fósseis)



Simulação para uma cidade qualquer



1<sup>as</sup> conclusões:

Resíduos orgânicos incinerados não geram gee

Resíduos fósseis aterrados não geram gee

Método IPCC (GPG - 2000) para estimativa das emissões de gee em aterros

$$Q_{CH_4} = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSW_f \cdot L_0 \cdot e^{-(k \cdot t)} - R) \cdot (1 - OX)$$

$$Q_{CO_2} = \Sigma(M_i \cdot C_i \cdot FC_i \cdot E_i \cdot 44/12)$$

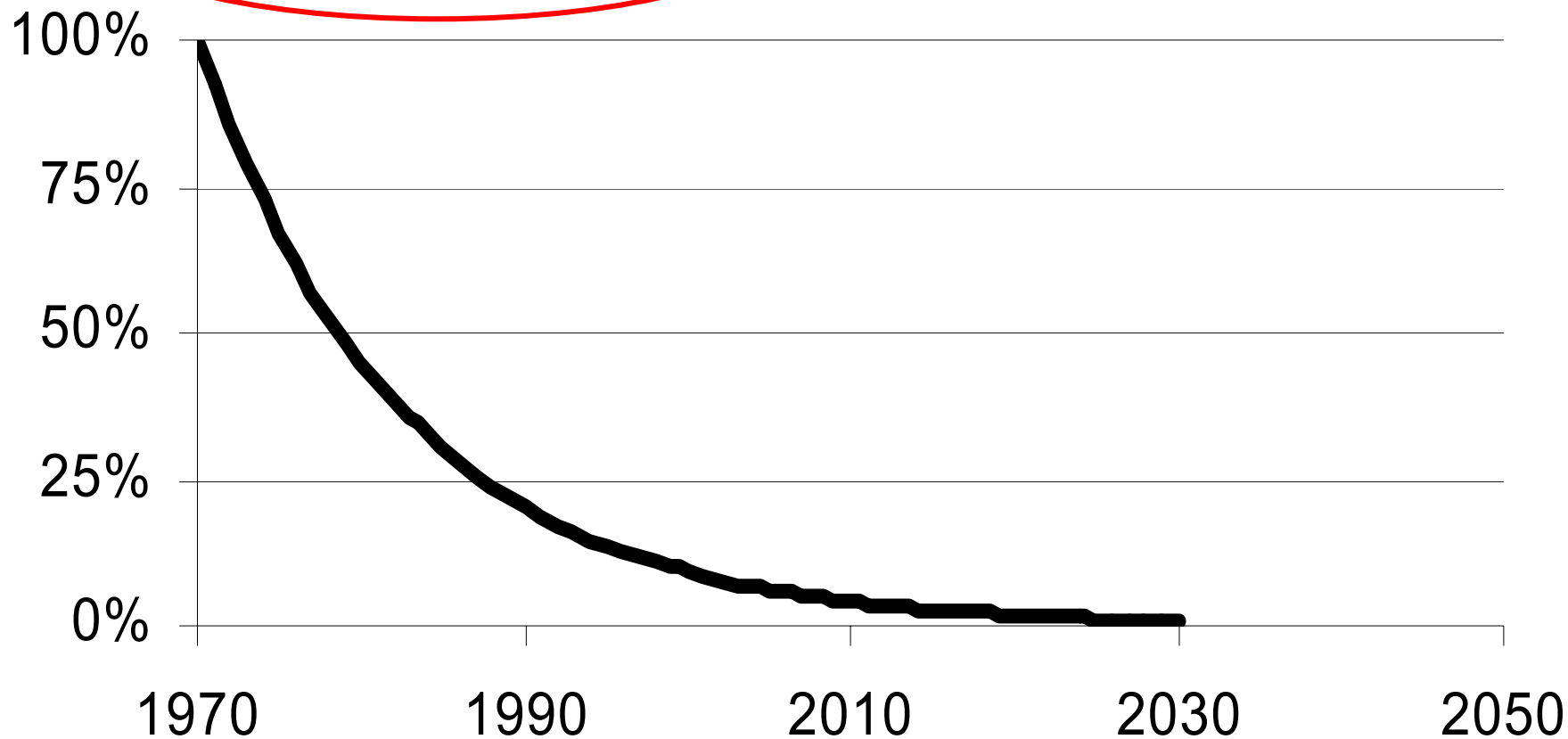
$$Q_{N_2O} = \Sigma_i(IW_i \cdot EC_i \cdot FGV_i) \cdot 10^{-9}$$

$$Q_{CH_4} = Pop \cdot Dd \cdot B_0 \cdot \Sigma(F_{ij} \cdot FCM_{ij}) - R$$

$$Q_{CH_4} = Prod \text{ ind} \cdot Di \cdot \Sigma(F_{ij} \cdot FCM_{ij}) - R$$

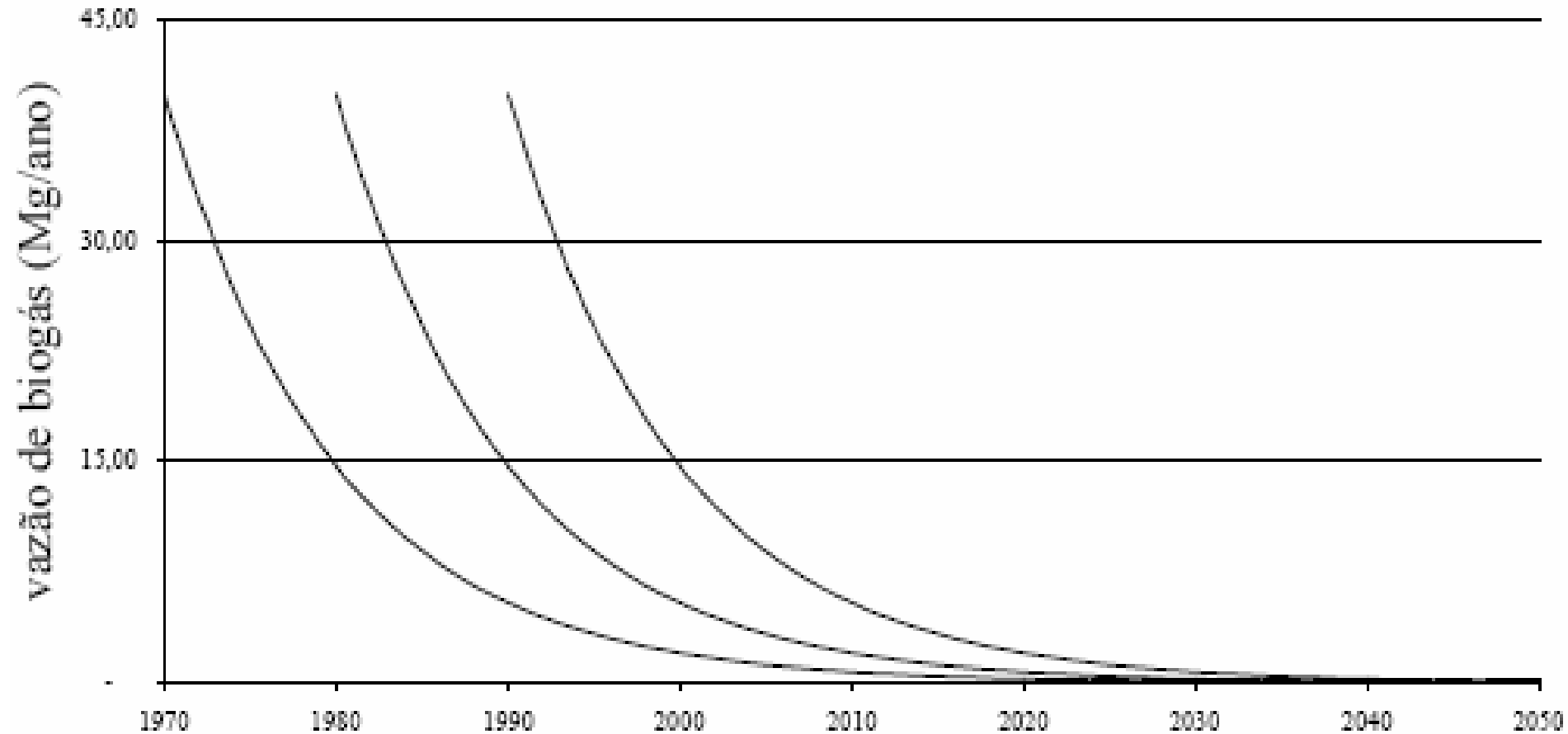
Aterros

$$Q = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSW_f \cdot L_0 \cdot e^{-(k t)} - R) \cdot (1 - OX)$$



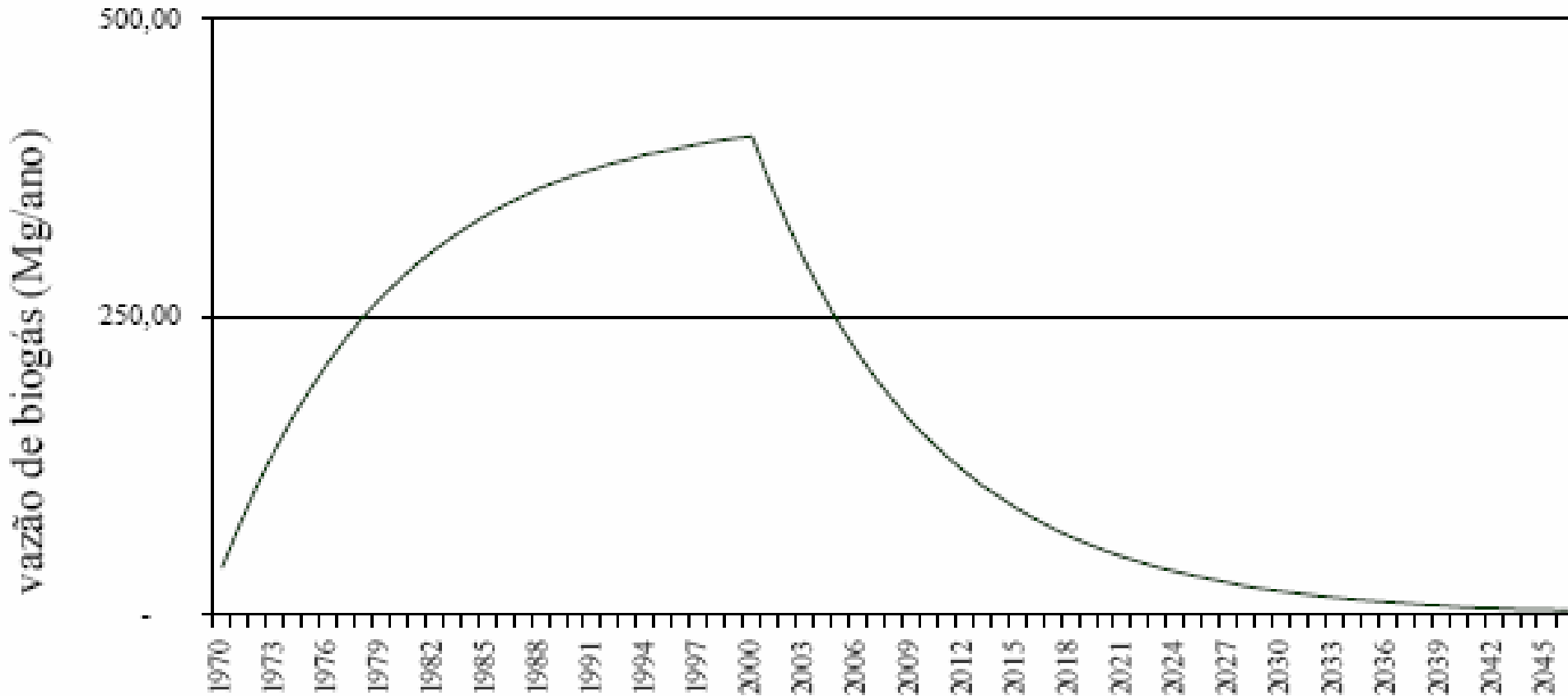
Aterros

$$Q = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSWf \cdot L_0 \cdot e^{-(k t)} - R) \cdot (1 - OX)$$



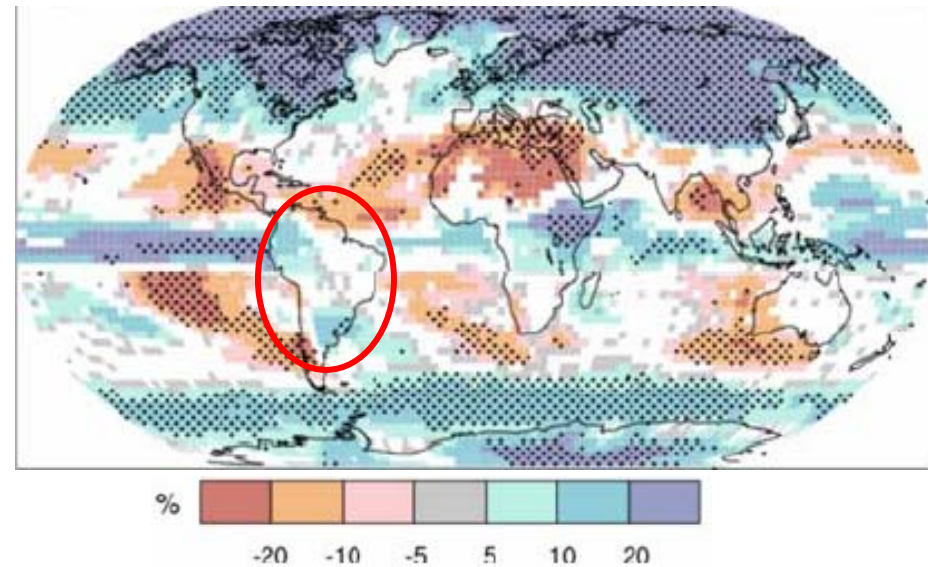
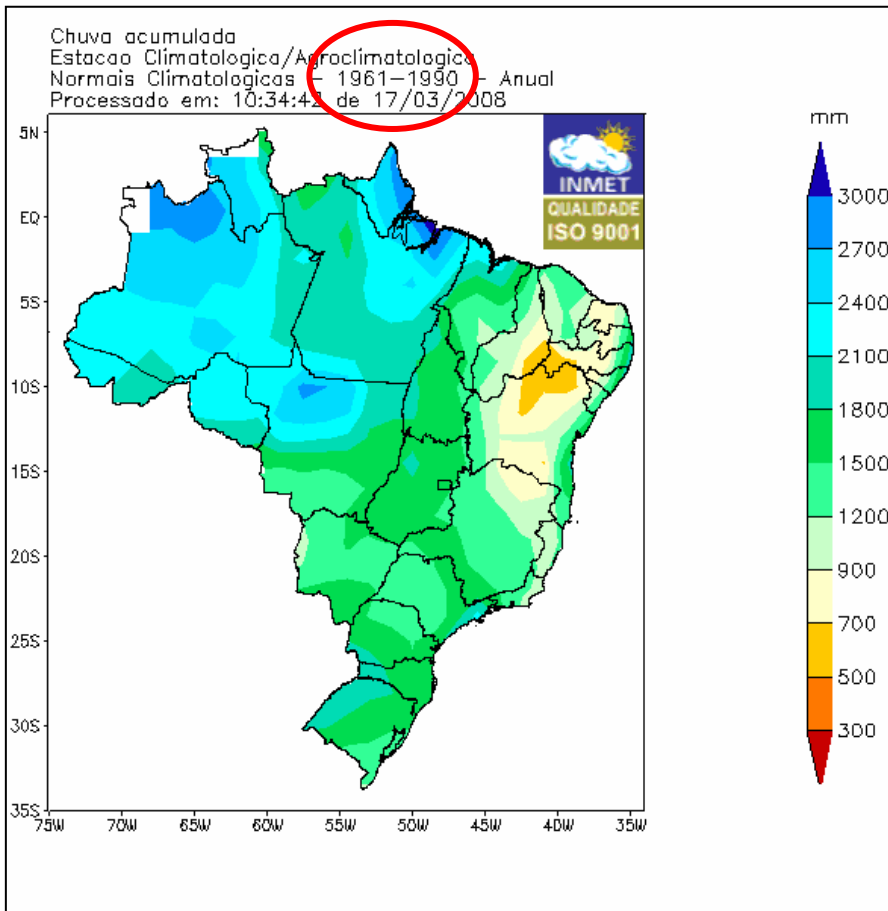
Aterros

$$\Sigma Q = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSW_f \cdot L_0 \cdot e^{-(k \cdot t)} - R) \cdot (1 - OX)$$



# Aterros

$$Q = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSWf \cdot L_0 \cdot e^{-(k t)} - R) \cdot (1-OX)$$



Projeção da variação dos padrões de variação de precipitação para o período de 1980 a 2090 (1991 a 2020)

2090 a 2005 = ?

Vamos continuar procurando dado melhor

Aterros

$$Q = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSW_f \cdot L_0 \cdot e^{-(k \cdot t)} - R) \cdot (1 - OX)$$

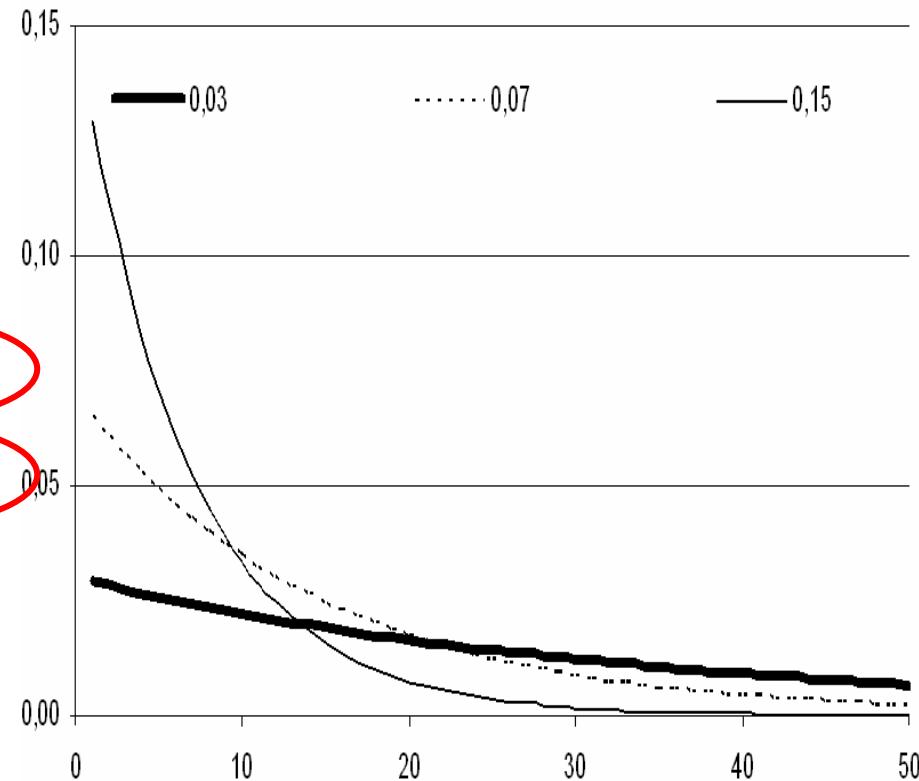
$k$ : taxa de decaimento [adimensional]

(regime de chuvas)

MAP: precipitação média de chuvas

MAP > 1000 mm<sub>chuva</sub>/ano =>  $k = 0,17$

MAP < 1000 mm<sub>chuva</sub>/ano =>  $k = 0,065$



## Aterros

$$Q = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSW_f \cdot L_0 \cdot e^{-(k t)} - R) \cdot (1 - OX)$$

*A: Fator de normalização de soma [%]*

$$A = \frac{1 - e^{-k}}{k}$$

*k: taxa de decaimento [adimensional]*

*(regime de chuvas)*



## Aterros

$$Q = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSW_f) \cdot L_0 \cdot e^{-(k t)} - R) \cdot (1 - OX)$$

$R_x$  = Taxa anual de disposição média dos resíduos [GgMSW/ano]

*MSW*: Resíduos sólidos urbanos

$$MSW_t \cdot MSW_f = R_x = Taxa_{MSW} \cdot Pop_{urb}$$

$MSW_t$  = Quantidade total de MSW gerado [GgMSW/ano]

$MSW_f$  = Fração de resíduo destinada ao aterro [%]

$R_x$  = Quantidade de resíduo aterrada [GgMSW/ano]

$Taxa_{RSM}$  = Taxa de ger. de res. por hab. [kgMSW/hab.dia] ou GgMSW/10<sup>3</sup>hab.ano]

$Pop_{urb}$  = População urbana [hab] ou [1000hab]

## Aterros

*Estimativa populacional (decenal)*

$$Pop_b = Pop_a \cdot (1 + i)^{(b-a)}$$

$Pop_a$  = População urbana municipal no ano inicial

$i$  = Índice de crescimento populacional do período

$$i = \left( \frac{Pop_b}{Pop_a} \right)^{1/(b-a)} - 1$$

$a$  = Ano inicial da década

$b$  = Ano

Dados populacionais dos municípios brasileiros (IBGE no MUNINET, 2008)

Dados: 1970, 1980, 1991 e 2000 (os demais anos são estimados).

## Aterros

*TaxaMSW = Taxa de geração de resíduos [kgRSM/hab.dia] ou GgRSM/103hab.ano]*

*TaxaMSW (CETESB, não datado)*

*Para 1970*

*Pop<sub>urb</sub> > 1.000.000 hab → 0,7kg/hab.dia*

*1.000.000 > Pop<sub>urb</sub> > 500.000 hab → 0,6kg/hab.dia*

*500.000 > Pop<sub>urb</sub> > 100.000 hab → 0,5kg/hab.dia*

*Pop<sub>urb</sub> < 100.000 hab → 0,4kg/hab.dia*

## Aterros

*TaxaMSW nas regiões brasileiras (ABRELPE, 2007):*

|               |   |              |
|---------------|---|--------------|
| Norte:        | $TaxaMSW = 0,000433.Pop_{urb} + 0,5064$ [kgMSW/hab] | $R^2 = 86\%$ |
| Nordeste:     | $TaxaMSW = 0,000254.Pop_{urb} + 0,7054$ [kgMSW/hab] | $R^2 = 79\%$ |
| Centro-Oeste: | $TaxaMSW = 0,000384.Pop_{urb} + 0,6136$ [kgMSW/hab] | $R^2 = 85\%$ |
| Sudeste:      | $TaxaMSW = 0,000216.Pop_{urb} + 0,5864$ [kgMSW/hab] | $R^2 = 66\%$ |
| Sul:          | $TaxaMSW = 0,000357.Pop_{urb} + 0,5015$ [kgMSW/hab] | $R^2 = 73\%$ |

## Aterros

*Regressão do MSW anual (70 a 2005):*

*Supondo que em 70 vale CETESB e que em 2005 vale ABRELPE:*

$$MSW_x = MSW_{1970} + (MSW_{2005} - MSW_{1970}) \cdot \frac{(x - 1970)}{(2005 - 1970)}$$

## Aterros

$$Q = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSW_f \cdot L_0 \cdot e^{-(k \cdot t)} - R) \cdot (1 - OX)$$

$L_0$ : Fator de emissão de metano [GgCH<sub>4</sub>/GgMSW]

$$L_0 = MCF \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot F \cdot 16/12 \text{ [GgCH}_4\text{/GgMSW]}$$

MCF: Fator de correção de metano referente aos locais de disposição [ad]

*Qualidade de operação do aterro:*

Aterro sanitário  $\Rightarrow MCF = 1$

Aterro com mais de 5m de profundidade  $\Rightarrow MCF = 0,8$

Aterro com menos de 5m de profundidade  $\Rightarrow MCF = 0,4$

Aterro com classificação desconhecida  $\Rightarrow MCF = 0,6$

## Aterros

$$Q = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSW_f \cdot L_0 \cdot e^{-(k t)} - R) \cdot (1 - OX)$$

$L_0$ : Fator de emissão de metano [GgCH<sub>4</sub>/GgMSW]

$$L_0 = MCF \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot F \cdot 16/12 \text{ [GgCH}_4\text{/GgMSW]}$$

$$DOC = (0,4 \cdot A) + (0,17 \cdot B) + (0,15 \cdot C) + (0,3 \cdot D) \text{ [GgC/GgMSW]}$$

*A: Papéis e têxteis*

*B: Resíduos de jardim, parque e outros putrecíveis não comida*

*C: Resíduos de comida*

*D: Madeira e palha*

## Aterros

$$Q = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSW_f \cdot L_0 \cdot e^{-(k t) - R}) \cdot (1 - OX)$$

$L_0$ : Fator de emissão de metano [GgCH<sub>4</sub>/GgMSW]

$$L_0 = MCF \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot F \cdot 16/12 \text{ [GgCH}_4\text{/GgMSW]}$$

$DOC_f$  = Fração assimilada do DOC ( $DOC_f$ ) [adimensional]

$$DOC_f = 0.014T + 0.28 = 0,014 \cdot 35^\circ C + 0,28 = 0,77$$

Onde:

$$T = \text{Temperatura } [^\circ C] = 35 \text{ }^\circ C$$

Qualquer mudança nesta estimativa deve ser baseada em dados bem documentados.



## Aterros

$$Q = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSW_f \cdot L_0 \cdot e^{-(k t) - R}) \cdot (1 - OX)$$

$L_0$ : Fator de emissão de metano [GgCH<sub>4</sub>/GgMSW]

$$L_0 = MCF \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot F \cdot 16/12 \text{ [GgCH}_4\text{/GgMSW]}$$

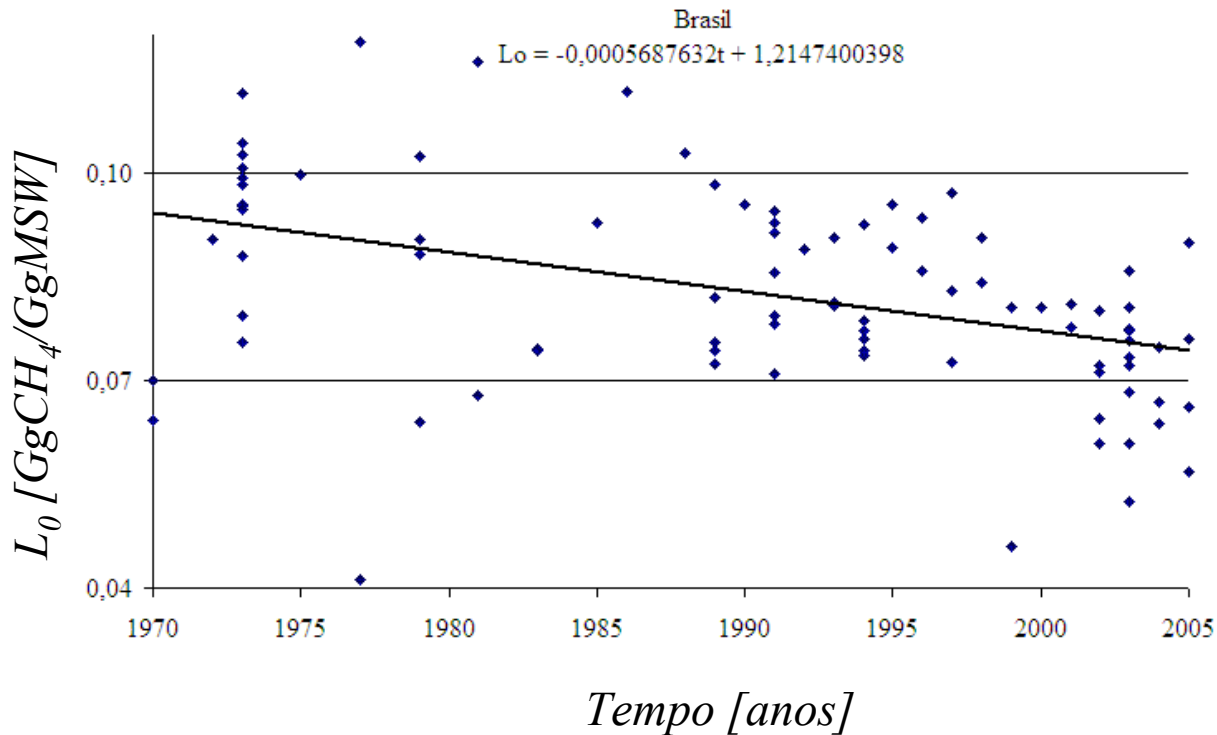
$F$ : Fração de CH<sub>4</sub> no biogás [adimensional]

16/12: Relação de massa entre C e CH<sub>4</sub>

## Aterros

$$Q = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSWf \cdot L_0 \cdot e^{-(k t)} - R) \cdot (1-OX)$$

*Estimativa de  $L_0$ : (Brasil) [GgCH<sub>4</sub>/GgMSW]*



## Aterros

$$Q = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSW_f \cdot L_0 \cdot MCF \cdot e^{-k \cdot t} - R) \cdot (1 - OX)$$

*R*: Metano recuperado [GgCH<sub>4</sub>/ano]

*OX*: Fator de oxidação [%]

## Aterros

$$Q_{CO_2} = \Sigma(M_i \cdot C_i \cdot FC_i \cdot E_i \cdot 44/12)$$

$Q_{CO_2}$ : Quantidade de Dióxido de Carbono gerada ao ano [GgCO<sub>2</sub>/ano]

|       |       |   |                                 |
|-------|-------|---|---------------------------------|
| $i$ : | $MSW$ | = | <i>Resíduo Sólido Municipal</i> |
|       | $RP$  | = | <i>Resíduo Perigoso</i>         |
|       | $RH$  | = | <i>Resíduo Hospitalar</i>       |
|       | $LE$  | = | <i>Lodo de Esgoto</i>           |

## Aterros

$$Q_{CO_2} = \Sigma(M_i \cdot C_i \cdot FC_i \cdot E_i \cdot 44/12)$$

$Q_{CO_2}$  = Quantidade de Dióxido de Carbono gerada ao ano [GgCO<sub>2</sub>/ano]

$M_i(IW)$  = Massa de resíduo  $i$  incinerado ao ano [Gg<sub>resíduo</sub>/ano]

$C_i(CCW)$  = Carbono contido no resíduo  $i$  [%]

$FC_i(FCF)$  = Fração de carbono fóssil no resíduo  $i$  [%]

$E_i(EF)$  = Eficiência de queima dos incineradores do resíduo  $i$  [%]

44/12 = Fator de conversão de C para CO<sub>2</sub> (relação de massa entre C e CO<sub>2</sub>.)

## Aterros

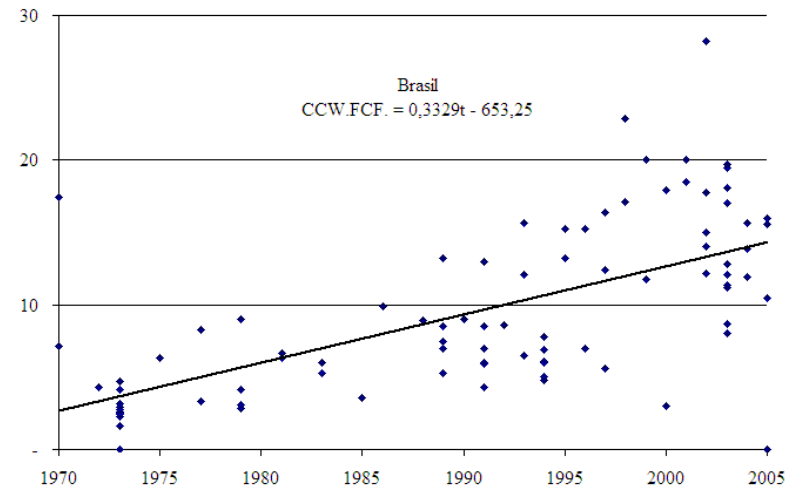
$$Q_{N_2O} = \sum_i (IW_i \cdot EC_i \cdot FGV_i) \cdot 10^{-9}$$

$Q_{N_2O}$  = Quantidade de Óxido Nitroso gerada ao ano  
[GgN<sub>2</sub>O/ano]

$IW_i$  = Quantidade de resíduo  $i$  incinerado [Gg/ano]

$EC_i$  = Concentração de N<sub>2</sub>O no gás, por resíduo  $i$  [mgN<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup>]

$FGV_i$  = Volume de gás proveniente do resíduo  $i$  incinerado  
[m<sup>3</sup>/Mg]



## Esgotos e Efluentes

$$Q_{CH_4} = Pop \cdot Dd \cdot B_0 \cdot \Sigma(F_{ij} \cdot FCM_{ij}) - R$$

$Q_{CH_4}$  = Quantidade de metano gerada ao ano [GgCH /ano]

$Pop$  = População urbana [1.000 hab]

$Dd$  = Componente orgânico degradável do esgoto doméstico  
[kgDBO/1.000hab.dia]

$B_0$  = Capacidade máxima de produção de metano  
[kgCH /kgDBO ou kgCH<sub>4</sub> /kgDQO]

$F$  = Fração de água residuária do tipo “i” tratada usando o sistema “j”

$FCM$  = Fator de conversão de metano do sistema “j” tratando o efluente “i”

$R$  = Metano recuperado

## Esgotos e Efluentes

$$Q_{CH_4} = Prod\ ind . D_i . \Sigma(F_{ij} . FCM_{ij}) - R$$

$Q$  = Quantidade de metano gerada ao ano [GgCH<sub>4</sub>/ano]  
 $Prod\ ind$  = Produção industrial [t de produto]

$D_i$  = Componente orgânico degradável do efluente industrial  
[kgDBO/t produto ou kgDQO/t produto]

$B_0$  = Capacidade máxima de produção de metano  
[kgCH /kgDBO ou kgCH<sub>4</sub>/kgDQO]

$F_{i,j}$  = Fração de água residuária do tipo “i” tratada usando o sistema “j”

$FCM_{i,j}$  = Fator de conversão de metano do sistema “j” tratando o efluente “i”

$R$  = Metano recuperado

*Produção industrial (5 setores):*

*Cervejarias*

*Bebidas e refrigerantes*

*Laticínios...*



Contato:

João Wagner Silva Alves

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

**Divisão de Questões Globais**

Programa do Governo do Estado de Prevenção às Mudanças Climáticas

Tel. 55 11 3133 3156

Fax. 55 11 3133 4058

<http://homologa.ambiente.sp.gov.br/proclima/default.asp>

e-mail: [joaoa@cetesbnet.sp.gov.br](mailto:joaoa@cetesbnet.sp.gov.br)



**SECRETARIA DO  
MEIO AMBIENTE**

