



COPPE/UFRJ

Saneamento Energético

# TECNOLOGIAS DE RECICLAGEM ENERGÉTICA

Luciano Basto  
COPPE/UFRJ

# MARCO REGULATÓRIO

- DIRETIVA EUROPÉIA
- POLÍTICA NACIONAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS
- POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS  
(Todas as prefeituras deverão construir aterros sanitários adequados ambientalmente, onde só poderão ser depositados os resíduos **sem qualquer** possibilidade de reaproveitamento ou compostagem)

# LIXÃO



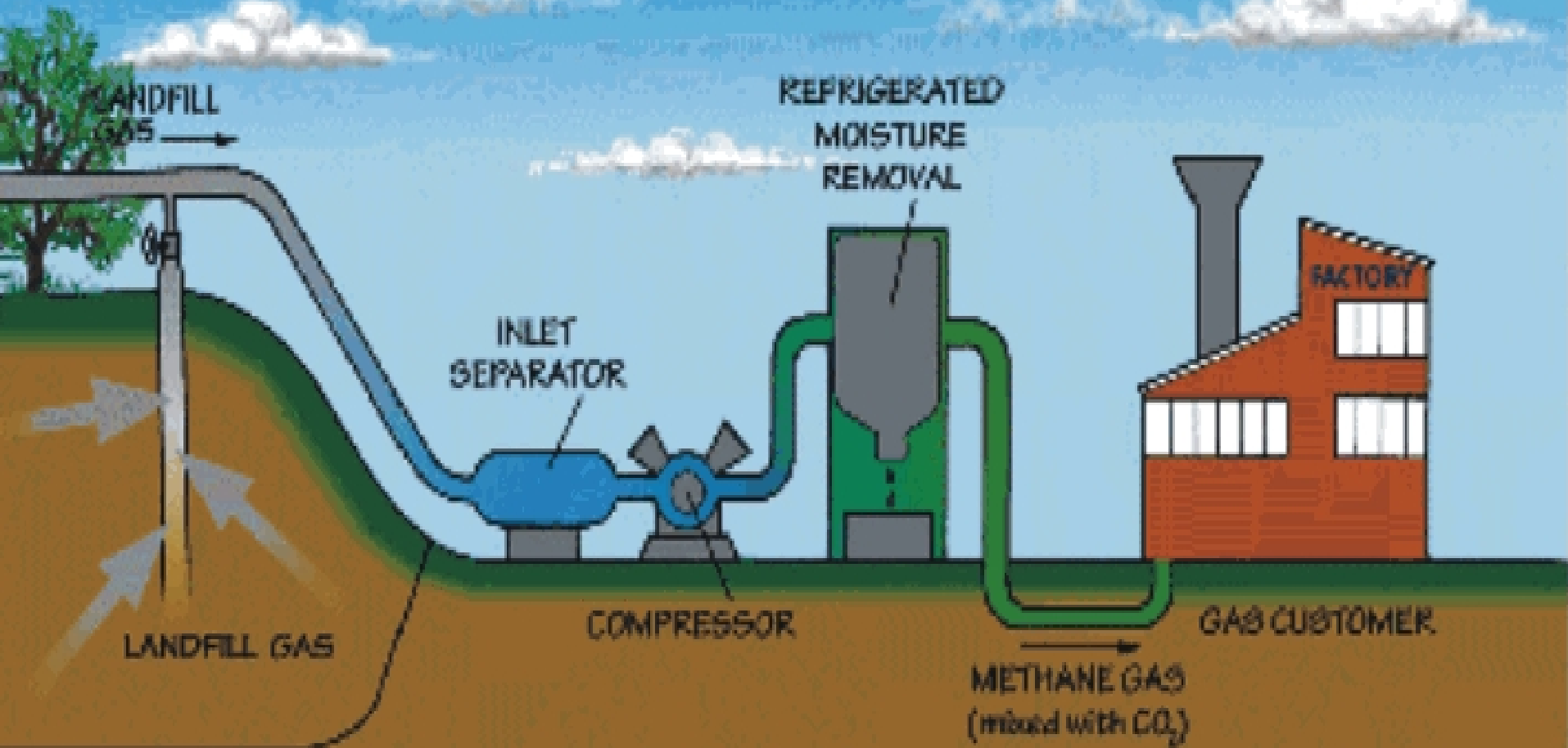
# Panorama Internacional do Aproveitamento Energético do Lixo

- ~1000 usinas em aterros
- ~ 700 usinas de incineração
- ~ 150 usinas de digestão anaeróbica
- ~ 150 usinas de outras 100 tecnologias

Geração de 90 TWh ~ Setor Residencial BR

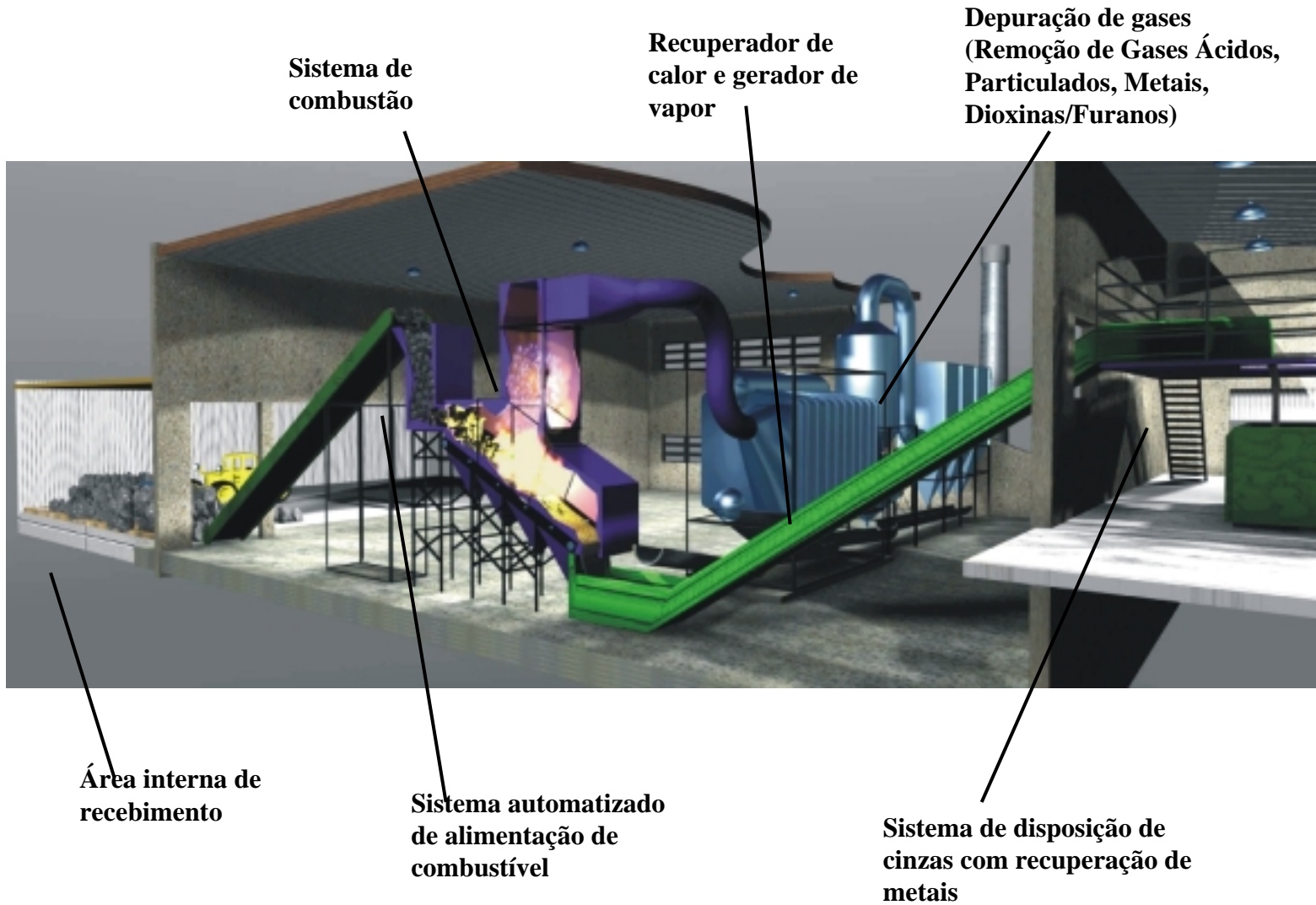
Participação nas Matrizes Energéticas < 4%

# BIOGÁS



Recuperação só onde já existe aterro

# INCINERAÇÃO



# CARACTERÍSTICAS

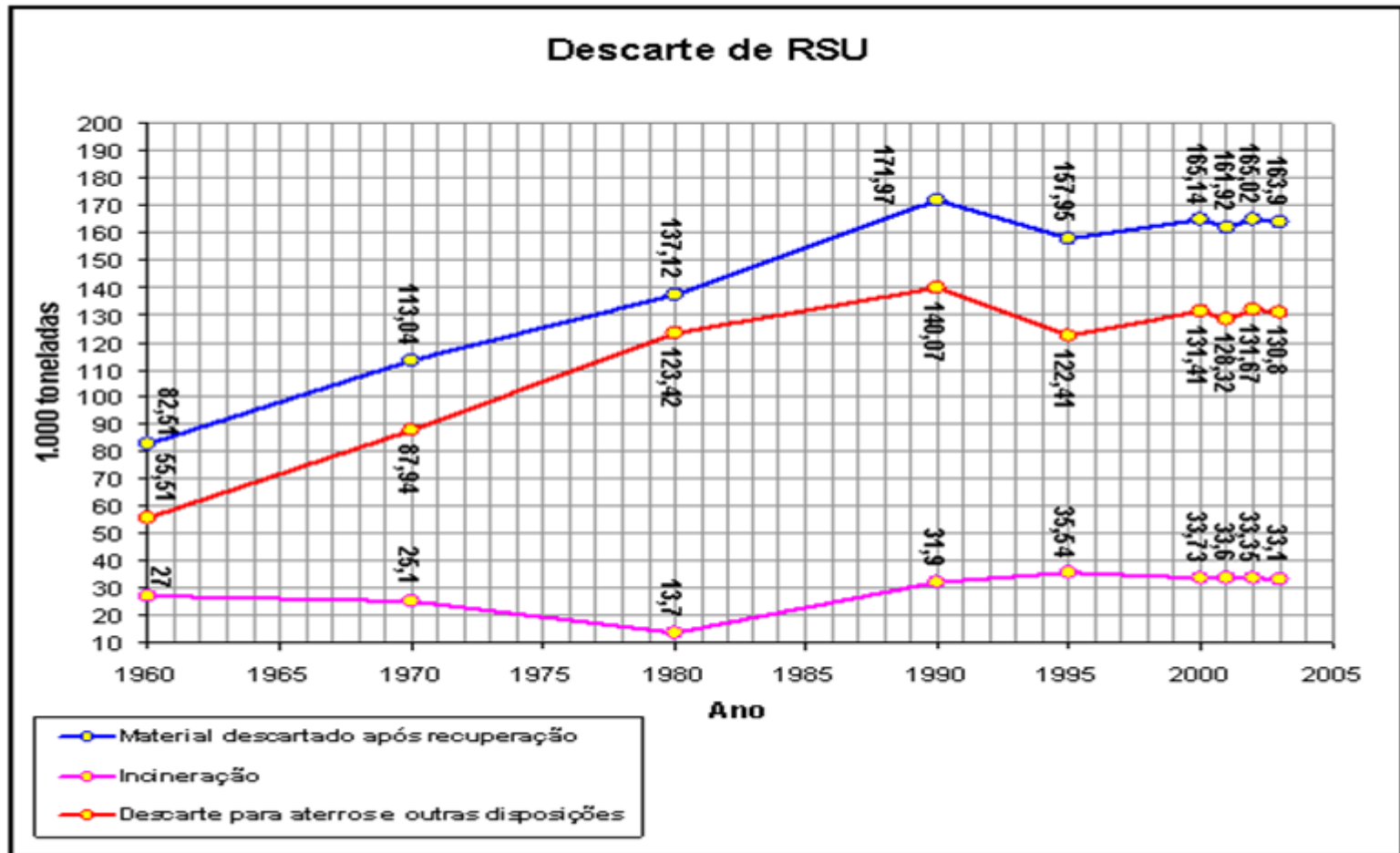
- **Câmara Primária**

- Temperaturas entre 500°C e 900°C para evitar a volatilização de metais pesados (Pb, Cd, Cr e Hg)
- Baixa quantidade de oxigênio (O<sub>2</sub>) para evitar a elevação da temperatura
- Minimiza a formação de óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>)
- Redução da parte sólida de 4 a 8% do volume original

- **Câmara Secundária**

- Excesso de O<sub>2</sub> e temperatura entre 1000°C e 1250°C
- Oxidação completa dos gases à CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O
- Nesta temperatura a probabilidade da existência de dioxinas e furanos é quase nula

# Evolução do tratamento EUA

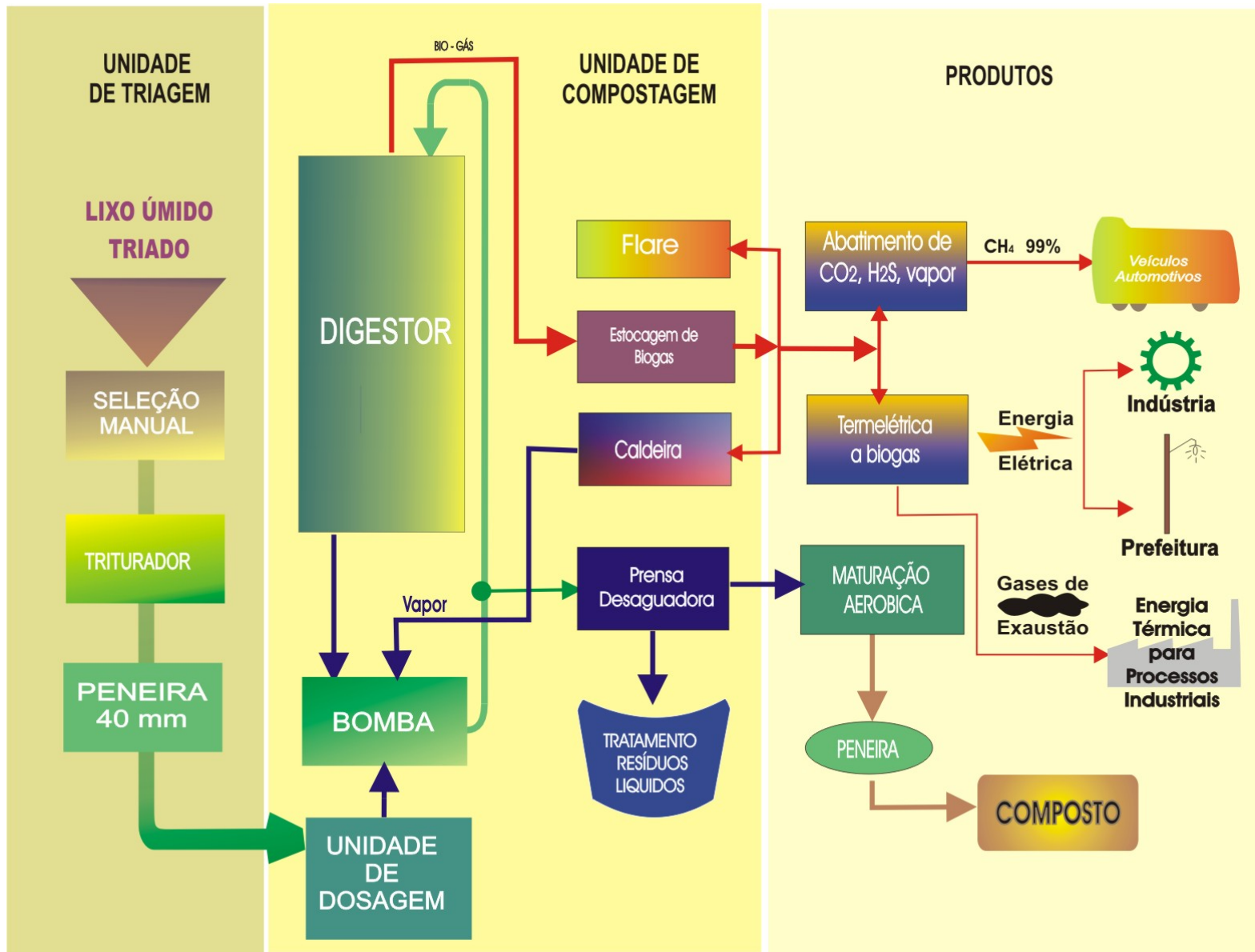


# Emissões de dioxinas EUA

Fonte:	1987	%	1995	%	2002	%
<b>Incineração de RSU (WTE)</b>	<b>8877</b>	<b>63,5</b>	<b>1250</b>	<b>39</b>	<b>12</b>	<b>1,09</b>
Incineração Lixo Hospitalar	2590	18,5	488	15	7	0,64
Incineração de Resíduos do Esgoto	6	0,0	14	0	14	1,27
Incineração de Lixo Tóxico	5	0,0	5	0	3	0,27
<b>Incineração a céu aberto</b>	<b>604</b>	<b>4,3</b>	<b>628</b>	<b>19</b>	<b>628</b>	<b>57,14</b>
Fundições de Metais	995	7,1	301	9	35	3,18
Usinas de Cimento	131	0,9	173	5	25	2,27
Resíduos de Esgoto em Aterros	76	0,5	76	2	76	6,92
Indústria de Papel e Celulose	372	2,7	23	1	15	1,36
Usinas a Carvão	50	0,4	60	2	60	5,46
Queima de Madeira em Residências	89	0,6	62	2	62	5,64
Queima de Madeira em Indústrias	26	0,2	27	1	27	2,46
<b>Caminhões a Diesel</b>	<b>27</b>	<b>0,2</b>	<b>35</b>	<b>1</b>	<b>35</b>	<b>3,18</b>
Outros	137	1,0	103	3	100	9,10
<b>TOTAL</b>	<b>13.985</b>	<b>100</b>	<b>3.245</b>	<b>100</b>	<b>1.099</b>	<b>100</b>

Fonte: EPA, 2003

# DIGESTÃO ANAERÓBICA



# CARACTERÍSTICAS DRANCO

- Tecnologia belga em operação desde 1982
- Utiliza fração orgânica no estado sólido com fermentação termofílica (55°C), que gera:
- **Adubo (húmus), metano (CH<sub>4</sub>) e CO<sub>2</sub> renovável**
- Enquanto seguem para a reciclagem:
- Vidros, metais e cerâmicas
- E são encaminhados para a fabricação de briquetes:
- Plásticos (PE), papéis e papelão

# DRANCO & CAJU



# SUB-PRODUTO



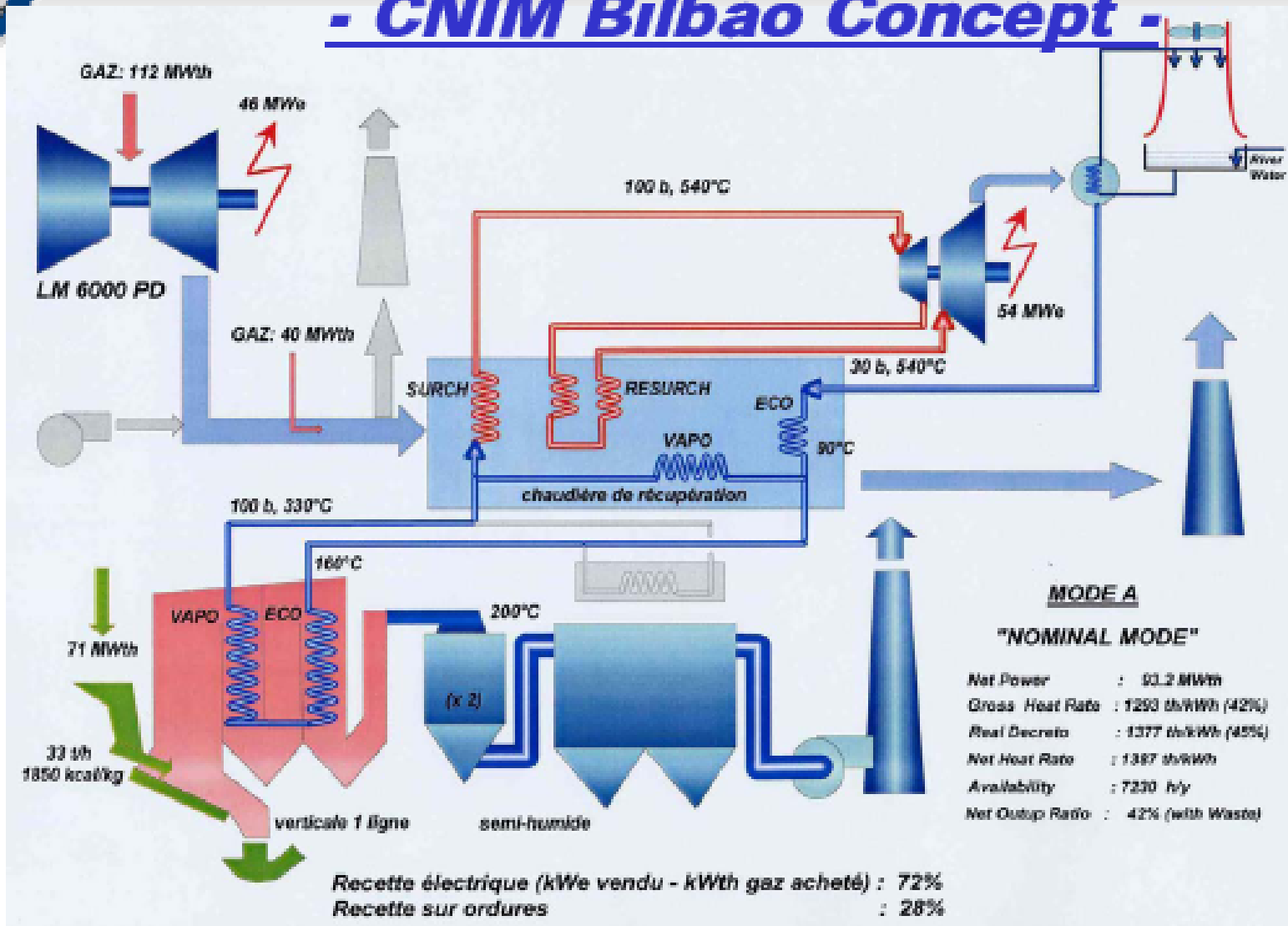
**Adubo Orgânico, capaz de  
elevar o valor dos  
alimentos em até 30%**

**É PRECISO ESCOAR A PRODUÇÃO**



# Combined WtE / Natural Gas Turbine

## - CNIM Bilbao Concept -



# ZABALGARBI



# DESCRIÇÃO DO PROCESSO

- UTE CC GN = 71 MW
- WTE = 15 MW
- BÔNUS RSU = 7 MW
- ENERGIA TOTAL = 100 MW
- ENERGIA ÚTIL = 93 MW
- GN → 76%
- RSU → 16%
- BÔNUS RSU → 7,5%

# BENEFÍCIOS BRASILEIROS

- **RESOLUÇÃO ANEEL 271/07:** ISENÇÃO DE TUST E TUSD, NA VENDA E NO CONSUMO PARA USINAS DE ATÉ 30 MW COM MAIS DE 50% DA ENERGIA PRODUZIDA POR BIOMASSA DE LIXO E/OU ESGOTO;
- **BNDES:** FUNDO PARA EMPREENDIMENTOS COM DIREITOS A CRÉDITOS DE CARBONO;
- **DECRETO ERJ 41318/08:** LO DEPENDE DE COMPENSAÇÃO ENERGÉTICA DE 2 A 4% EM POTÊNCIA RENOVÁVEL + 1% EE;
- **PCLT ERJ:** FECAM GARANTE RECEITA A DESTINAÇÃO ADEQUADA;
- **DECRETO FEDERAL:** COMPENSAÇÃO UTE À FÓSSEIS – AUTORIZA (RE)FLORESTAMENTO.

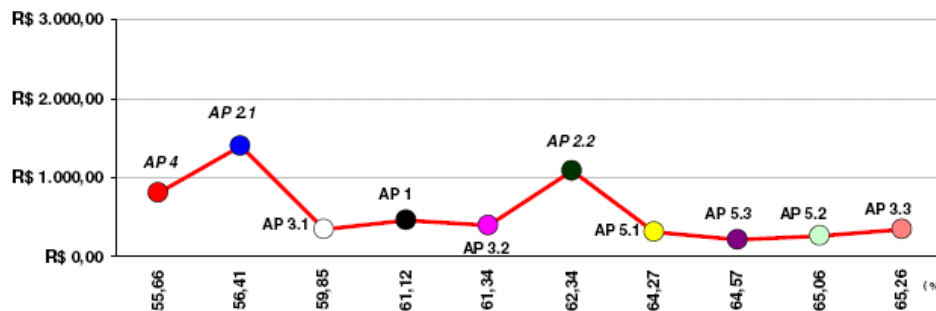
# DESCRIÇÃO DO PROCESSO

- UTE CC GN = 2,2 MW (5 MW th) ← Mesma população:  
1MW a 1,3 MW (com Glicerol)
- WTE = 4,4 MW (250 t RSU/d)
- BÔNUS RSU = 2,2 MW
- ENERGIA TOTAL = 8,8 MW
- ENERGIA ÚTIL = 7,5 MW
- GN = 15% → Possibilidade de utilizar efluentes das ETE
- RSU = 58%
- BÔNUS RSU = 27%

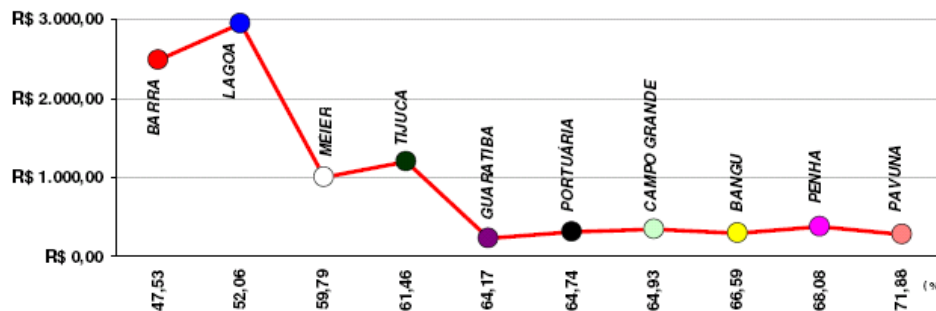
# GRAVIMETRIA

- **MÉDIA NACIONAL (IPT, 1998)**
  - 60% RESTOS ALIMENTARES
  - 30-35% PAPÉIS, PLÁSTICOS, VIDROS, METAIS
  - 5-10% INERTES
- **CORRELAÇÃO COM LURB 2006**

RENDA PER CAPTA MÉDIA POR AP (R\$) x MATÉRIA ORGÂNICA (%)



RENDA PER CAPTA MÉDIA POR BAIRRO (R\$) x MATÉRIA ORGÂNICA (%)



# RECICLAGEM

<i>MATERIAL</i>	<i>ENERGIA CONSERVÁVEL (MWh/t reciclável)</i>			
	<i>Morris</i>	<i>Calderoni</i>	<i>Warnken Ise</i>	<i>EPA</i>
<i>METAL</i>	3,25	5,3	2,67	5,85
<i>VIDRO</i>	0,08	0,64	1,25	0,62
<i>PAPEL</i>	1,75	3,51	1,37	2,95
<i>PLÁSTICO</i>	5,55	5,06	5,91	15,39

# POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RSU

- **RECICLAGEM** -----→ 1,06 - 2,57 MWh<sub>e</sub> / t RSU
- **GÁS DE ATERRO** -----→ 0,1 - 0,2 MWh<sub>e</sub> / t RSU
- **DIGESTÃO ANAERÓBICA** -----→ 0,2 - 0,3 MWh<sub>e</sub> / t RSU
- **INCINERAÇÃO CONVENCIONAL** -----→ 0,4 – 0,6 MWh<sub>e</sub> / t RSU
- **RSU + GN (GDL)** -----→ 0,8 - 0,9 MWh<sub>e</sub> / t RSU
- **USINAVERDE** -----→ 0,35 MWh<sub>e</sub> / t RSU

# OTIMIZAÇÃO

- RECICLAR TUDO E
- APLICAR DIGESTÃO ANAERÓBICA À FO:

## POTENCIAL

- SE A PRODUÇÃO ATUAL FOR DE 50 Mt/a

$$= 50 \times (1,06 + 0,2) + 15\% = 63 + 9 = 72 \text{ TWh}$$

- 80% DE ITAIPU
- RECICLAGEM ~ 85%

# PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – PEE/ANEEL

- DISTRIBUIDORAS DE ELETRICIDADE SÃO OBRIGADAS A INVESTIR 0,5% DE SUAS RECEITAS OPERACIONAIS;
- RECICLAGEM PROMOVE EFICIÊNCIA;
- PRIMEIRO PROJETO APRESENTADO À ANEEL FOI O ECO-AMPLA, PARA O CICLO 2009/2010.

# Programa de Eficiência Energética

	MILHÕES DE R\$	GWh	MW	R\$MWh
1998/1999	196	755	250	45,95
1999/2000	230	1020	370	39,91
2000/2001	152	894	251	30,09
2001/2002	142	348	85	72,22
2002/2003	154	222	54	122,77
2003/2004	313	489	110	113,28
2004/2005	175	925	275	33,48
2005/2006	296	538	141	<b>97,37</b>
2006/2007	183	293	104	<b>110,54</b>
MÉDIA	207,25	648,875	192	<b>56,53</b>
TOTAL	<b>1.841</b>	<b>5.484</b>	<b>1.640</b>	

Fonte: Garcia, A.G.P., 2008

# RECEITA POTENCIAL

<i>MATERIAL</i>	<i>DA ENERGIA CONSERVÁVEL (R\$/t reciclável)</i>			
	<i>Morris</i>	<i>Calderoni</i>	<i>Warnken Ise</i>	<i>EPA</i>
<i>METAL</i>	<i>411</i>	<i>670</i>	<i>338</i>	<i>740</i>
<i>VIDRO</i>	<i>10</i>	<i>81</i>	<i>158</i>	<i>78</i>
<i>PAPEL</i>	<i>221</i>	<i>444</i>	<i>173</i>	<i>373</i>
<i>PLÁSTICO</i>	<i>702</i>	<i>640</i>	<i>748</i>	<i>1.947</i>

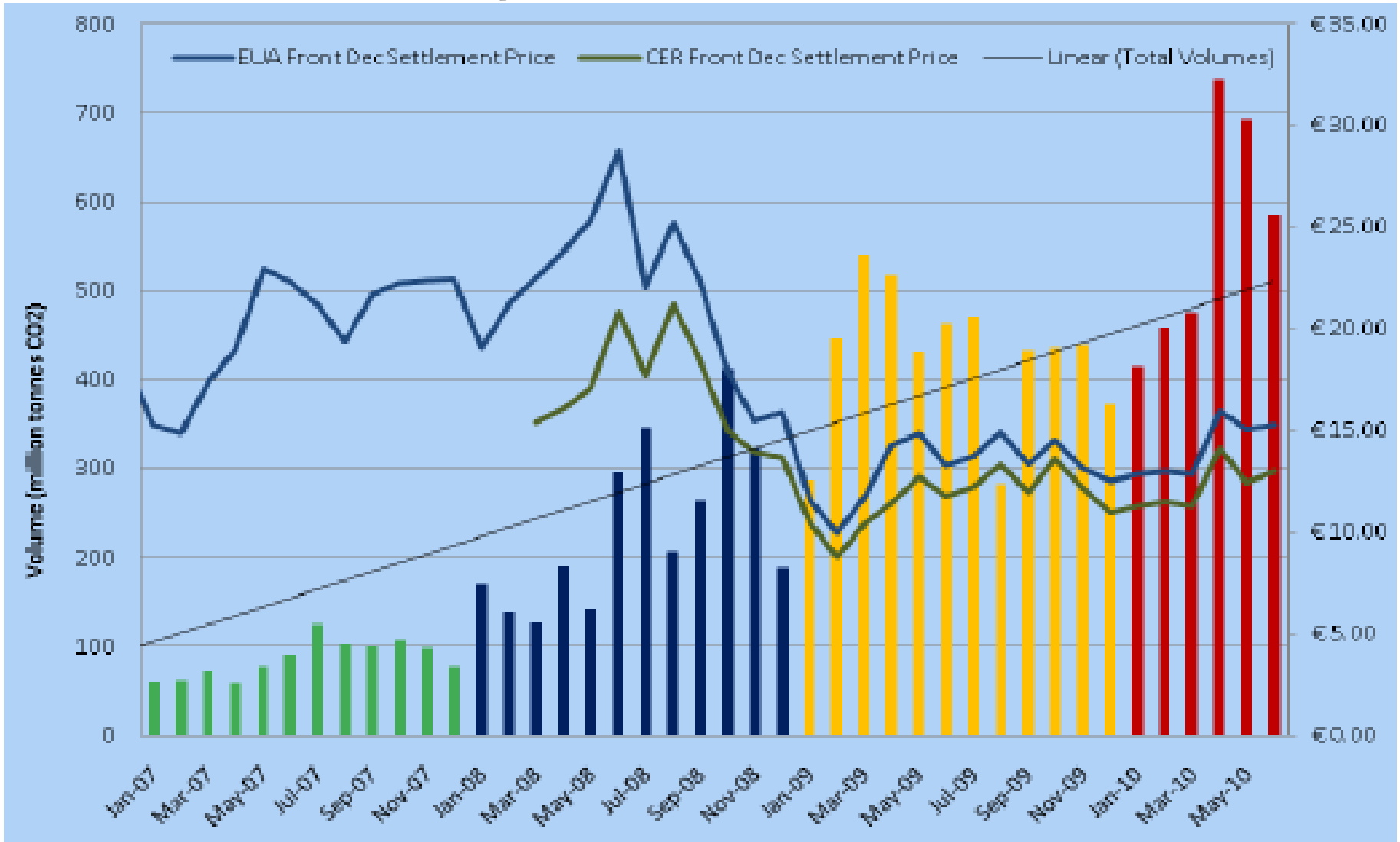
# EFEITO ESTUFA

- AQUECIMENTO CAUSADO PELA PRESENÇA DE GASES QUE IMPEDEM A PASSAGEM DO CALOR PELA ATMOSFERA;
- PRINCIPALMENTE CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC...;
- PROVENIENTES DE QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS, RESÍDUOS, DESMATAMENTO, AGROPECUÁRIA, INDÚSTRIA

# Benefícios da Reciclagem (/t)

MATERIAL		PAPEL	PLÁSTICO	VIDRO	METAL	
GASES DE EFEITO ESTUFA	DIÓXIDO DE CARBONO (kg CO <sub>2</sub> )	Menores Fatores	127	1.140	32	1110
		Maiores Fatores	325	3.467	498	2.432
	METANO (kg CO <sub>2</sub> eq)	2.445				
	TOTAL (kg CO <sub>2</sub> eq)	2.572 a 2.770	1.140 a 3.467	32 a 498	1.110 a 2.432	

# EVOLUÇÃO \$ CARBONO



Fonte: European Climate Exchange

# Benefícios da Reciclagem (R\$/t)

MATERIAL		PAPEL	PLÁSTICO	VIDRO	METAL	
GASES DE EFEITO ESTUFA	DIÓXIDO DE CARBONO	Menores Fatores	5	44	1	43
		Maiores Fatores	13	135	19	95
	METANO	95				
	TOTAL	100 a 108	44 a 135	1 a 19	43 a 95	

# USINA CCO

---

## Características técnicas:

Potência: 30 MW  
 Eficiência: 92%  
 Energia: 241.776 MWh/ano

## Parâmetros financeiros:

Investimento: R\$ 420 milhões (IVIG/COPPE, 2005)  
 Desembolso: 50% - 50% anos 1 e 2  
 Financiamento: 80% BNDES  
 Taxa: 8% (selic 6,25% + remuneração 1% + 0,75 risco)  
 Prazo  
 financiamento: 14 anos  
 Carência: 6 meses  
 Início Operação: 2º ano  
 O&M: 10% investimento (R\$/kW.ano)  
 Depreciação: 20 anos

## Tributos:

PIS: 1,65  
 Cofins: 7,6  
 Tfsee: 1,52  
 P&D: 1%  
 IR: 25%  
 CSLL: 9%

## Resultados

Taxa Interna de Retorno	Preço energia (R\$/MWh)		
	Receita RSU	Carbono + Conservação	Total
10%	345,44	290,93	232,31
15%		308,59	255,51

**SEM  
 CONSIDERAR  
 RECEITA DA  
 CONSERVAÇÃO  
 DE ENERGIA**

# Digestão Anaeróbica

---

## Características técnicas:

Potência: 850 kW  
 Eficiência: 92%  
 Energia: 6.850 MWh/ano

## Parâmetros financeiros:

Investimento: R\$ 30 milhões (IVIG/COPPE, 2005)  
 Desembolso: 50% - 50% anos 1 e 2  
 Financiamento: 80% BNDES  
 Taxa: 8% (selic 6,25% + remuneração 1% + 0,75 risco)  
 Prazo  
 financiamento: 14 anos  
 Carência: 6 meses  
 Início Operação: 2º ano  
 O&M: 10% investimento (R\$/kW.ano)  
 Depreciação: 20 anos

## Tributos:

PIS: 1,65  
 Cofins: 7,6  
 Tfsee: 1,52  
 P&D: 1%  
 IR 25%  
 CSLL 9%

## Resultados:

Taxa Interna de Retorno	Preço energia (R\$/MWh)		
	Receita RSU	MDL Metano	RSU + MDL Metano
10%	448,98	440,27	- 84,67

# Muito Grato!



Luciano Basto: [luciano@ivig.coppe.ufrj.br](mailto:luciano@ivig.coppe.ufrj.br)