



**Promoção:** Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação – PROPP – da FEEVALE

# **Tecnologias sustentáveis para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos**

**Geraldo Antônio Reichert**

Engenheiro do DMLU de Porto Alegre

Professor da Universidade de Caxias do Sul – UCS

Coordenador da Câmara Temática de Resíduos Sólidos da ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental

**Novo Hamburgo, RS – 2 e 3 de junho de 2015**



# Perigo: instalações “elefante branco”



# Tecnologias de tratamento de RSU

- Mais usadas
    - Aterro sanitário
    - **Compostagem**
    - Reciclagem
  - Novas tecnologias
    - Digestão anaeróbia (processo biológico)
    - **Autoclave (para RSU)**
    - Incineração
    - CDR – Combustível Derivado de Resíduo
    - Gaseificação
    - Pirólise
    - Plasma
  - Em pesquisa
    - Produção de etanol de RSU (hidrólise)
    - Depolimerização
- (processos térmicos)





Qual a melhor tecnologia?

Qual a pior?

Existe tecnologia ruim?

Existe alguma tecnologia que resolva sozinho?

Há que considerar:

- consistência técnica e operacional
- aspectos ambientais
- custos
- questões sociais

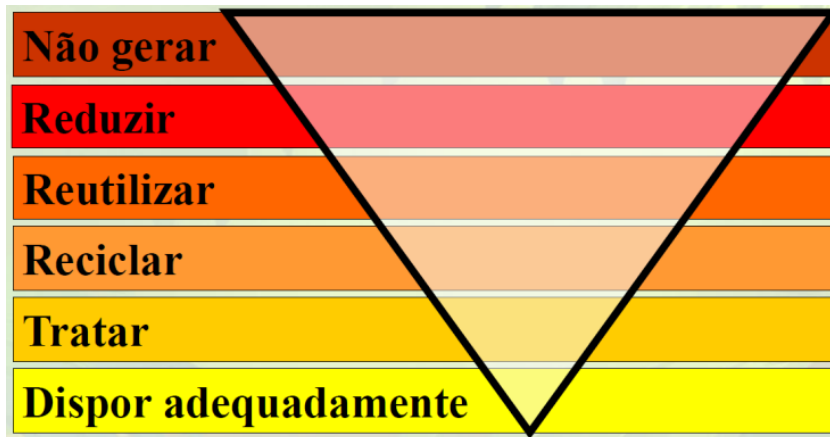
Mais que em tecnologias, temos que focar no  
**CONCEITO de gerenciamento integrado**

## Gerenciamento integrado

É uma forma diferenciada de manejo de resíduos, que combina diferentes métodos de coleta e tratamento para lidar com todos os materiais no fluxo de geração e descarte de resíduos, de maneira ambientalmente efetiva, economicamente viável e socialmente aceitável.

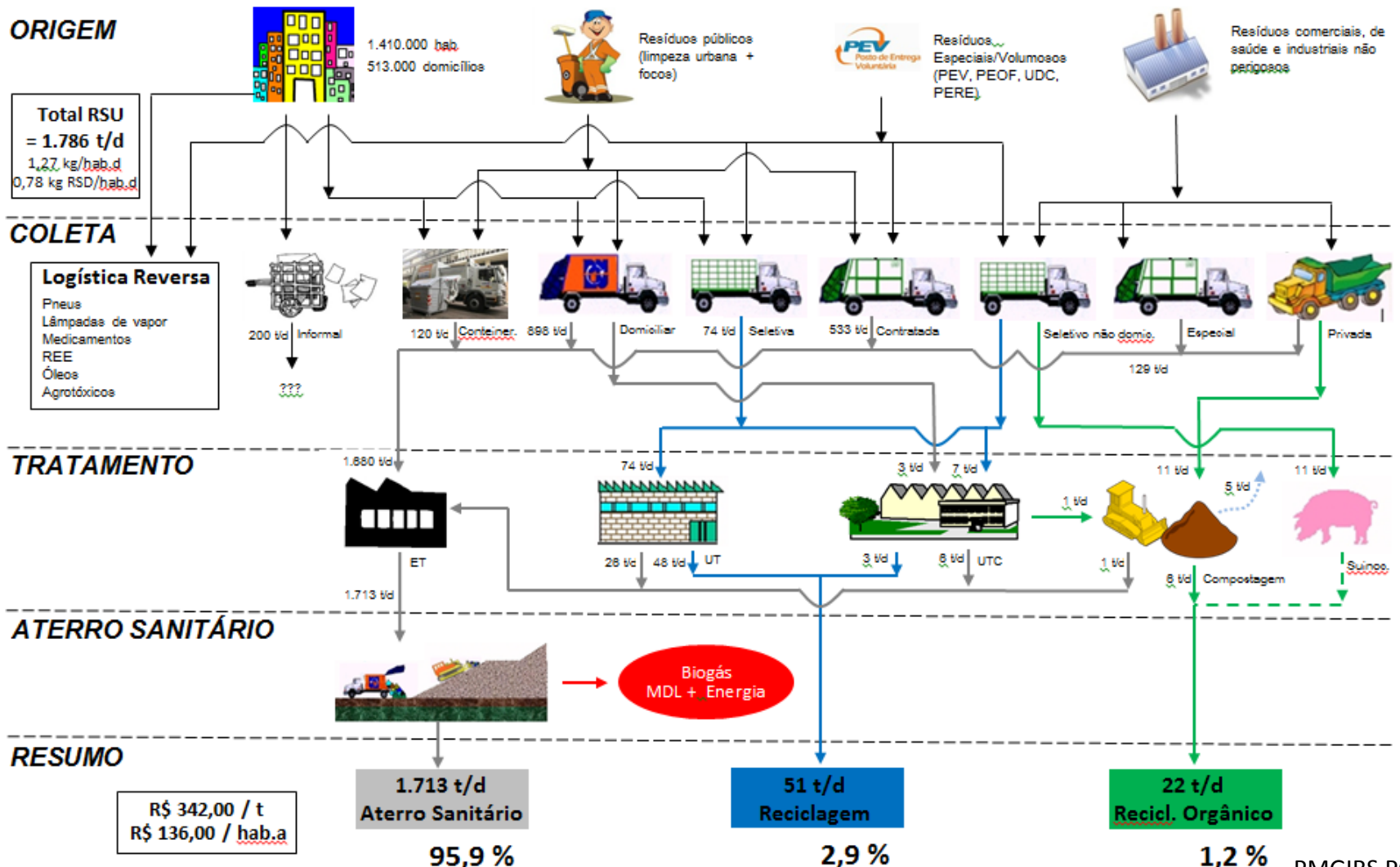
White *et al.* (1995)

Gerenciamento integrado



# Como avaliar e escolher o melhor cenário de gerenciamento de RSU?

## FLUXOGRAMA GIRSU DE PORTO ALEGRE, RS - 2011



Fonte: PMGIRS POA, 2013



# Metas do (Pré)Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Redução de recicláveis para aterro)



## META 3 - Redução dos resíduos recicláveis secos dispostos em aterro, com base na caracterização nacional em 2013 (%)

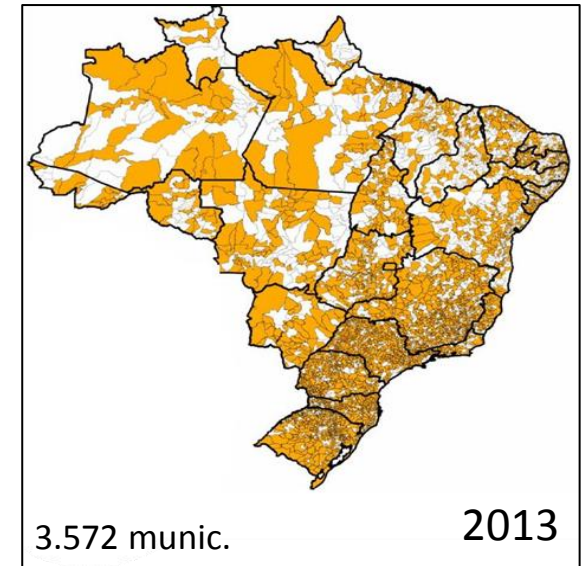
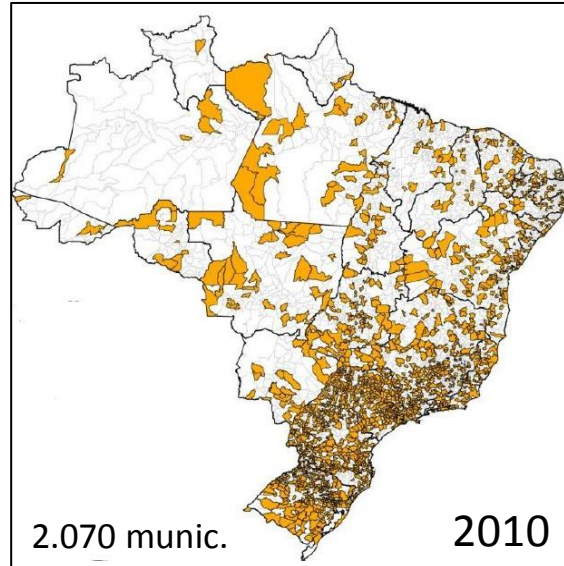
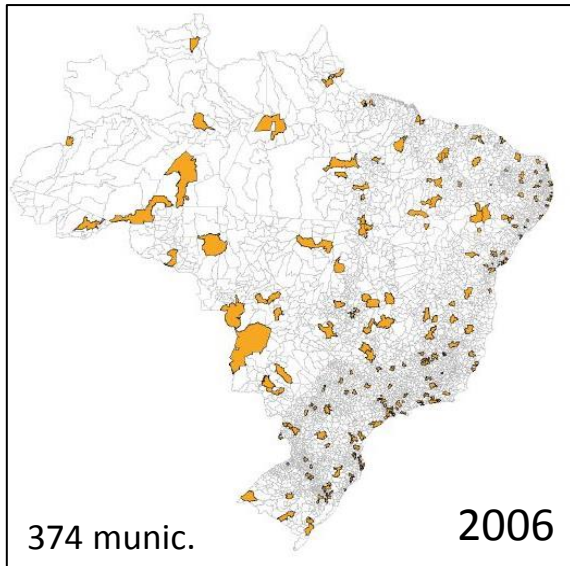
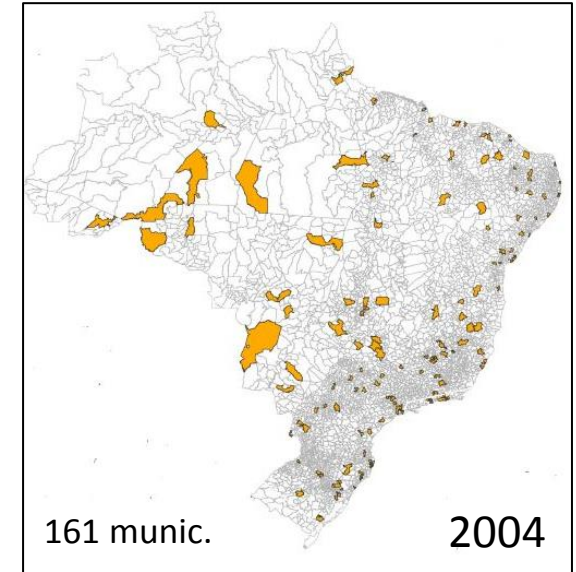
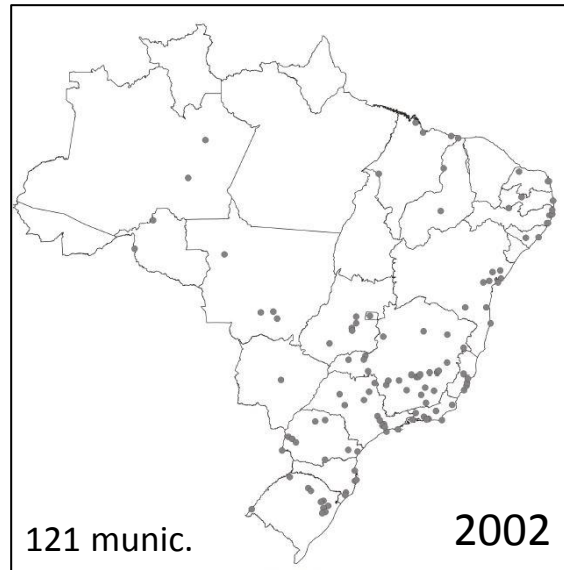
Meta	Região	Plano de Metas				
		2015	2019	2023	2027	2031
Redução dos resíduos recicláveis secos dispostos em aterro, com base na caracterização nacional em 2013	Brasil	22	28	34	40	45
	Região Norte	10	13	15	17	20
	Região Nordeste	12	16	19	22	25
	Região Sul	43	50	53	58	60
	Região Sudeste	30	37	42	45	50
	Região Centro-oeste	13	15	18	21	25

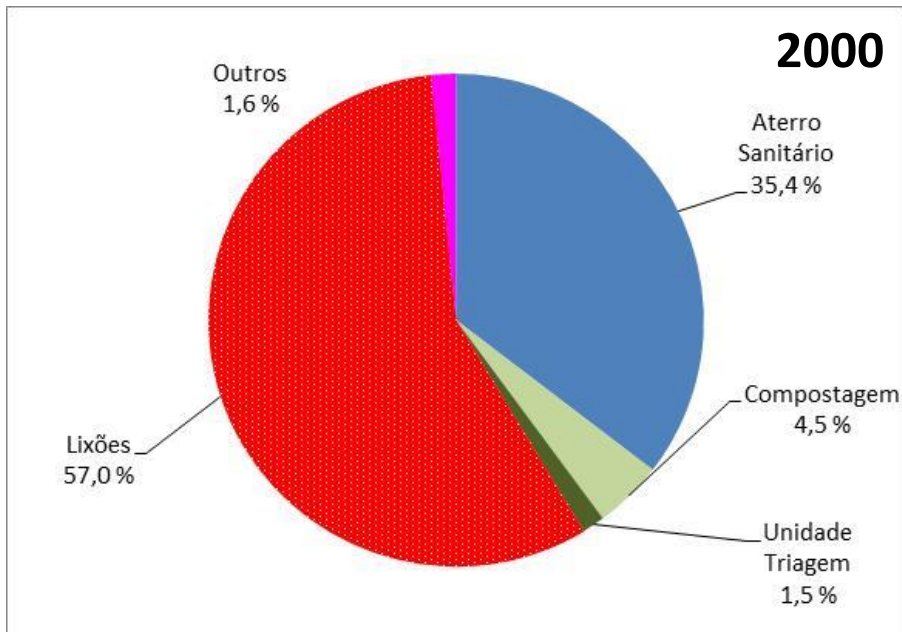
## Meta 4 - Redução do percentual de resíduos úmidos disposto em aterros, com base na caracterização nacional de 2013 (%)

Meta	Região	Plano de Metas				
		2015	2019	2023	2027	2031
Redução do percentual de resíduos úmidos disposto em aterros, com base na caracterização nacional realizada em 2013	Brasil	19	28	38	46	53
	Região Norte	10	20	30	40	50
	Região Nordeste	15	20	30	40	50
	Região Sul	30	40	50	55	60
	Região Sudeste	25	35	45	50	55
	Região Centro-oeste	15	25	35	45	50

# SNIS

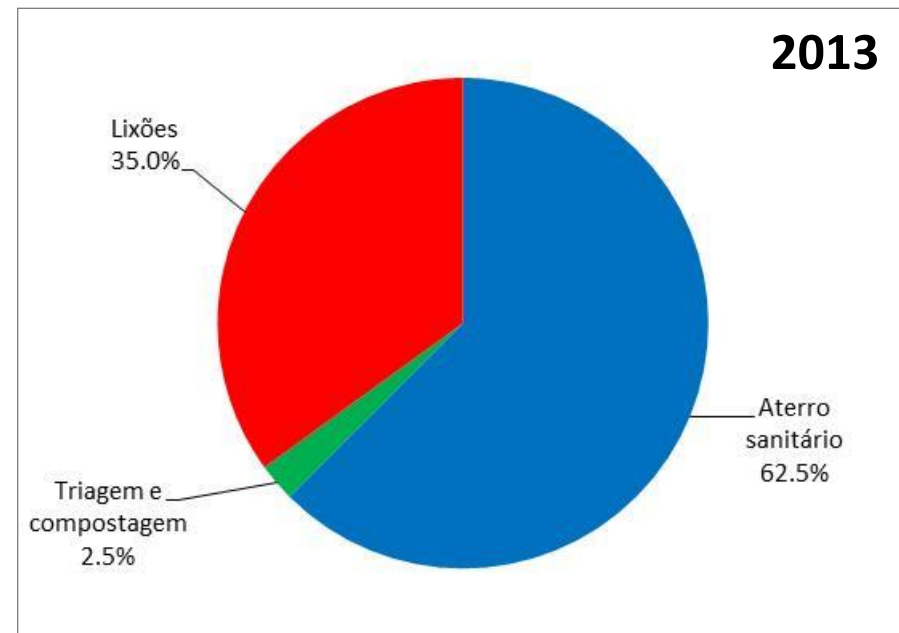
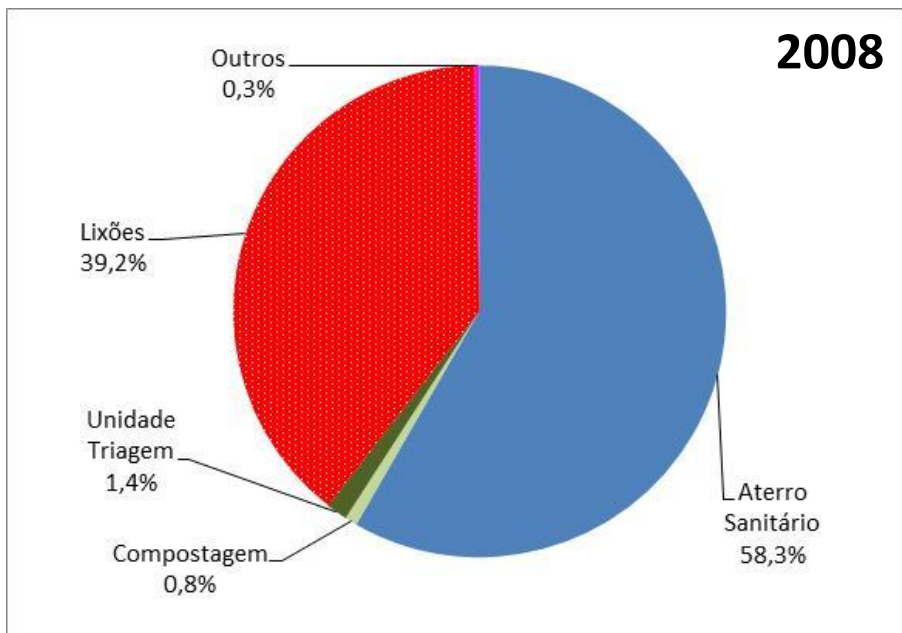
## Distribuição espacial dos municípios amostrados





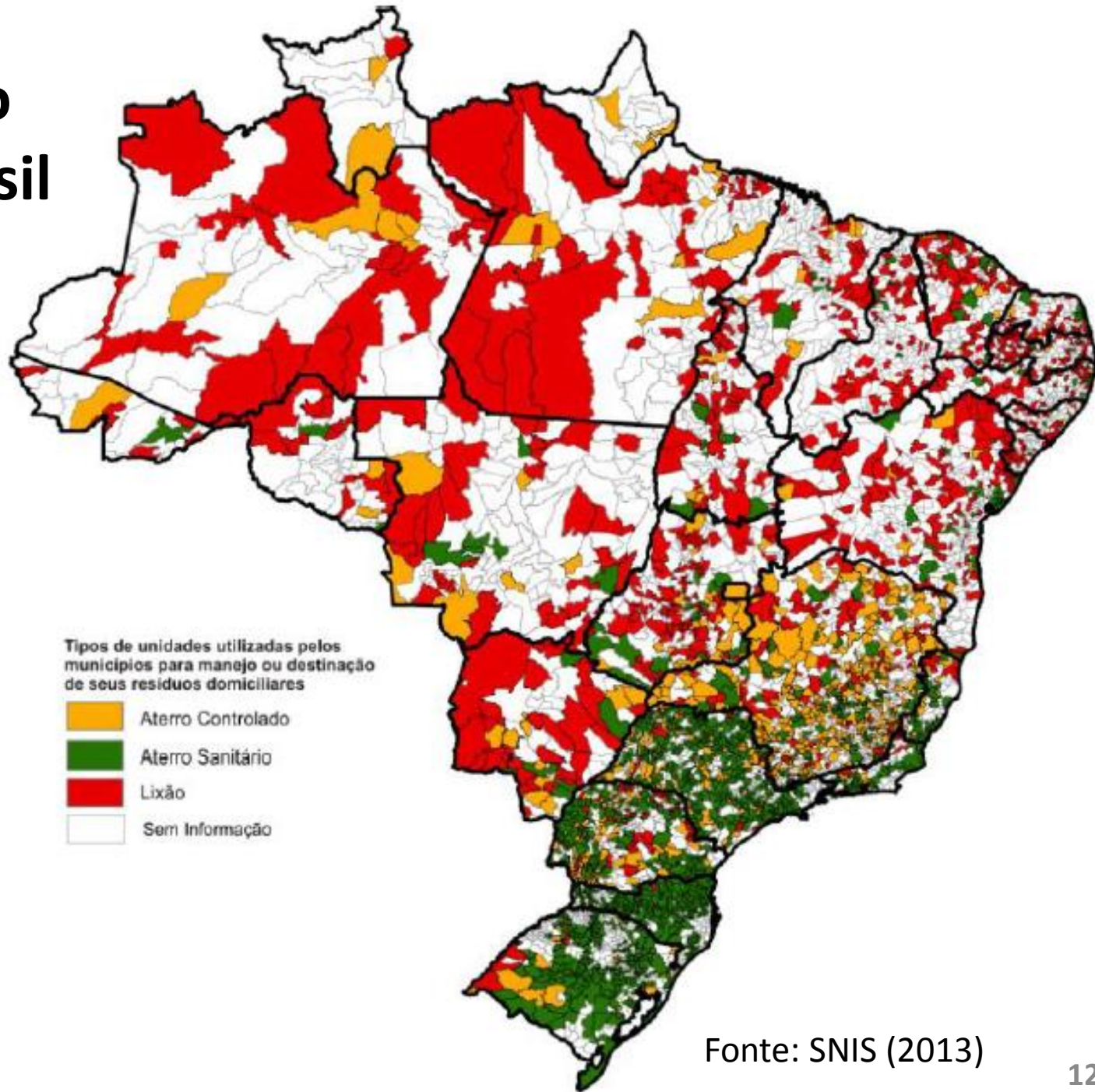
## Destinação final de RSU no Brasil Porcentagem em massa

Fonte: PNSB 2000 e 2008 (IBGE) e SNIS 2013



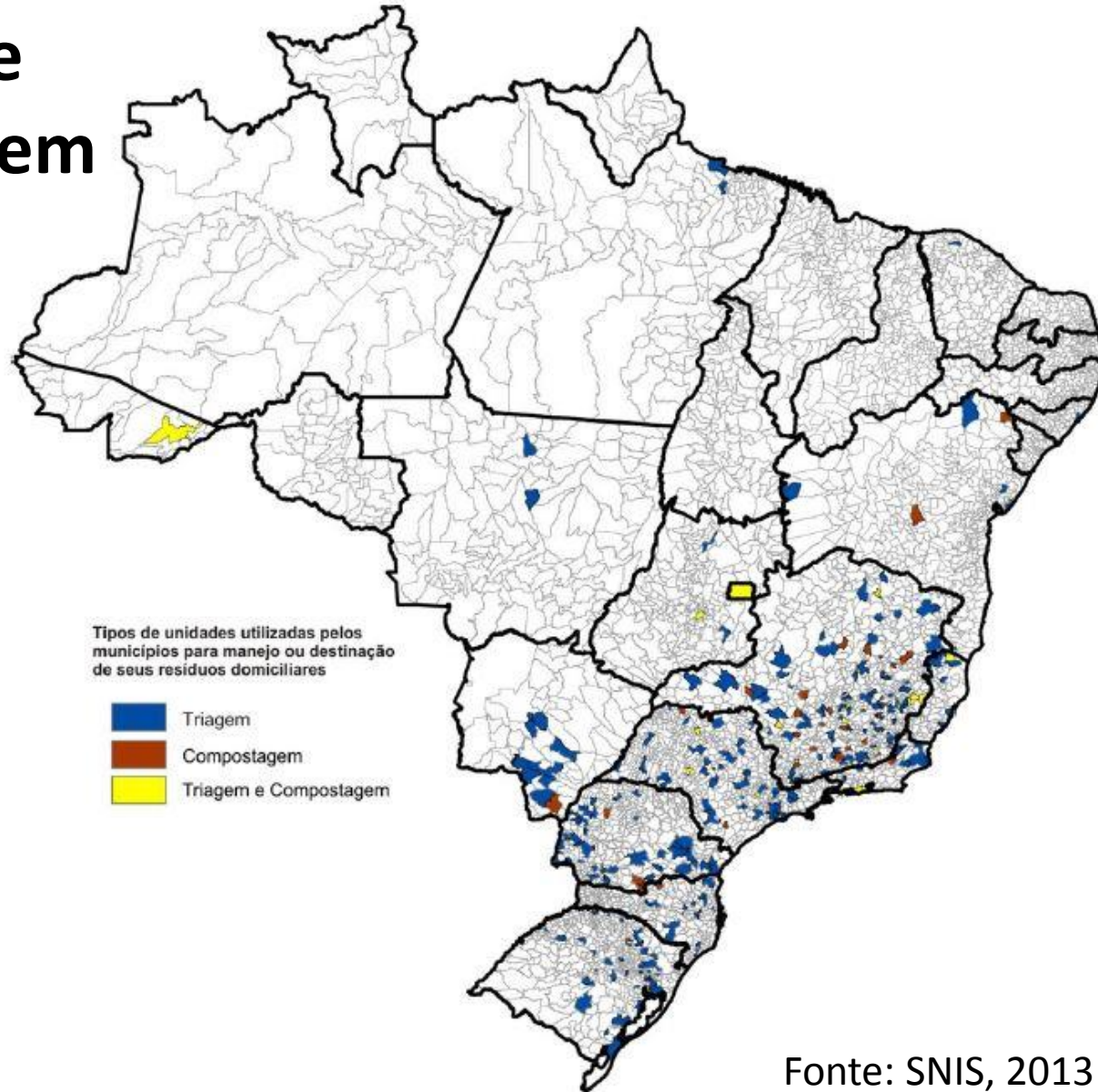


# Disposição final no Brasil



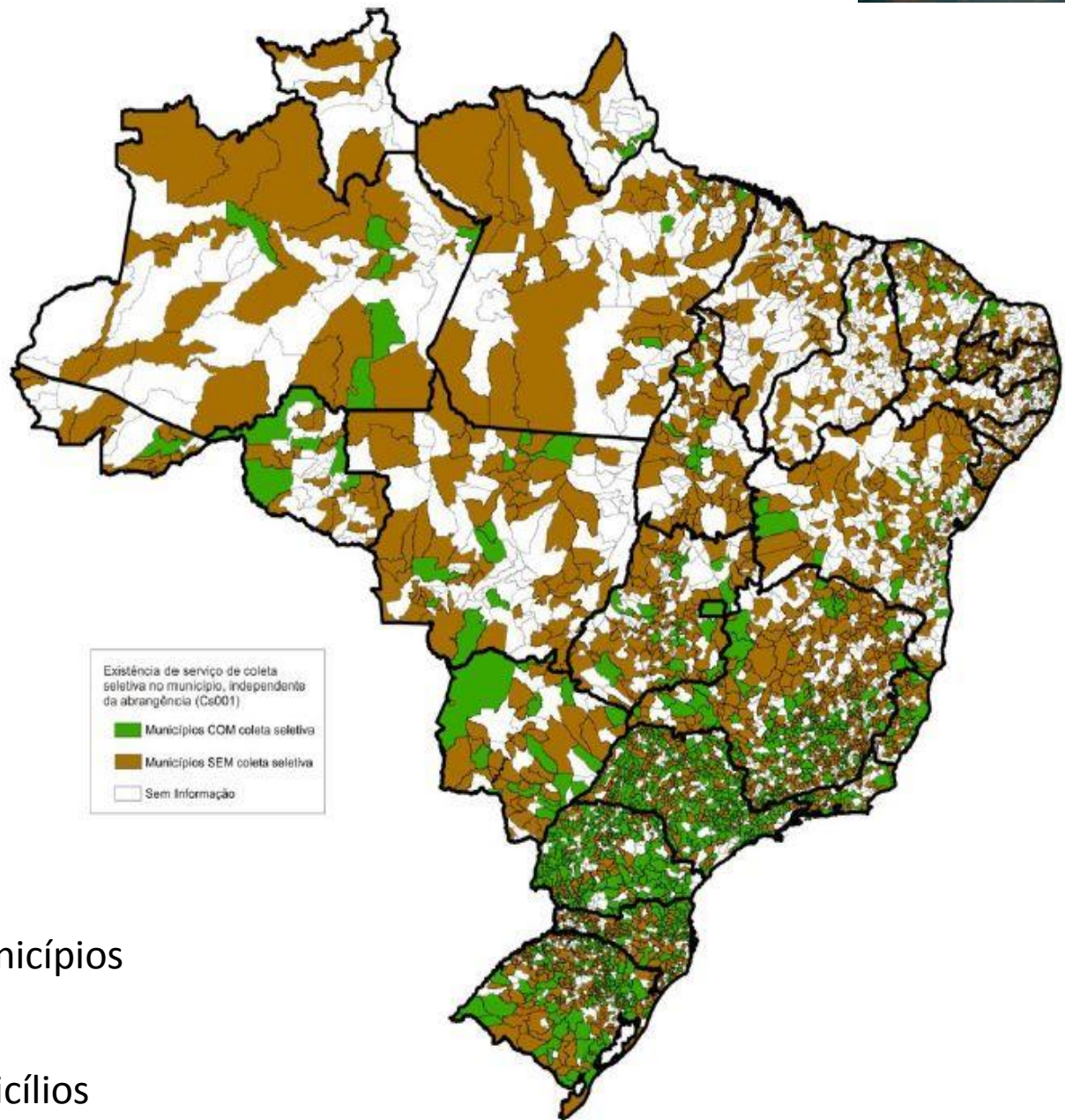


# Existência de triagem e compostagem



Fonte: SNIS, 2013

# Existência de coleta seletiva

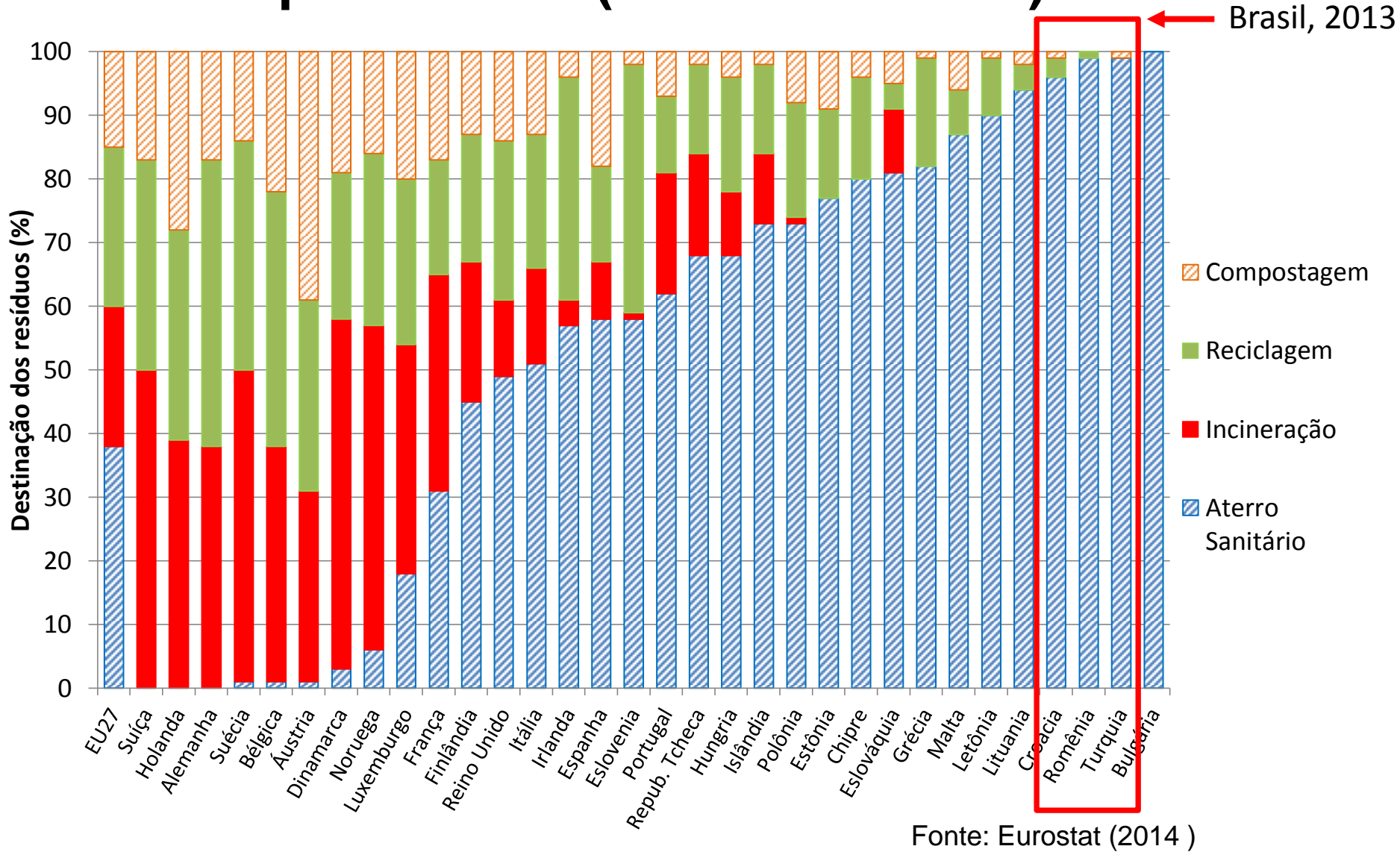


Em 2013 :

- Somente 20,8% dos municípios tinham coleta seletiva
- Somente 3,5% dos domicílios com coleta seletiva

Fonte: SNIS, 2013

# Destinação dos resíduos nos países da Europa em 2010 (em % de massa)



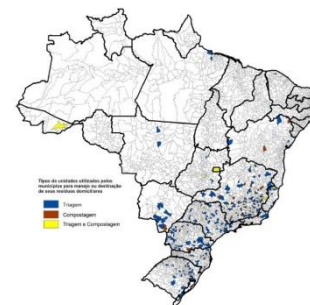
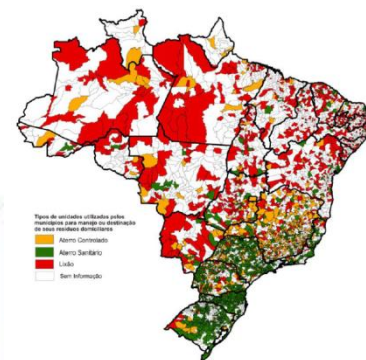


# Existência de cobrança pelos serviços

QUADRO 10.1

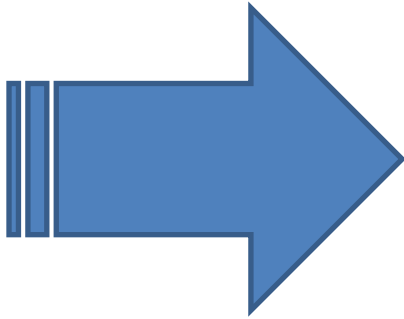
Existência de cobrança pelos serviços regulares de coleta, transporte e destinação final de RSU dos municípios participantes do SNIS-RS 2013, segundo região geográfica

Região	Quantidade de municípios	Percentual de municípios que cobram	Percentual de municípios sem cobrança	Percentual de pop. urbana correspondente aos munic. que cobram
	(municípios)	(%)	(%)	(%)
norte	242	12,4%	87,6%	40,7%
nordeste	862	5,6%	94,4%	30,7%
sudeste	1.248	45,6%	54,4%	56,3%
sul	940	76,5%	23,5%	86,8%
centro-oeste	280	16,4%	83,6%	41,0%
total - 2013	3.572	39,5%	60,5%	53,4%
total - 2012	3.043	41,6%	58,4%	54,2%
total - 2011	2.100	47,0%	53,0%	57,8%



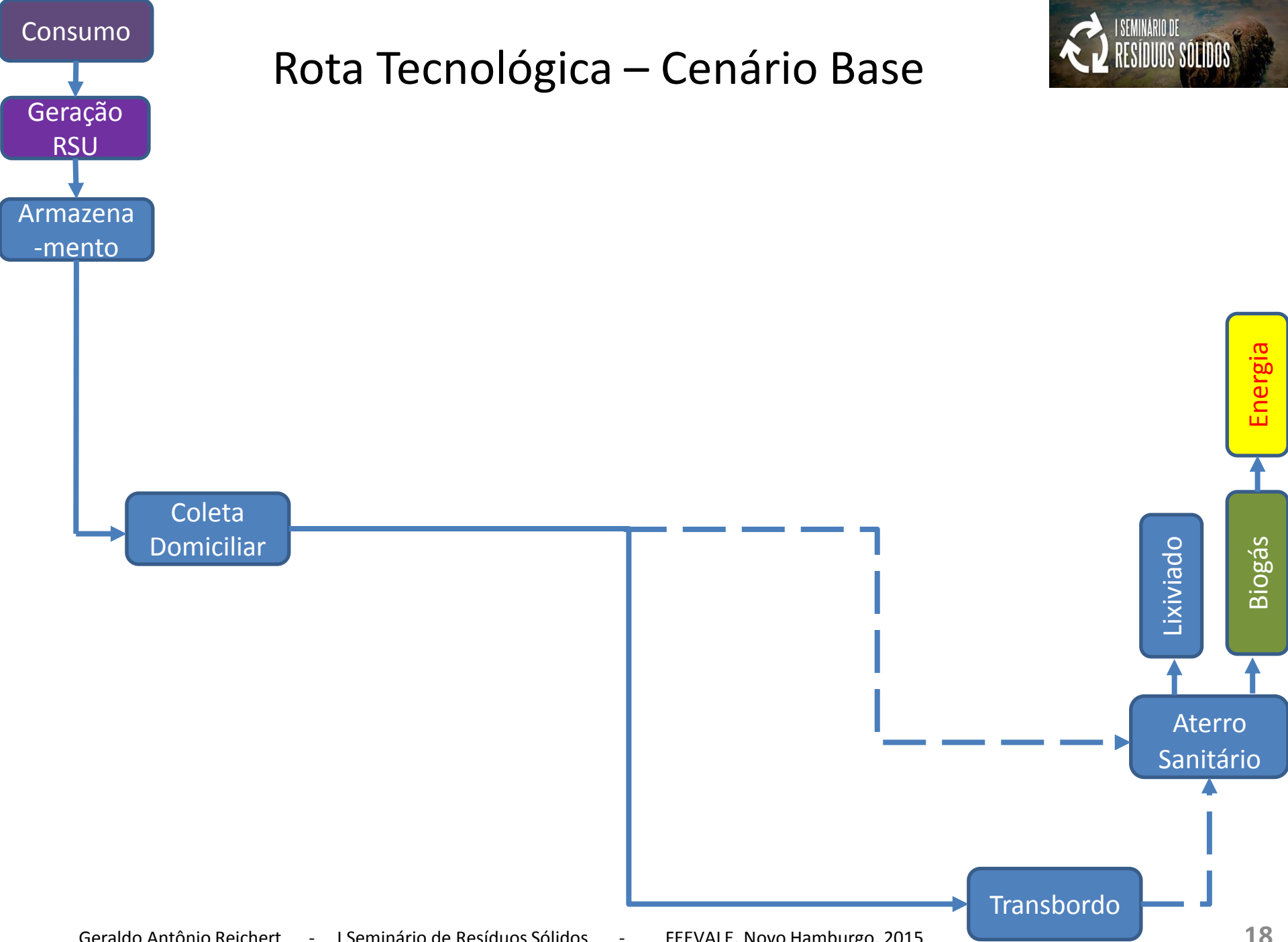


# Quais as possibilidades para o Brasil?

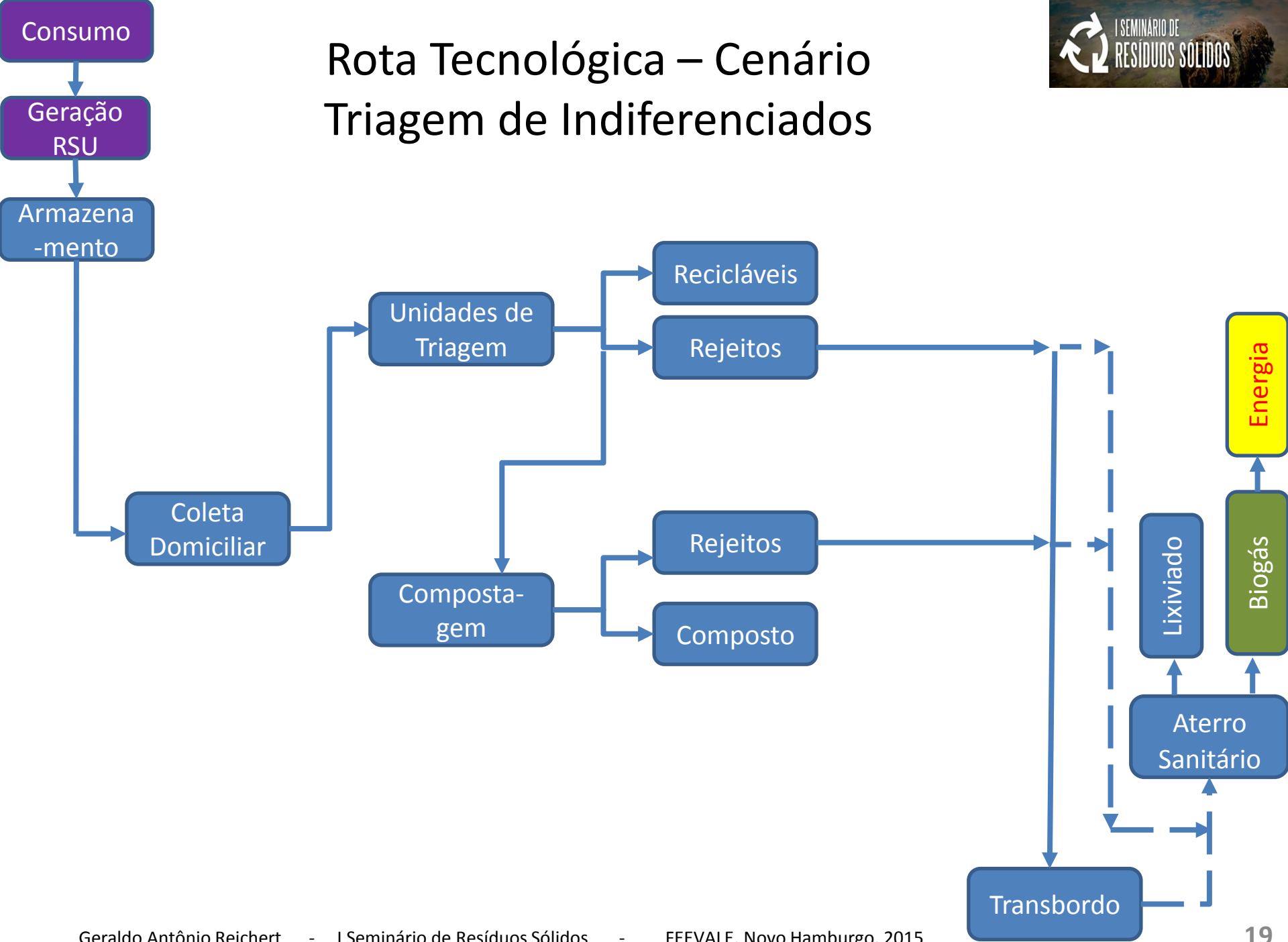


**diferentes novos cenários (ou novas tecnologias ou novas rotas tecnológicas) de gerenciamento...**

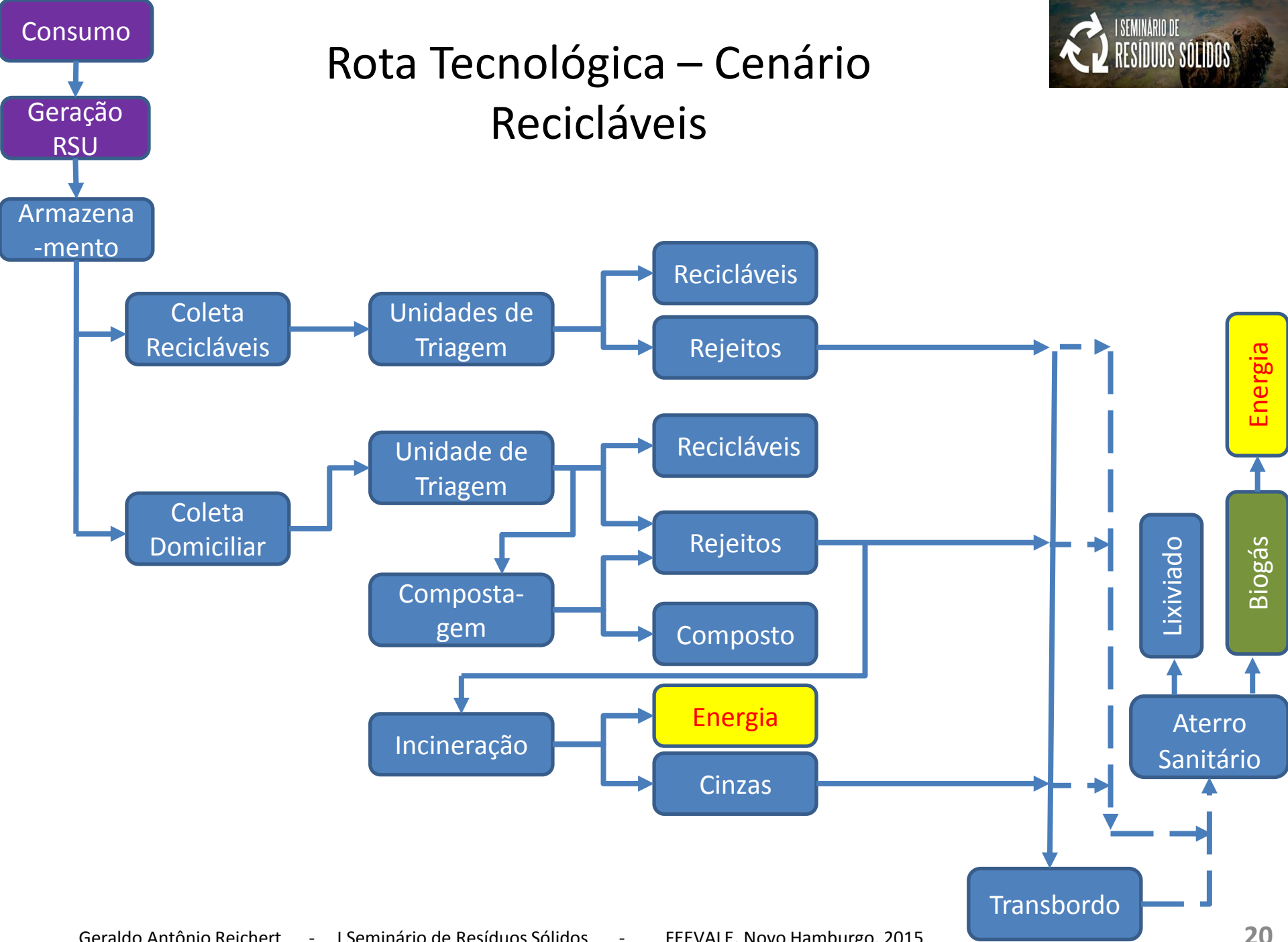
# Rota Tecnológica – Cenário Base



# Rota Tecnológica – Cenário Triagem de Indiferenciados

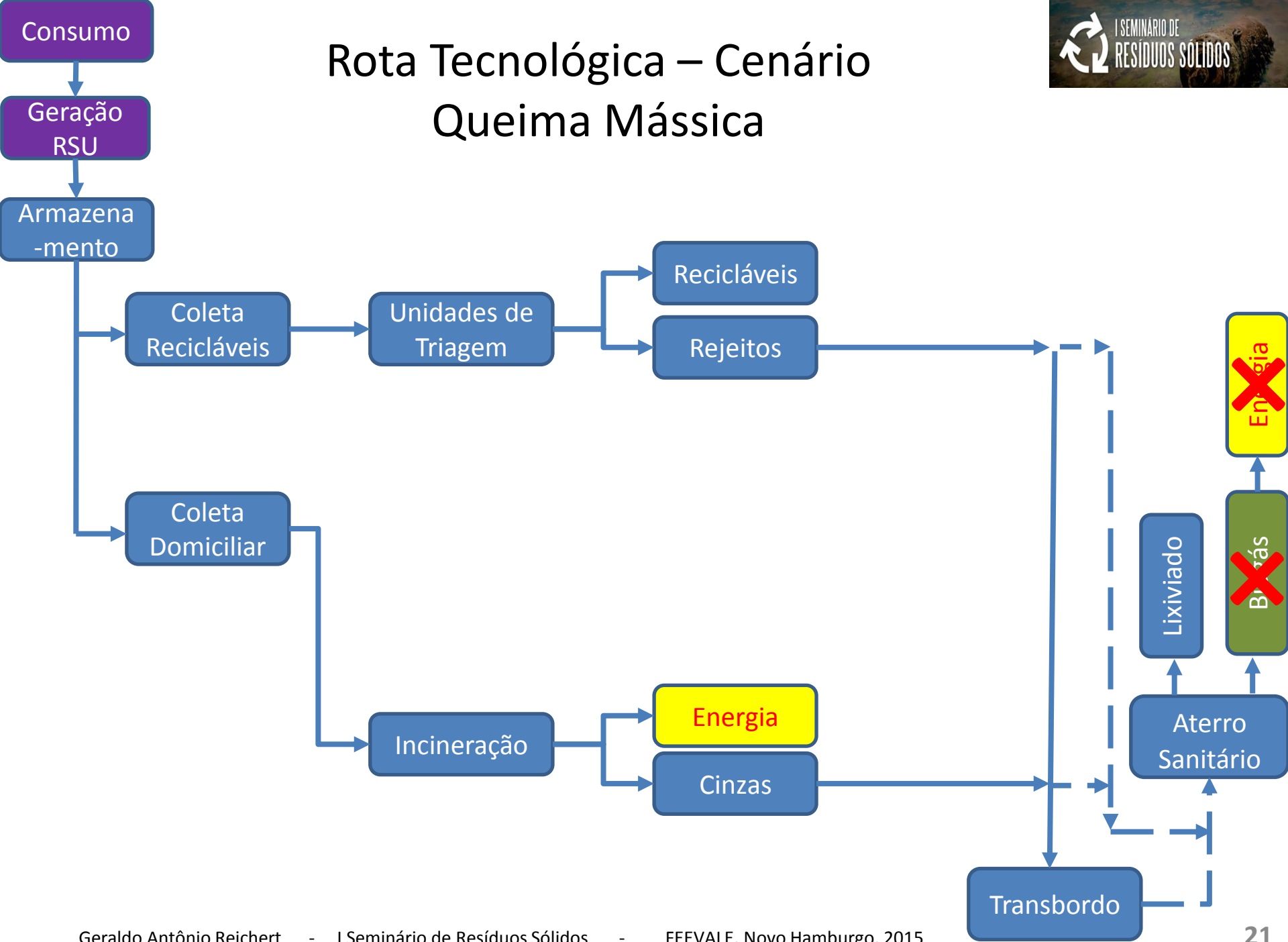


# Rota Tecnológica – Cenário Recicláveis

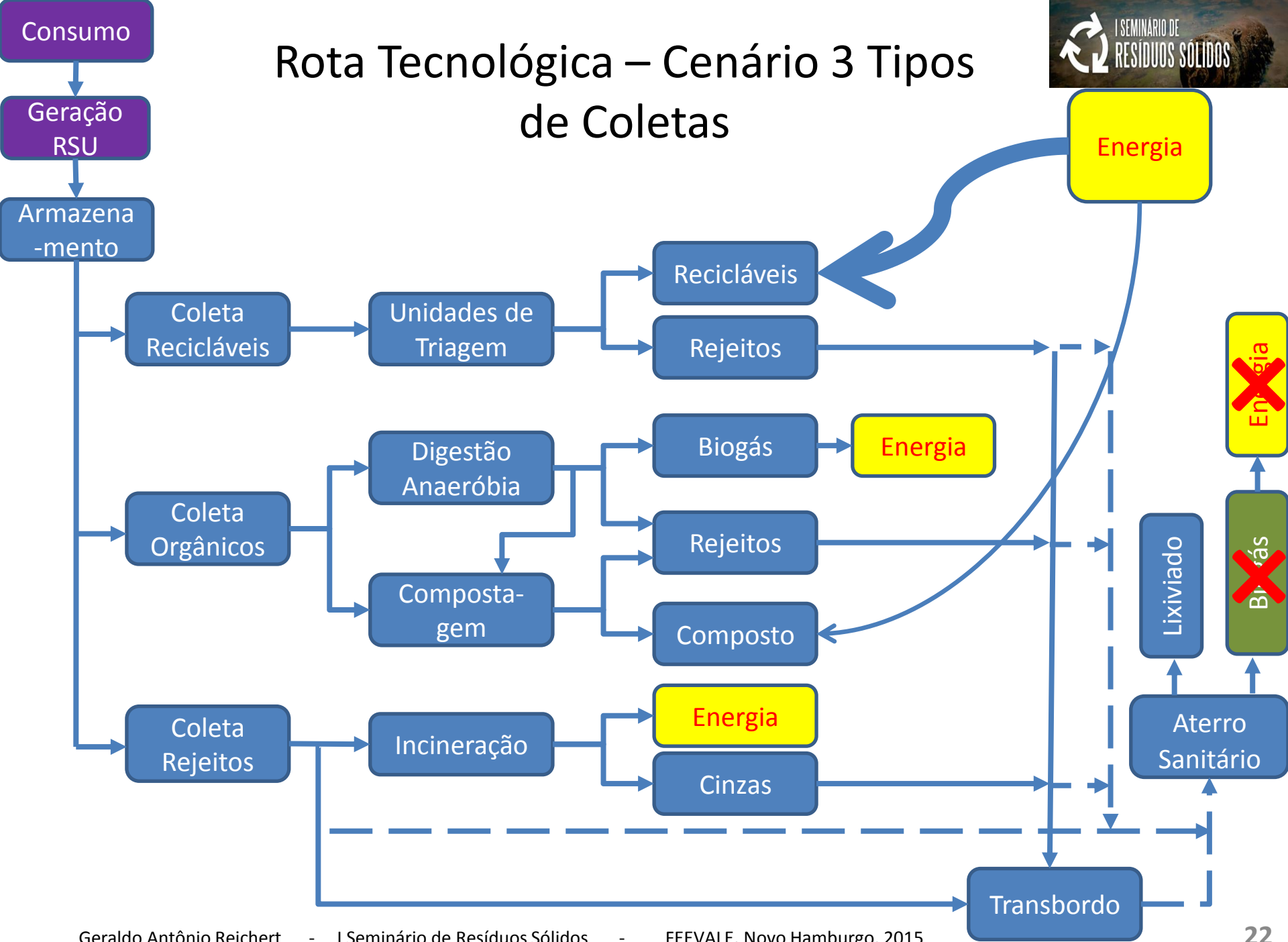




# Rota Tecnológica – Cenário Queima Mássica



# Rota Tecnológica – Cenário 3 Tipos de Coletas

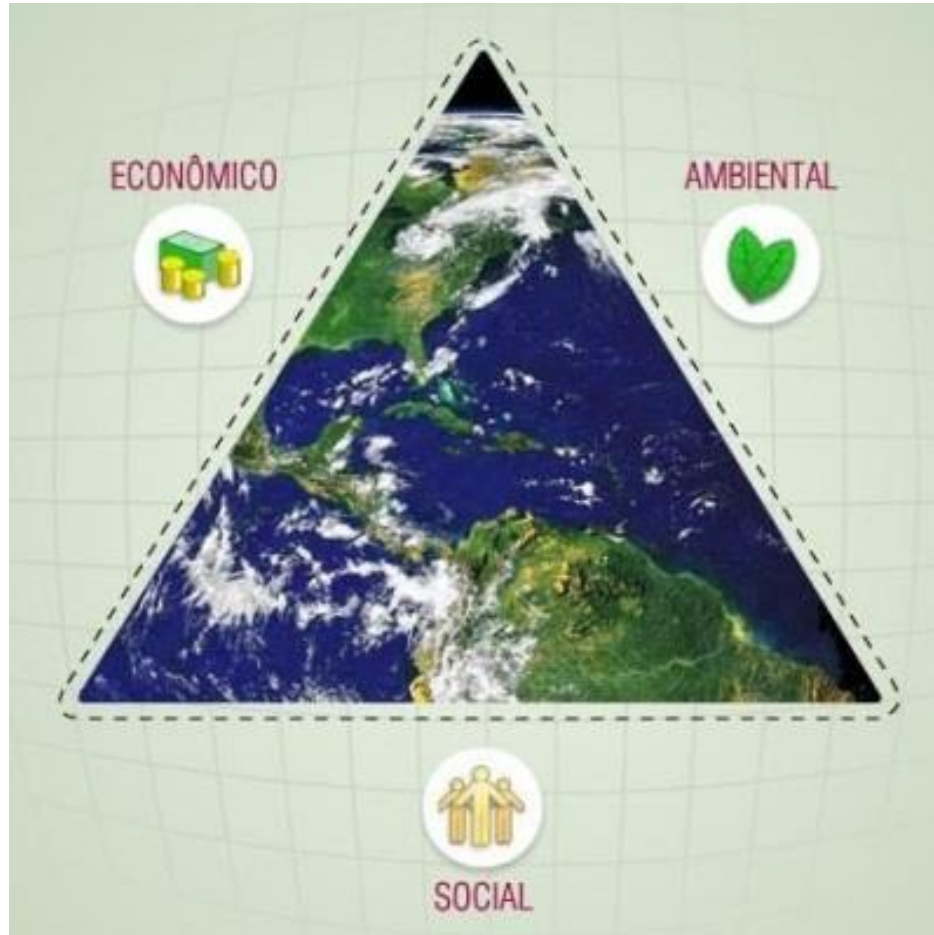


# Como decidir?

## Rota, alternativa ou cenário mais sustentável?

## Aplicar “tecnologia” no processo de apoio à decisão!

# Sustentabilidade



Como avaliar a sustentabilidade de SGIRS?



**ICV (Inventário do Ciclo de Vida)** – Compilação e quantificação das entradas e saídas de um sistema ao longo do seu ciclo de vida

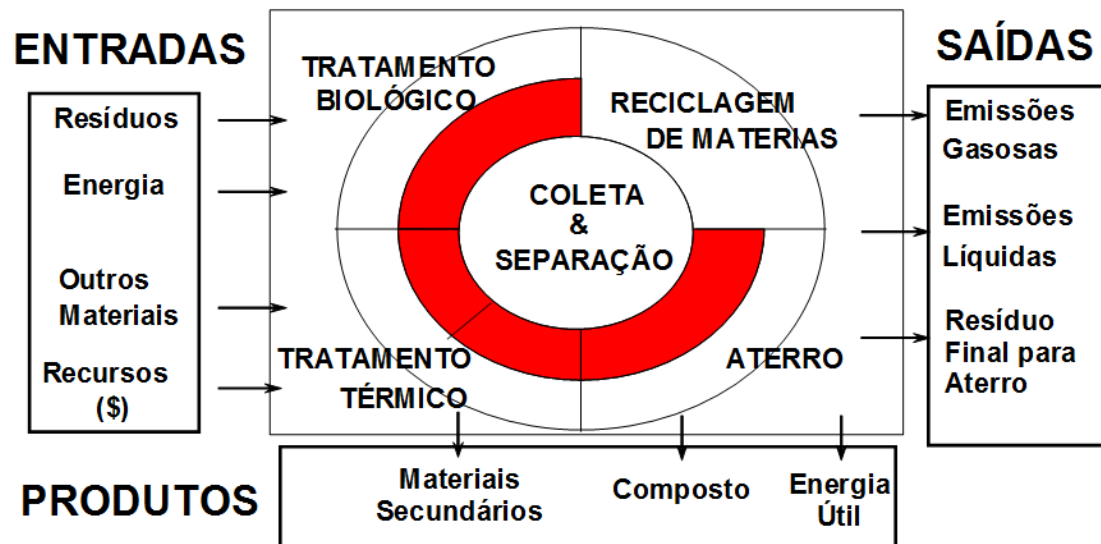
**AICV (Avaliação do Impacto de Ciclo de Vida)** – Compreensão e avaliação da magnitude e significância dos impactos ambientais de um sistema

**ACV (Avaliação do Ciclo de Vida)** – Compilação e avaliação das entradas, das saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema ao longo do seu ciclo de vida

Fazer a ACV é estabelecer uma conexão entre o inventário e os danos ou impactos potenciais.

$$\text{ICV} + \text{AICV} = \text{ACV}$$

## Ciclo de vida dos RSU



McDougall *et al.* (2001)

# Fluxo de massa por cenário

Cenário	Por tipo de coleta (% em massa)				Por tipo de tratamento (t/d)							Destinação final (% em massa)		
	Reciclagem direta	Seletiva de recicláveis	Seletiva de orgânicos	Rejeitos	Triagem		Trat. biológico		Trat. Térmico			Aterro sanitário	Reciclagem de materiais	Biodegradação ou com- bustão
					UT – Unidade de triagem	UTC – Unid. triagem e compostagem	Digestão anaeróbia	Compostagem	CDR – Combustível derivado de resíduos	Incineração				
#1 BASE	0	7,7	1,7	90,6	100,9	22,3	0,0	34,1	0,0	0,0	91,7	7,1	1,2	
#2 PGTA	1	15	10	74	196,5	131,0	52,4	180,8	0,0	149,3	63,3	19,8	16,9	
#3 PDT	0	10	3	87	131,0	131,0	0,0	104,8	0,0	0,0	83,9	12,3	3,8	
#4 OGTA	3	25	38	34	327,5	196,5	262,0	517,5	0,0	235,8	18,6	42,1	39,3	
#5 ODT	2	24	30	44	314,4	22,7	262,0	425,8	187,3	0,0	34,5	37,4	28,1	
#6 DASI	0	20	0	80	262,0	1.048,0	524,0	366,8	0,0	0,0	38,3	36,3	24,4	
#7 QM	0	20	5	75	262,0	0,0	0,0	65,5	0,0	1.053,3	16,1	18,0	65,9	
#8 GICI	0	25	30	45	327,5	0,0	393,0	275,1	0,0	685,2	10,5	29,1	60,4	

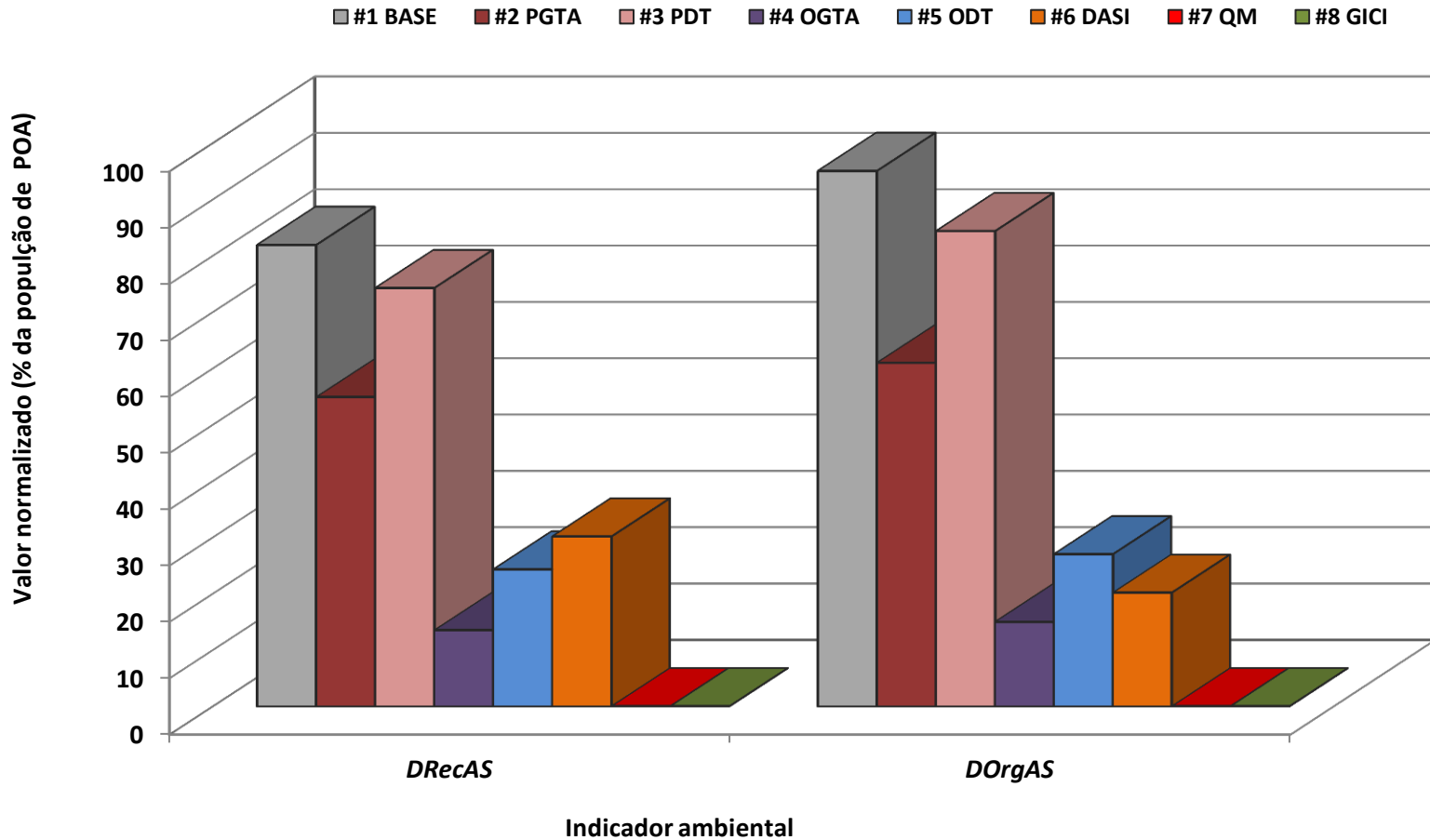
Fonte: Reichert, 2013

# Resultado de ACV

POA



## Envio de recicláveis para Aterro Sanitário





# Resultado de ACV

POA

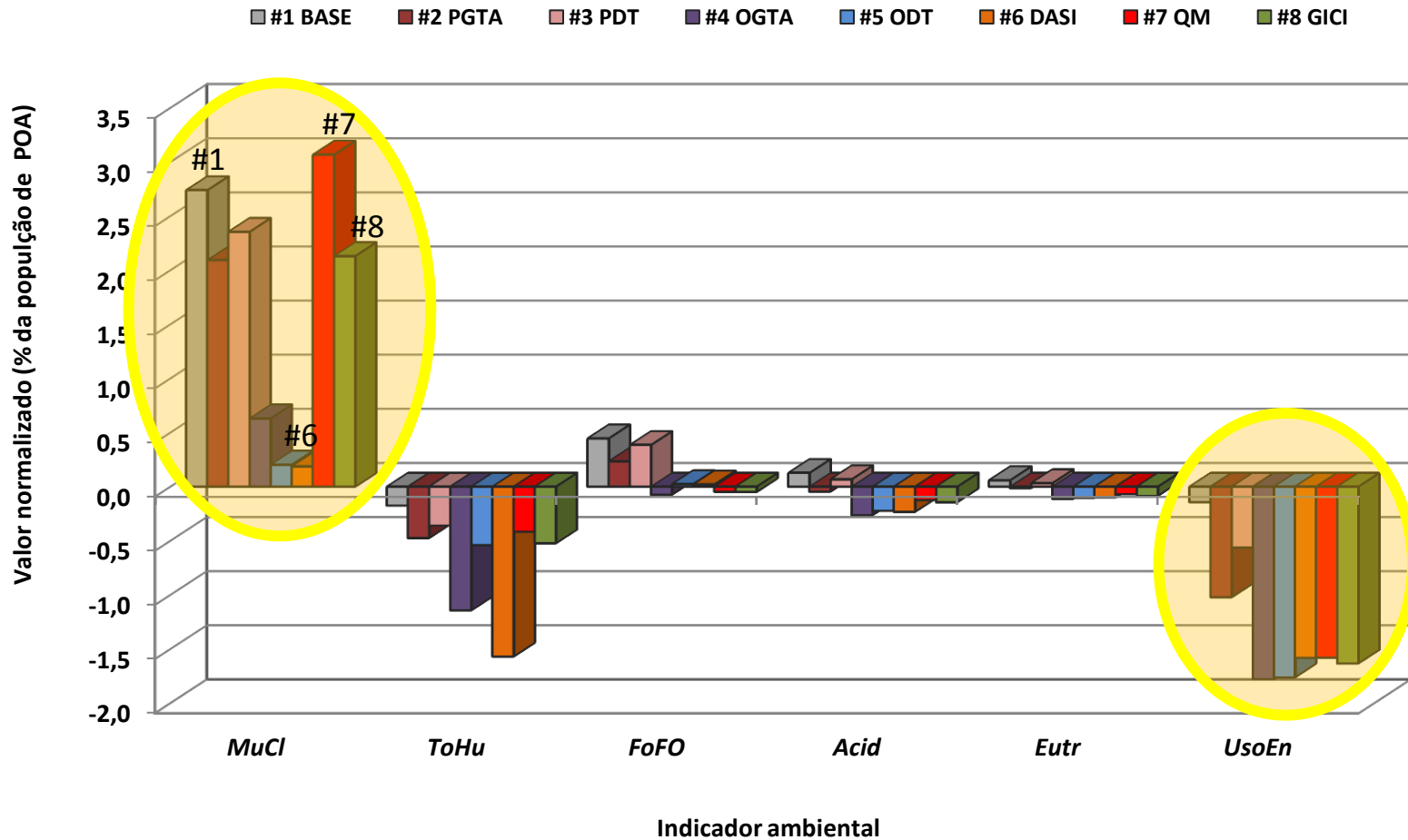
## Cenários:

#1 – Atual (cor cinza)

#6 – c/ Biodigestão (laranja)

#7 – c/ Queima mássica (vermelho)

#8 – Gestão integrada c/ DA e QM rejeito (verde)

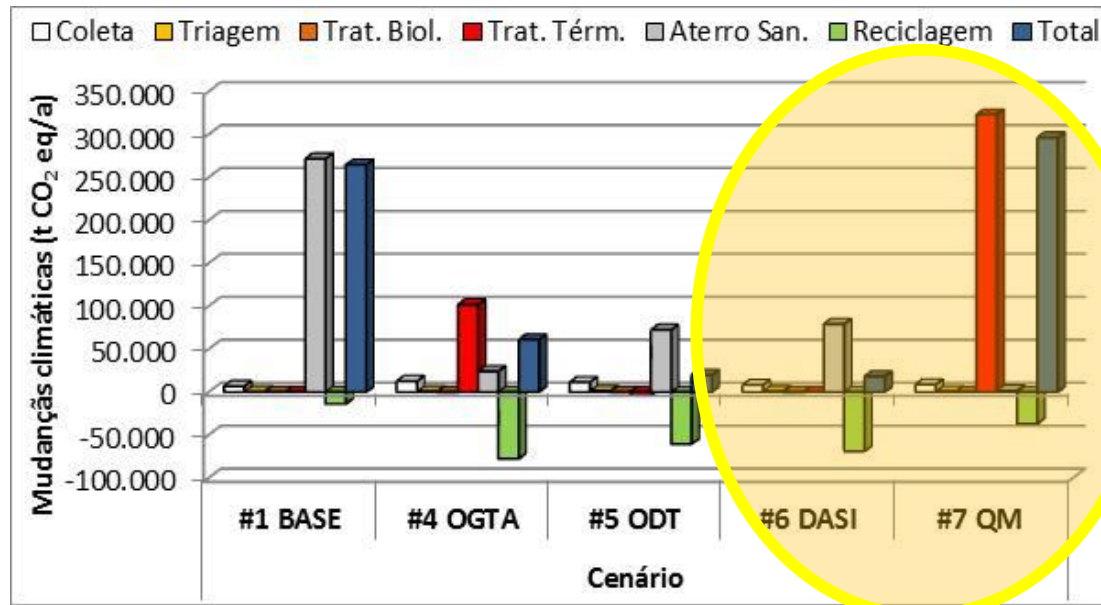
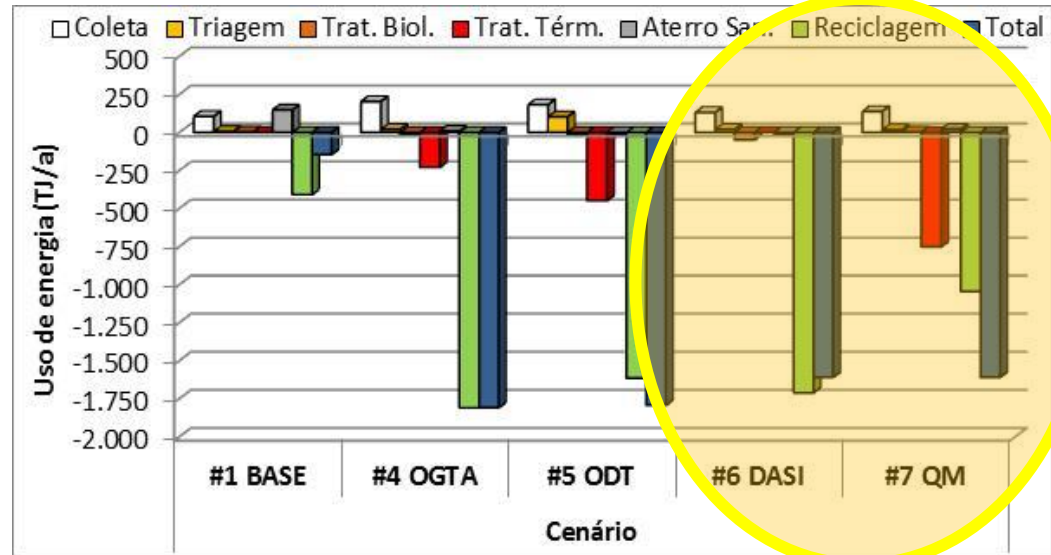


# Resultado de ACV

## POA – Por etapa do sistema

### Cenários:

- #1 – Atual
- #6 – c/ Biodigestão
- #7 – c/ Queima mássica



## Indicadores ECONÔMICOS

Obs.: Os custos se referem a custos líquidos (despesas – receitas) – Ano Base 2011

Cenário	Indicador					
	Custo líquido (Custo – Receita)			% do orçamento PMPA	% do salário mínimo	Relação recei- ta e despesa
	Por tonelada	Por domicílio	Por pessoa			
	RS/t	RS/dom:a	RS/hab:a	% Orçamento	% SM	Rec./Desp.
#1 BASE	218,46	171,16	63,39	3,7	0,87	1,10
#2 PGTA	256,17	200,70	74,33	4,4	1,02	0,96
#3 PDT	248,06	194,35	71,98	4,2	0,98	0,98
#4 OGTA	261,62	204,97	75,92	4,5	1,04	0,95
#5 ODT	210,52	164,94	61,09	3,6	0,83	1,09
#6 DASI	237,87	186,37	69,03	4,1	0,94	1,01
#7 QM	242,11	189,69	70,25	4,1	0,96	1,00
#8 GICI	267,41	209,51	77,60	4,6	1,06	0,94

# Indicadores de sustentabilidade

## Ambientais

- Mudanças climáticas
- Toxicidade humana
- Formação de foto-oxidantes
- Acidificação
- Eutrofização
- % disposição final recicláveis secos
- % disposição final recicláveis orgânicos

## Sociais

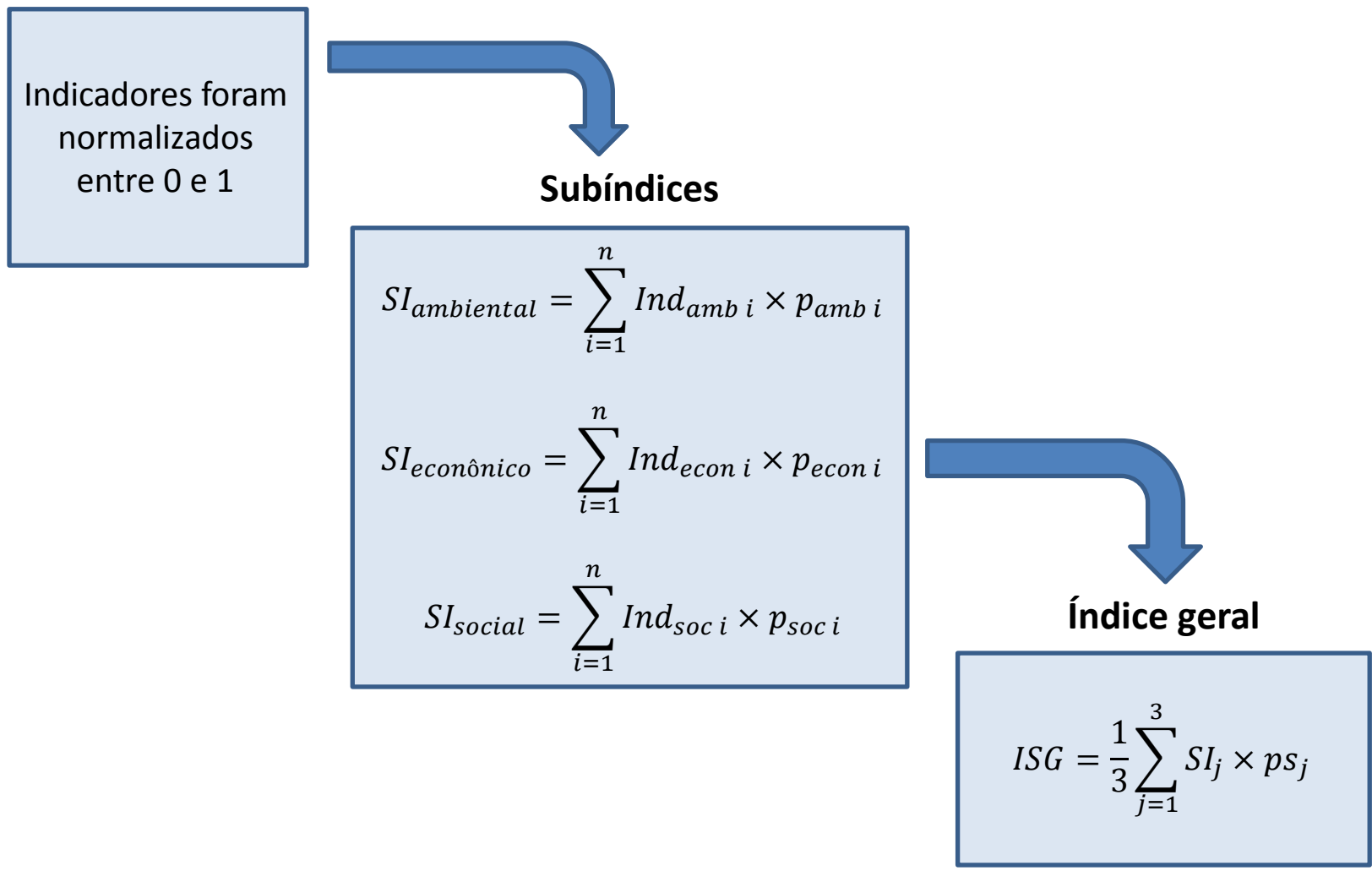
- Odor
- Impacto visual
- Uso espaço urbano
- Uso espaço privado
- Complexidade
- Qualidade dos empregos gerados
- Quantidade de emprego
- Taxa de reciclagem

## Econômicos

- Custo por tonelada, por domicílio e por pessoa
- Custo do SGMIRS como porcentagem do orçamento total do município
- Custo por pessoa como porcentagem do valor do salário mínimo
- Relação entre receitas e despesas do SGMIRS

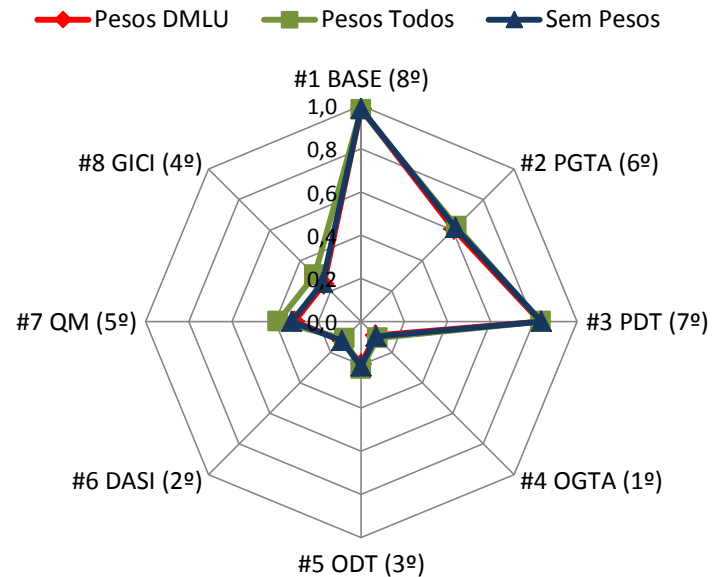
# Tomada de decisão

## Sustentabilidade dos Cenários: com base em subíndices e índice geral

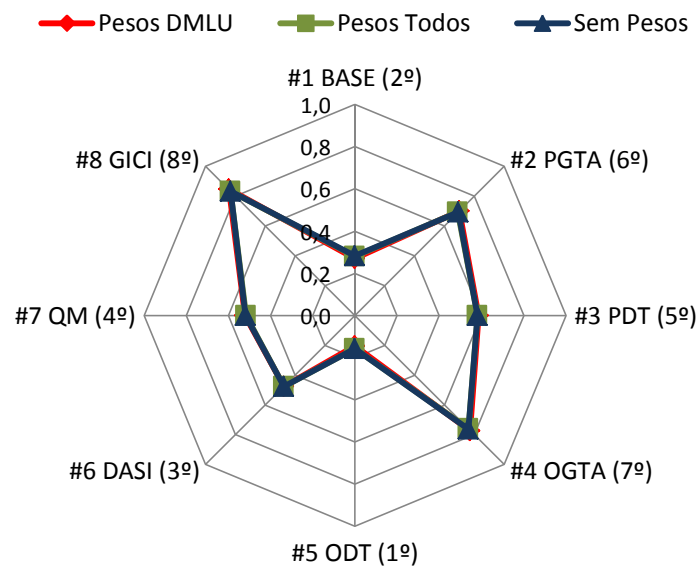




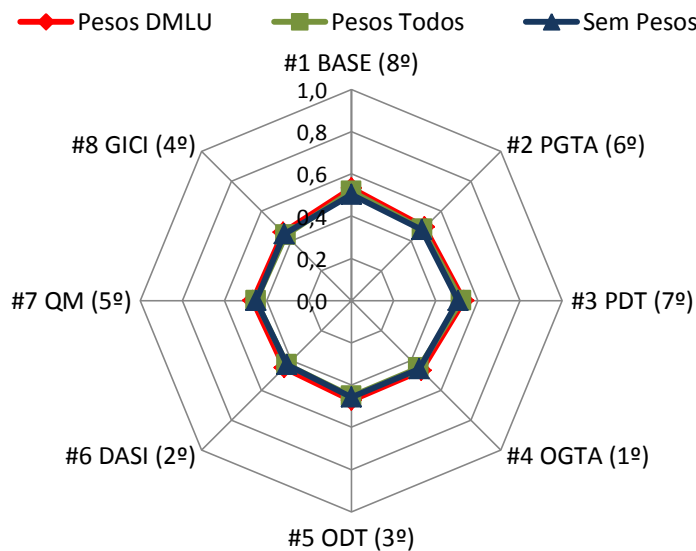
## SI AMBIENTAL



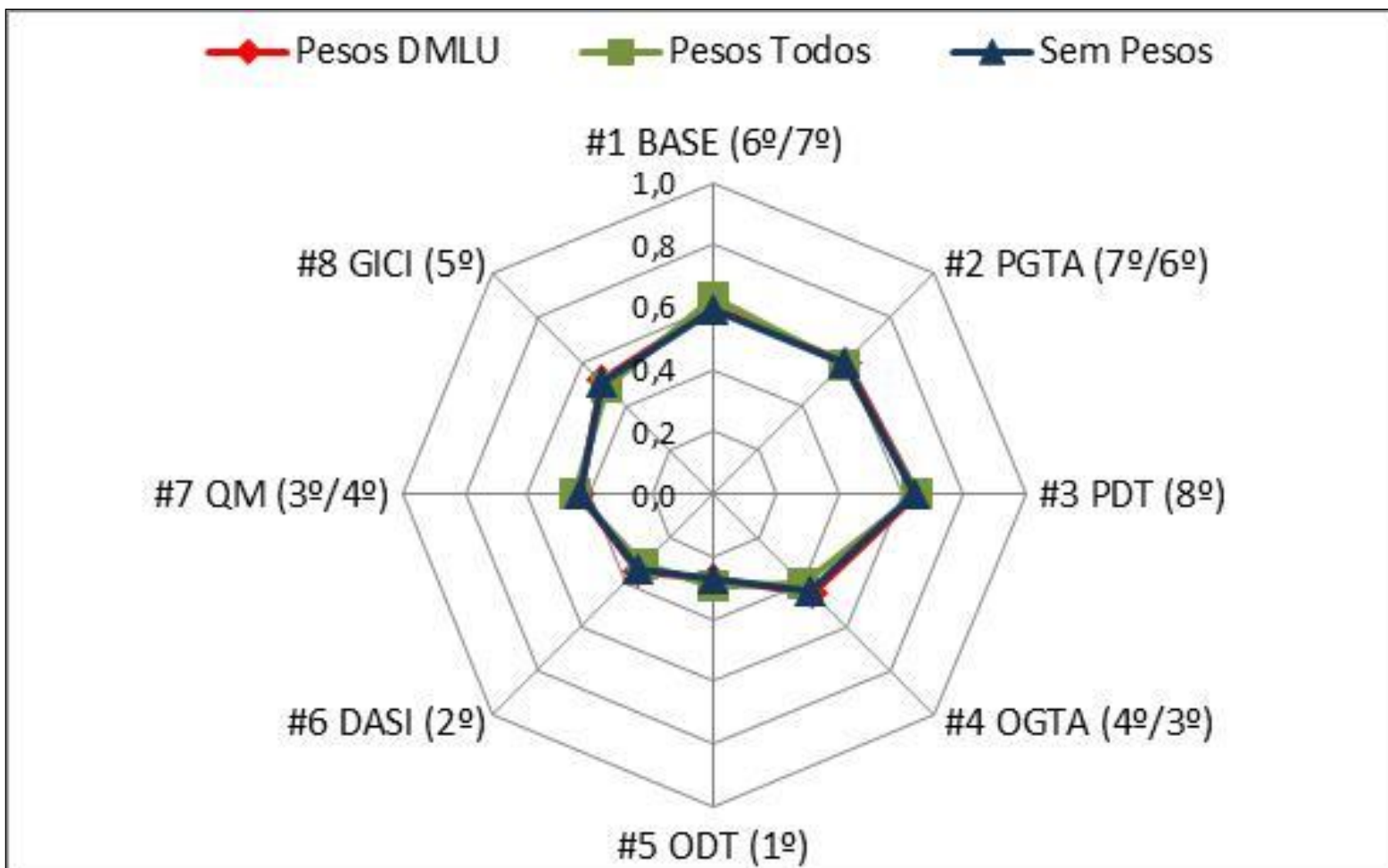
## SI ECONÔMICO



## SI SOCIAL



# Hierarquização dos Cenários - ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE GERAL



# Considerações finais

- Gerenciamento de RSU é problema complexo, e como tal não tem solução simples nem única
- A sustentabilidade está na adoção de várias tecnologias encadeadas, baseada na segregação na origem e na coleta seletiva
- Incineração pode fazer parte da solução, somente para a fração “rejeitos” e em soluções conjuntas (necessidade de efeito escala)
- Soluções adequadas, com redução de envio para AS, implicam necessariamente em custos operacionais maiores (reforça necessidade de cobrança pelos serviços de manejo de RSU)
- A reciclagem é a etapa que implica, sempre, nos maiores ganhos ambientais (mas NÃO resolve sozinha o problema, aliás nenhuma tecnologia resolve, nem mais o aterro!)

**Muito obrigado  
pela sua  
atenção!**



*"Eu entendo que a Terra pertence a uma vasta família da qual muitos membros estão mortos, alguns estão vivos, e um número infinito ainda não nasceu."  
Autor desconhecido*

**Geraldo Antônio Reichert**

*Engenheiro Civil*

*Doutor em Saneamento Ambiental*

**[gareichert@cpovo.net](mailto:gareichert@cpovo.net)**

**(51) 3289.6885**