

Curso virtual

Sustentabilidade no manejo de resíduos sólidos urbanos:
encerramento de lixões e próximos passos

Rotas Tecnológicas para RSU – resíduos sólidos urbanos

Geraldo Antônio Reichert

Eng. Civil, Doutor em Saneamento Ambiental

29 de novembro de 2021



ProteGEEr

COOPERAÇÃO PARA A PROTEÇÃO DO CLIMA
NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Tecnologias de tratamento de RSU

- Mais usadas
 - Aterro sanitário
 - Compostagem
 - (Triagem)
 - 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)
 - Despolimerização
- (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

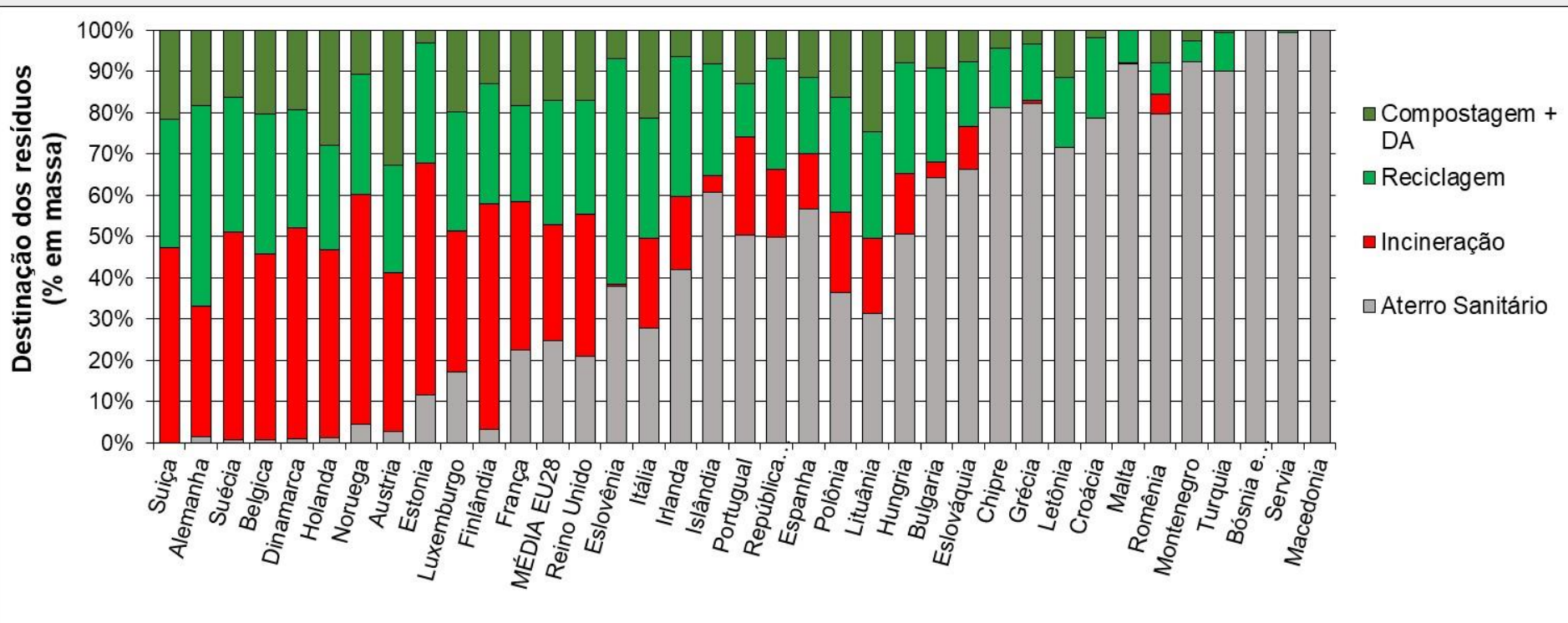


ProteGEEr

Perigo:
soluções ou instalações tipo “elefante branco”!



Destinação dos resíduos nos países da Europa em 2016 (em % de massa)



Fonte: Eurostat (2017)

Uma rota tecnológica inicia na coleta...

Na verdade... Inicia na segregação na origem...



Diferentes forma de triagem (TM)

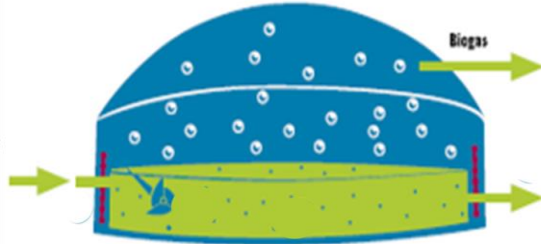
- Manual
- Semimecanizada
- Mecanizada



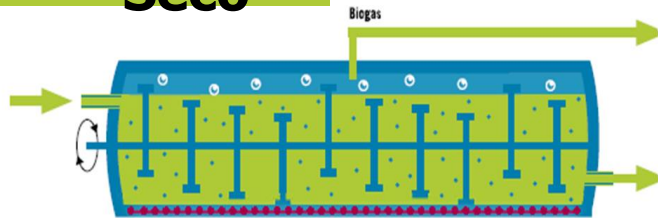
ProteGEEr

Digestão anaeróbia – DA (biodigestão ou metanização)

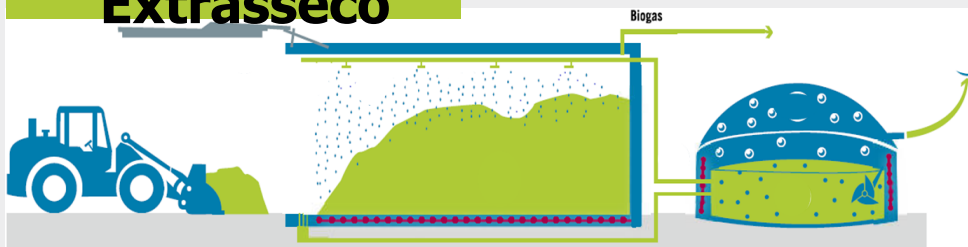
Sistema Úmido



Sistema Seco



Sistema Extraseco



Reichert, G.A. - 29.11.2021

Tipos de compostagem

Caseira



Leira estática de aeração natural



Leira revolvida



Leira estática aerada

Reator de fluxo contínuo

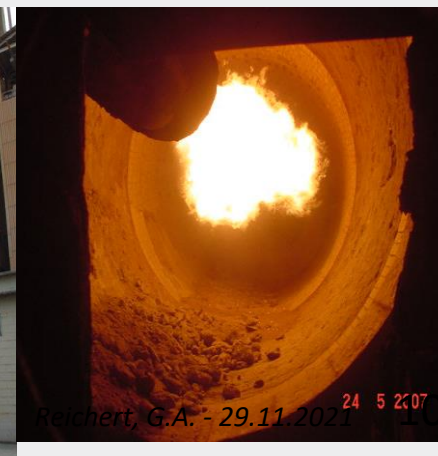
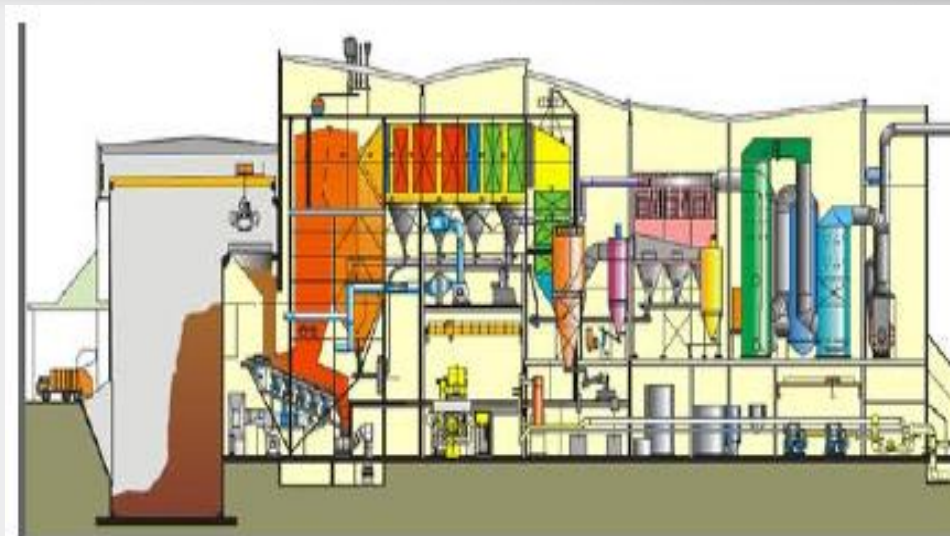


Túneis



Principais processos térmicos

- Incineração
- CDR



ProteGEEr

10.10.2004

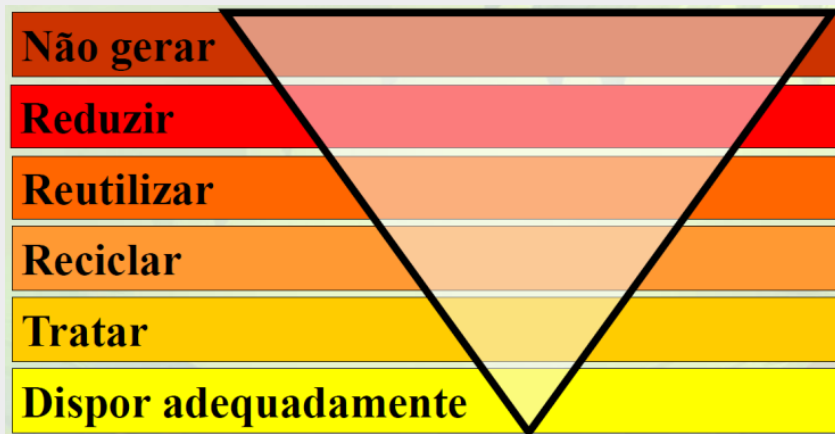
Reichert, G.A. - 29.11.2017 24 5 2007

Gerenciamento integrado de RSU

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



O que era um CONCEITO, virou uma OBRIGAÇÃO pela PNRS:

Art. 9º Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: **não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.**



ProteGEEr

O conceito de REJEITO é temporal e espacial (ou regional).

PNRS

Mudança conceitual (mudança de paradigma)

Resíduo sólido



Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, ...



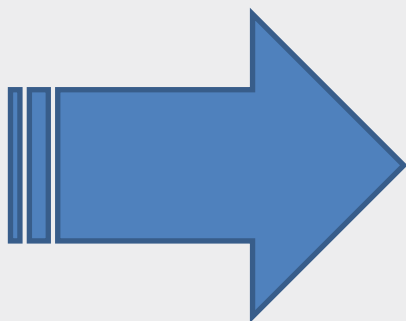
Rejeito



Resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada.



O que é uma *rota tecnológica*?



É o conjunto de processos, tecnologias e fluxos dos resíduos desde a sua geração até a sua disposição final, envolvendo circuitos de coleta de resíduos de forma indiferenciada e diferenciada e contemplando tecnologias de tratamento dos resíduos com ou sem valoração energética.

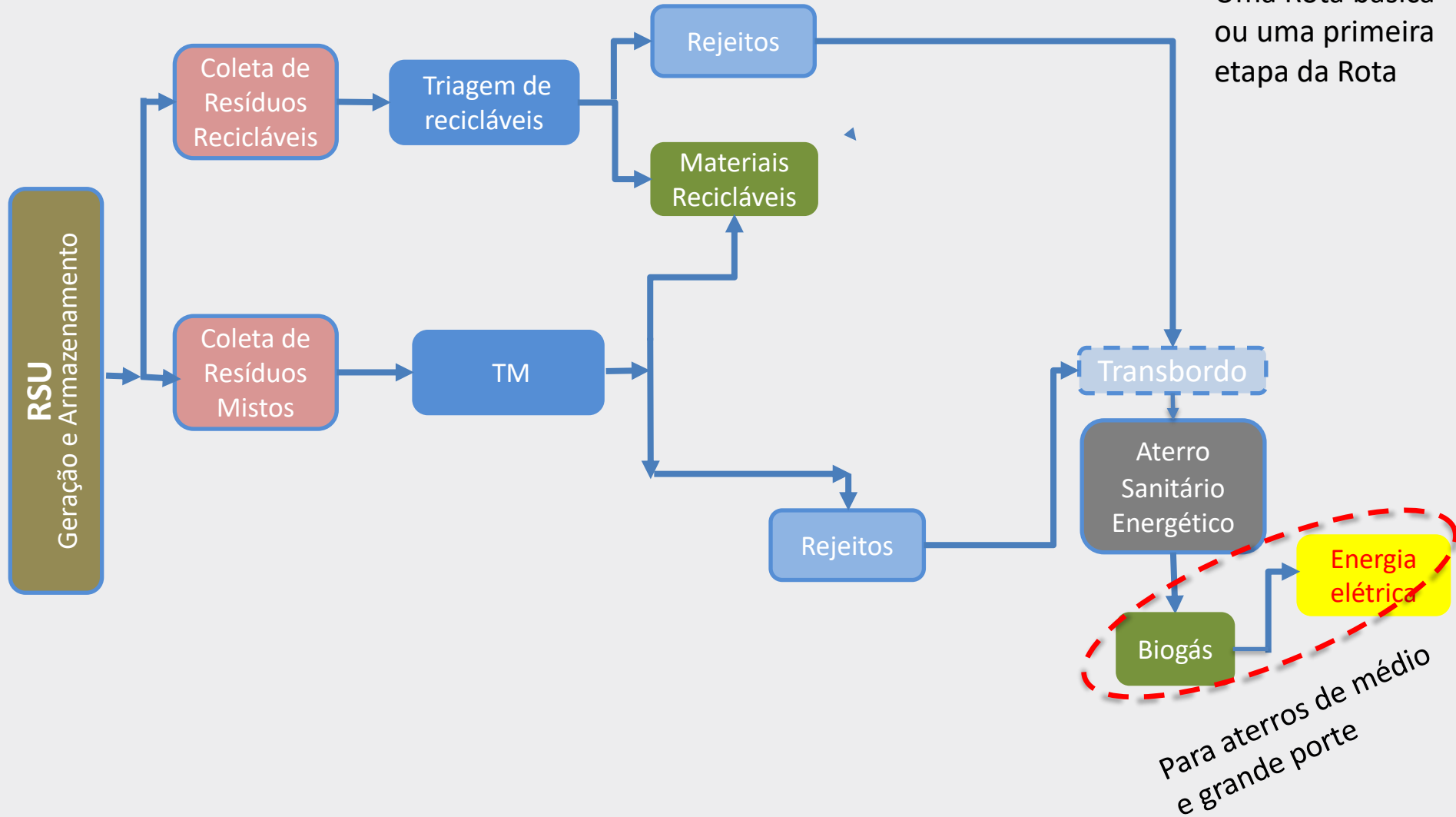
Inicia-se na geração dos resíduos e encerra-se na com a disposição final (em aterro sanitário).



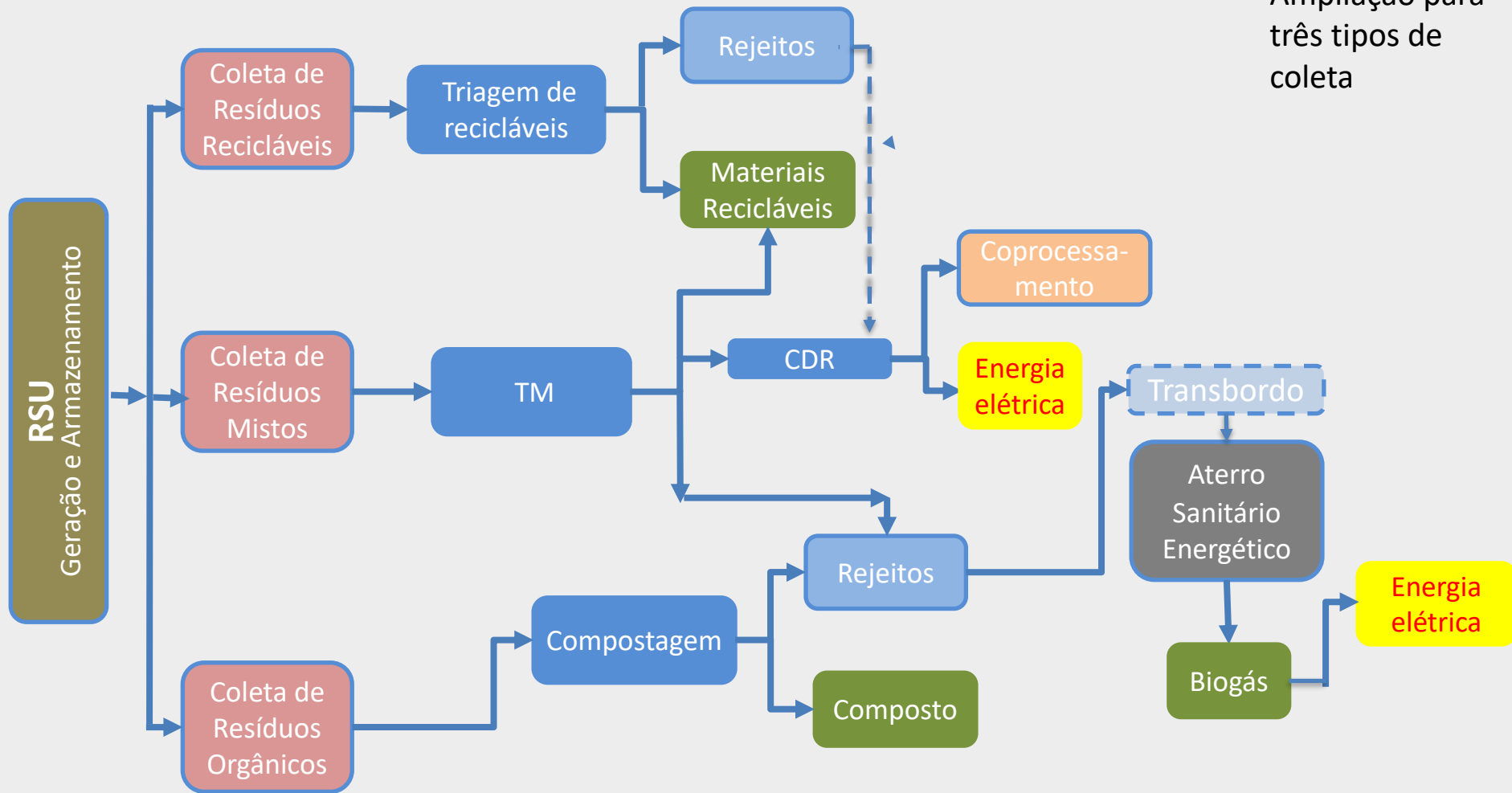
ProteGEEr

Fonte: FADE / BNDES - Rotas Tecnológicas UFPE (2014)

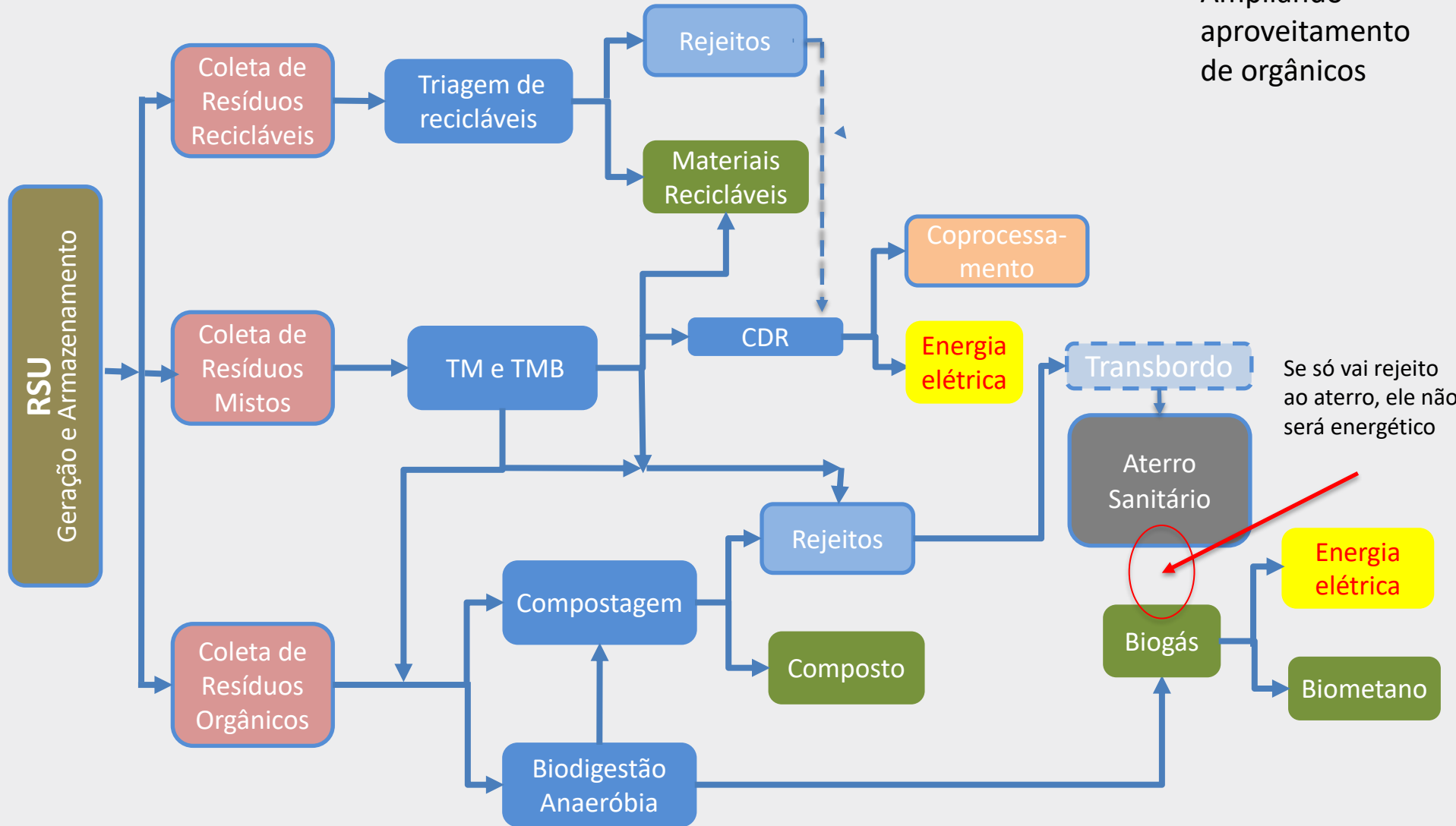
Uma Rota básica
ou uma primeira
etapa da Rota



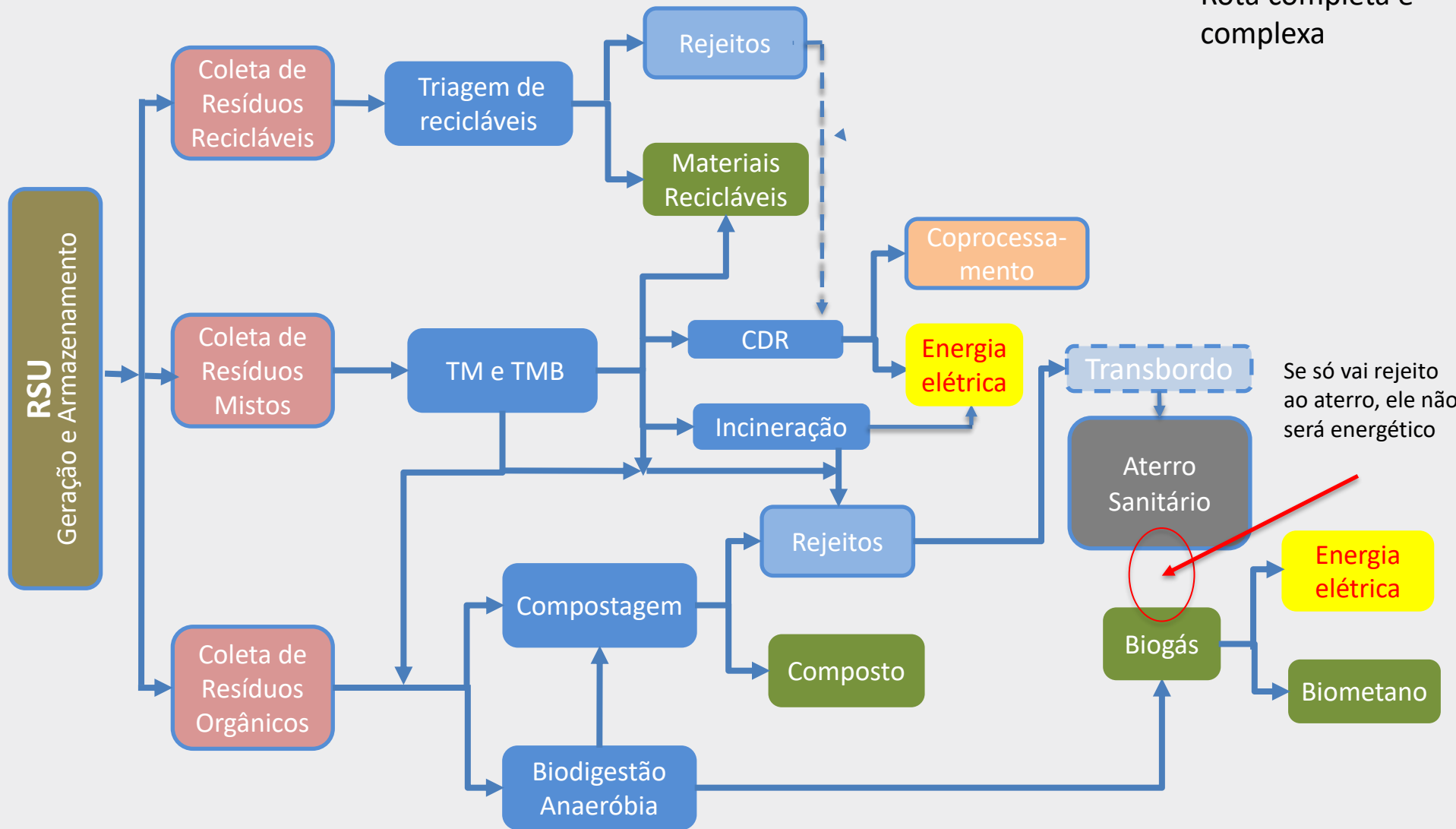
Ampliação para
três tipos de
coleta



Ampliando aproveitamento de orgânicos



Rota completa e complexa



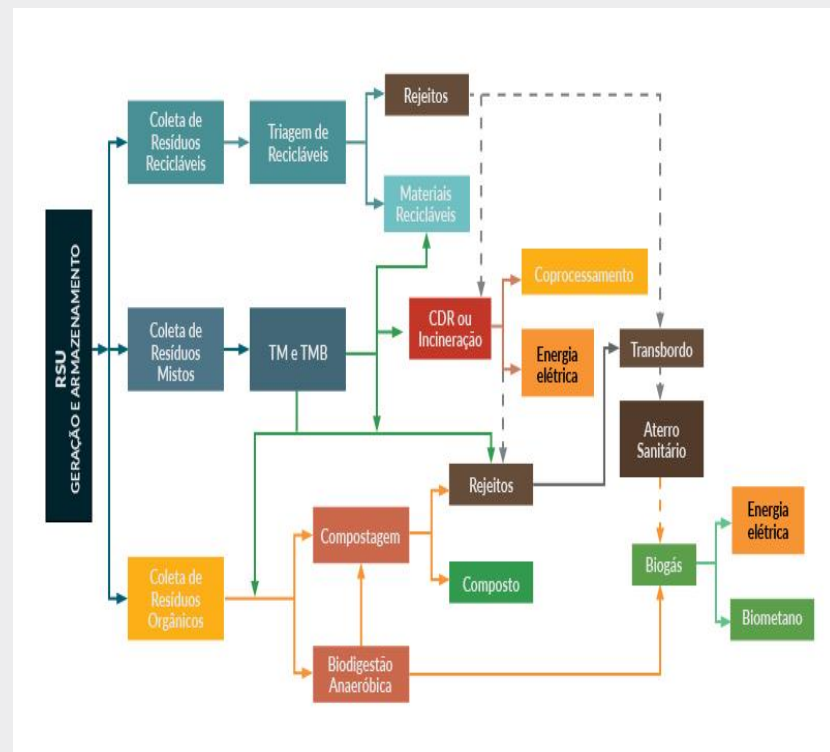
ProteGEEr

A Ferramenta Rotas e Custos

A Ferramenta Rotas e Custos faz parte de um “pacote” de ferramentas de apoio à tomada de decisão desenvolvidas pelo projeto de Cooperação para proteção do clima na gestão de resíduos sólidos urbanos – ProteGEEr.

Apoio à tomada de decisão é diferente de tomada de decisão (não resulta em alternativa ótima mas traz luz e conhecimento sobre o processo decisório e permite comparações entre alternativas).

Baseada no conceito de **rota tecnológica**.



Tecnologias & Rotas tecnológicas

Parte-se do princípio de que nenhuma tecnologia sozinha é solução para o manejo adequado de RSU.

Rota tecnológica é o conjunto de processos, tecnologias e fluxos dos resíduos desde a sua geração até a sua disposição final. Inicia-se na geração dos resíduos e encerra-se na com a disposição final (em aterro sanitário).

A definição e a análise de uma rota tecnológica passa pelo detalhamento do balanço de massa e de energia.

Além disso, a quantificações dos custos associados ou da emissões de gases efeito estufa devem ser feitos considerando-se a rota (o encadeamento de diferentes tecnologias e não da comparação par a par de tecnologia).



Premissas e diretrizes para as rotas

- iniciar pelo **conhecimento da rota tecnológica atualmente utilizada** pelo município;
- realizar o **balanço de massa e de energia** das rotas avaliadas;
- avaliar a possibilidade de **implantação dos avanços tecnológicos e novas formas de tratamento** de maneira escalonada;
- atender para a compatibilização da rota tecnológica com as metas do **plano municipal (intermunicipal ou regional) de gestão integrada** de resíduo sólidos;
- avaliar e quantificar todos os subprodutos que possam resultar em **receitas acessórias** ao sistema;
- atender à **hierarquia do gerenciamento integrado** de resíduos estabelecida no Art. 9º da Lei 12.305/2010;
- considerar **tecnologias consolidadas** nacional ou internacionalmente, e que sejam licenciáveis de acordo com a legislação brasileira.

Escopo da Ferramenta

Simulação de cenários, alternativas ou sistemas futuros de gerenciamento ou manejo de RSU; realizando o balanço de massa e calculando os custos associados.

Cenários, alternativas ou sistemas de gerenciamento de RSU são aqui denominados de “rotas tecnológicas”.



Tecnologias que podem ser simuladas

- coletas:
 - seletiva de recicláveis secos
 - seletiva de orgânicos
 - mistos
- triagem:
 - manual de seletivos
 - mecanizada de seletivos
 - mecanizada de mistos
- produção de CDR
 - CDR de secos
 - biossecagem e *CDR de orgânicos*
- tratamento biológico:
 - compostagem
 - composto para uso no solo ou cobertura de AS
 - biodigestão anaeróbia
 - biogás pra EE ou biometano
- tratamento térmico:
 - incineração com recuperação de EE
- existência ou não de estação de transferência
- disposição final
 - aterro sanitário
 - com ou sem aproveitamento de biogás para energia elétrica ou biometano



Potencialidades

- construção e avaliação de soluções integradas para o manejo de RSU;
- realização de estudo de pré-viabilidade;
- utilização de diferentes combinações de tecnologias;
- estimativa da massa que entra e que sai em cada tecnologia de tratamento utilizada na rota;
- comparação da rota atual com rotas futuras;
- estimativa da geração dos subprodutos (recicláveis, composto, biogás, energia), de custos e de receitas nas diversas etapas da rota avaliada;
- estimativa de valor total de tratamento (por etapa e da rota) e de tarifa associada à rota;
- a democratização da análise de alternativas de solução para a GIRSU (em função da relativa facilidade na utilização da Ferramenta).



Limitações

- entrada de dados:
 - composição gravimétrica deve representar o total da massa de resíduos manejados;
 - tipos de coletas – seletiva de secos; seletiva de orgânicos, mistos;
 - a eficiência de triagem é única para todos os tipos de materiais triados;
- somente é possível utilizar tecnologias pré-definidas na Ferramenta (tecnologia consolidadas);
- a Ferramenta assume que , para cada tipo de tecnologia, haverá somente uma unidade implantada;
- somente pode ser simulada uma rota por vez;
- a robustez das análises e conclusões está limitada pela qualidade e representatividade das informações e premissas de simulação.



A Ferramenta Rotas e Custos

- Foi desenvolvida no âmbito do ProteGEEr
- Está concebida em Planilha Microsoft Excel
 - primeira parte consiste da definição da rota e balanço de massa
 - segunda parte faz estimativa dos custos associados e cálculo da tarifa correspondente
 - 21 abas (ou planilhas ao total) mas a entrada de dados se dá em somente 4 delas
 - principais saídas ou produtos que a Ferramenta entrega:
 - figura fluxo de massa da rota avaliada
 - capacidades operacionais totais das unidades utilizadas
 - quantitativos dos subprodutos por rota
 - análise de custos (Capex, Opex e Tarifa)
 - consolidação da dados saída Rotas para entrada de GEE
- Quando lançada, estará disponível em www.protegeer.gov.br

Exemplo de entrada de dados

Aba 'R-Entrada'

Dados:

- População
- Geração
- Gravimetria
- Tipos de coleta

Município		São Judas Tadeu				
Rota		Rota Futura 1				
Dados gerais de geração de RSU						
população atendida (hab.)	2.500.000					
geração <i>per capita</i> de RSU (kg/hab.d)	1,20					
massa total manejada por dia (t/d)						
utilizar geração <i>per capita</i> ou massa total?	<i>per capita</i>					
massa diária de RSU considerada na rota (t/d)	3.000,0					
Composição gravimétrica dos resíduos que entram na rota (deve representar a massa total que co						
<i>(Utilizar dados primários, ou seja, a composição gravimétrica real do município ou consórcio em análises)</i>						
<i>(Dados "padrão Brasil", utilizar somente para simulações acadêmicas ou de treinamento, quando da ausência de dados primários)</i>						
Utilizar dados gravimétricos fornecidos pelo usuário	Sim					
Usar "padrão Brasil"	Não					
Componentes	Composição – base úmida (%)			Material t/d	Agrupamentos	
	Dados do usuário	Utilizad os nos	Padrão Brasil		(%)	Tipo
resíduos de alimentos	48,4	48,4	48,4	1.452,00	51,4	Orgânicos
resíduos verdes (jardins e parque	3,0	3,0	3,0	90,00		
papel, papelão	13,1	13,1	13,1	393,00	31,9	Recicláveis
plástico filme	8,9	8,9	8,9	267,00		
plásticos rígidos	4,6	4,6	4,6	138,00		
vidros	2,4	2,4	2,4	72,00		
metais ferrosos	2,3	2,3	2,3	69,00		
metais não ferrosos	0,6	0,6	0,6	18,00		
têxteis	2,6	2,6	2,6	78,00	12,0	Outros combustíveis
borracha, couro	0,7	0,7	0,7	21,00		
fraldas descartáveis e similares	4,0	4,0	4,0	120,00		
madeira	4,7	4,7	4,7	141,00	4,7	Outros não combustíveis
resíduos minerais	0,0	0,0	0,0	0,00		
outros	4,7	4,7	4,7	141,00		
Total (deve ser 100%)	100,0	100,0	100,0	3.000,00	100,0	
Tipos de coleta						
	%	t/d				
coleta seletiva de recicláveis	15,0	450,00				
coleta seletiva de orgânicos	5,0	150,00				
coleta de mistos/rejeitos	80,0	2.400,00				
total de RSU a ser gerido pelo m	100,0	3.000,00				



ProteGEer

Exemplo de entrada de dados

Aba 'R-Definição'

Dados:

- Tipos de triagem
 - tipos, eficiências, destino dos materiais
- Produção de CDR
 - CDR de TM e de TMB

Triagem e definição do destino dos materiais e rejeitos

Triagem dos seletivos	
massa disponível (t/d)	450,00
triagem manual (%)	10,0
triagem mecanizada (%)	90,0

manual de seletivos	Sim
massa (t/d)	45,00
destino dos rejeitos	CDR

mecanizada de seletivos	Sim
massa (t/d)	405,00
destino dos rejeitos	CDR

Triagem dos resíduos da coleta de mistos	
mecanizada de mistos	Sim
massa disponível (t/d)	2.400,00
porcentagem a ser triada (%)	60,0
massa a ser triada (t/d)	1.440,00
destino dos rejeitos	Incineração
destino dos orgânicos	Tratam. biológico

Eficiência nas triagens	
manual de seletivos	Baixa
mecanizada de seletivos	Baixa
mecanizada de mistos secos	Baixa
mecanizada de mistos orgânicos	Baixa

Subprodutos e rejeitos separados da triagem (t/d)

	Total	Seletiva manual	Seletiva mecanizada	Mistos mecanizada
papel e papelão	185,83	11,09	99,79	74,95
plástico filme	126,25	7,53	67,80	50,92
plástico rígido	65,25	3,89	35,04	26,32
vidros	34,05	2,03	18,28	13,73
metais ferrosos	32,63	1,95	17,52	13,16
metais não ferrosos	8,51	0,51	4,57	3,43
Total de recicláveis	452,52	27,00	243,00	182,52

orgânicos triados	709,92		Alimentos	668,48
orgânicos seletivos	150,00		Verdes	41,44
rejeitos combustíveis	604,74	16,20	145,80	442,74
rejeitos não combust.	122,82	1,80	16,20	104,82

Rejeitos e mistos disponíveis após as etapas de triagem (t/d) — no fluxo de rejeitos mistos

	Orgânicos		Papel e papelão	Plástico		Vidros	Metais		Rejeitos/mistos		Total
	Alimentos	Verdes		Filme	Rígido		Ferrosos	Não ferrosos	Combustíveis	Não combustíveis	
rejeitos — triagem de mistos	117,97	7,31	49,97	33,95	17,55	9,15	8,77	2,29	216,00	84,60	547,56
mistos não triados	524,30	32,50	83,28	56,58	29,24	15,26	14,62	3,81	144,00	56,40	960,00

Produção de CDR

Resíduos disponíveis para CDR	
rejeitos combustíveis seletivos (man.) (t/d)	16,20
rejeitos combustíveis seletivos (mecan.) (t/d)	145,80
rejeitos combustíveis triag. mecan. mistos (t/d)	0,00
biossecagem — orgânicos de mistos (t/d)	0,00

massa disponível (t/d)	162,00
------------------------	--------

produção de CDR TM (t/d)	162,00
--------------------------	--------

produção de CDR TMB (t/d)	0,00
---------------------------	------

% CDR fino produzido	0,0
----------------------	-----

% CDR grosso produzido	100,0
------------------------	-------

CDR produzido (t/d)	
CDR fino	0,00
CDR grosso	137,70

Rejeito para aterro (t/d)	
rejeito para aterro	20,25

perda por evaporação / secagem (t/d)	4,05
--------------------------------------	------

Exemplo de entrada de dados

Aba 'R-Definição'

Dados:

- Tratamento biológico (DA e compostagem)
 - eficiências, uso dos subprodutos
- Tratamento térmico (incineração)
 - limitador cap. > 500 t/d

Tratamento biológico			
orgânicos seletivos (t/d)	150,00		17,4%
orgânicos da triagem mecanizada (t/d)	709,92		82,6%
total de orgânicos (t/d)	859,92		100%

Biodigestão anaeróbia			
perda de massa	Média		12,0%
potencial de geração do biodigestor	Médio		
geração potencial de biogás (Nm³/t)		100	
geração potencial de energia (kWh/t)		150	

Compostagem			
perda de massa	Média		40,0%
rejeito na peneira final	Baixo		5,0%

Tratamento térmico			
Incineração			
Incineração dos resíduos da coleta de mistos sem triagem? Não			
mistos sem triagem (t/d)	0,00		
rejeito — seletivos (man.) (t/d)	0,00		
rejeito — seletivos (mecan.) (t/d)	0,00		
rejeito — triagem mec. mistos (t/d)	547,56		
massa disponível total (t/d)	547,56		
PCI ponderado estimado (kWh/t)	2.276,9		

Destinação do material disponível para tratamento biológico (%)			
biodigestão anaeróbia (%)	100,0	>>>>	859,92 t/d
compostagem (uso nobre) (%)	0,0		
compostagem (uso não nobre) (%)	0,0		

Utilização do biogás	
produção de biometano	Sim
geração de energia elétrica	Não

destino do digestado	comp. uso não nobre
digestado a compostar (t/d)	756,73

Qual é a utilização do composto "de uso não nobre" produzido?
Aplicação no solo (florestamento)

Capacidade (t/d)	
biodigestão anaeróbia (t/d)	859,92
compostagem para uso nobre (t/d)	0,00
compostagem para uso não nobre (t/d)	756,73

Subprodutos (t/d)	
composto para uso nobre (t/d)	0,00
composto para uso não nobre (t/d)	416,20
energia elétrica (kWh/d)	0
biometano (Nm³/d)	50.305

Perdas e rejeitos (t/d)	
rejeito na peneira — composto para aterro (t/d)	37,84
perda por evaporação ou biodigestão (t/d)	405,88

eficiência na geração de energia elétrica (%)	21,6	
geração de cinzas (%)	20,0	
recuperação de metais das cinzas	Sim	90%
reaproveitamento das cinzas de fundo (%)	0,0	

Subprodutos	
metais ferrosos (t/d)	21,06
metais não ferrosos (t/d)	5,49
cinzas de fundo para reaproveitamento (t/d)	0,00
cinzas de fundo para aterro (t/d)	109,51
energia elétrica (kWh/d)	269.295,1
perda de massa por combustão (t/d)	411,50



Exemplo de entrada de dados

Aba 'R-Definição'

Dados:

- Disposição final
 - somente aceita aterro sanitário para rotas novas
 - rota atual é possível simular lixão
 - eficiência de captação
 - utilização do biogás
 - existência de estação de transbordo

Disposição final		
Aterro sanitário		
total para aterro sanitário (t/d)	1.145,60	
aterro novo ou já existente?	Novo	
qual Rota está sendo simulada?	Rota futura	
biogás gerado (Nm ³ /d)	166.092	
volume ocupado no aterro por ano (m ³ /d)	1.140,0	
eficiência de captação do biogás	Média	30%
biogás captado e disponível (Nm ³ /d)	49.828	

Utilização do biogás	
sem queima (%)	0
somente queima (%)	0
aproveitamento do biogás (%)	100
geração de energia elétrica	Não
produção de biometano	Sim
Subprodutos	
energia elétrica (kWh/d)	0,0
produção de biometano (Nm ³ /d)	8.304,6

Estação de transbordo	
há necessidade de estação de transbordo (ET)?	Sim
distância da ET ao aterro (km)	120
porcentagem do resíduo que passa pela ET (%)	100
capacidade da ET (t/d)	1.145,60



Exemplo de entrada de dados

Aba 'R-Avançado'

- Parâmetros definidos que podem ser alterados



Ferramenta de Rotas e Custos

Versão 1.0 - 13/01/2021

Ajuste de variáveis avançadas para realização do balanço de massa da Rota Tecnológica

Triagem

	Eficiência da triagem de resíduos (%)			
	Orgânicos	Recicláveis secos		
	Mecanizada mistos	Mecanizada mistos	Mecanizada seletivos	Manual seletivos
Valor a usar	85,0	60,0	60,0	60,0
Alta	95,0	90,0	90,0	80,0
Baixa	85,0	60,0	60,0	60,0

Produção de CDR

	Perda de massa por secagem (%)	Rejeito na produção de CDR (%)
CDRTM — seletivos	2,5	12,5
CDRTM — mistos	27,5	30,0

Tratamento biológico

Biodigestão		
Geração potencial	Biogás	Energia líquida
	Nm ³ /t	kWh/t
Alto	120	180
Médio	100	150
Baixo	80	120

Biodigestão e compostagem		
	Perda de massa (%)	
	Biodigestão	Compostagem
Alta	15,0	50,0
Média	12,0	40,0
Baixa	10,0	30,0

Compostagem	
Rejeito na peneira pós-compostagem (%)	
Alto	10,0
Baixo	5,0

CH ₄ /biogás (%)	65,0
eficiência na utilização do biogás (%)	90,0

Incineração

	%
eficiência na geração de energia elétrica	21,6
geração de cinzas	20,0
recuperação de metais das cinzas	90,0

Aterro sanitário

Eficiência na captação do biogás (%)		
Alta	Média	Baixa
50,0	30,0	10,0

Aterro sanitário

	Valor
potencial energético do biogás (MJ/Nm ³)	16,8
eficiência na geração elétrica (%)	35,0
CH ₄ /biogás (%)	60,0

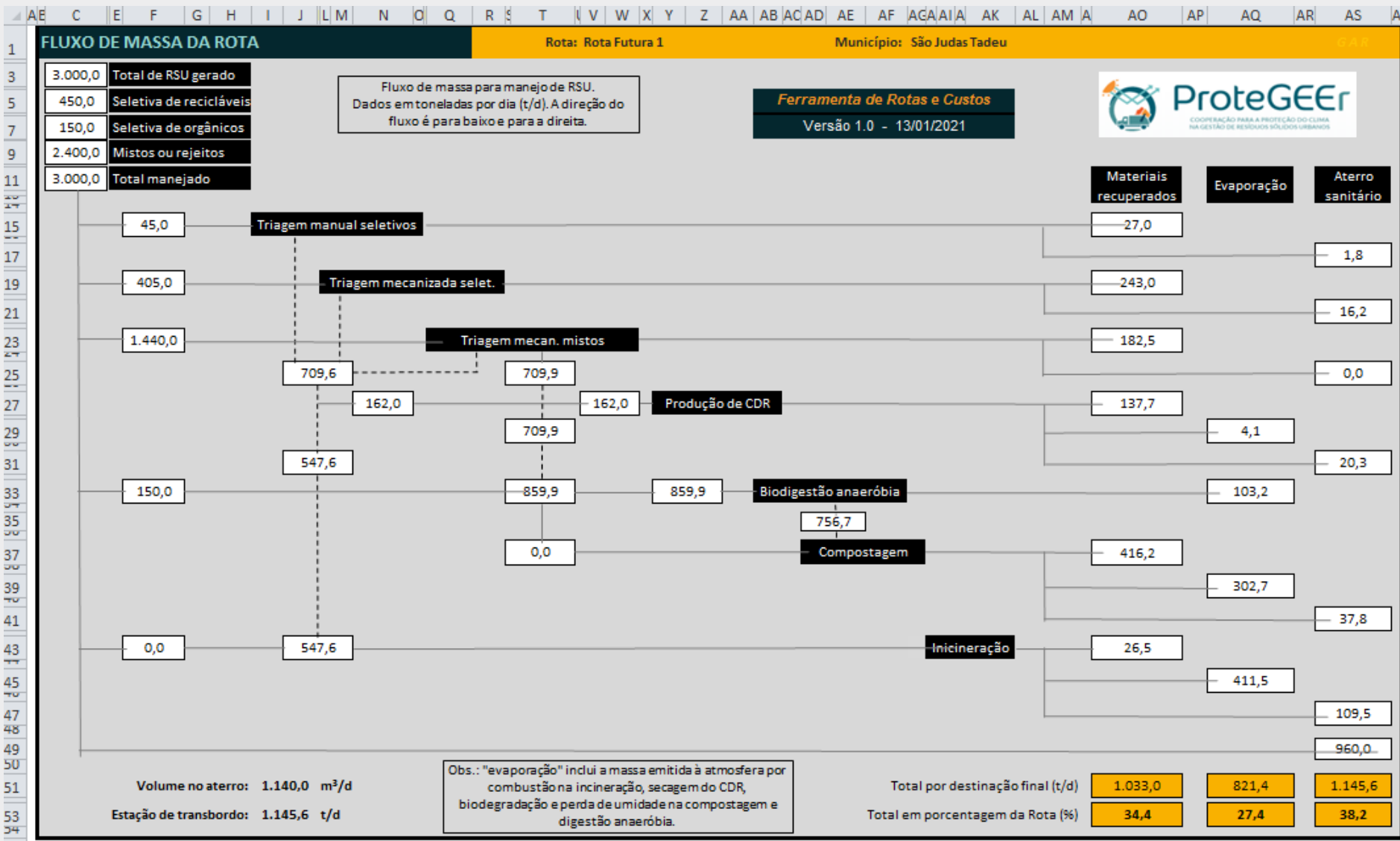
Características das frações dos resíduos (para incineração e aterro sanitário)

	Características das frações dos resíduos									
	Orgânicos		Papel e papelão	Plástico		Vidro	Metais		Rejeitos/mistos	
	Alimentos	Parques/jardins		Filme	Rígido		Ferrosos	Não ferrosos	Combustíveis	Não combustíveis
PCI — incineração (GJ/t)	3,7	3,7	10,5	25,0	28,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0
geração de biogás no aterro (Nm ³ /t)	250,0	250,0	150,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0
volume ocupado no aterro (m ³ /t)	1,11	1,11	1,05	1,04	1,04	0,51	0,32	0,93	1,11	0,70

Exemplo de saída de dados

Aba 'R-Fluxo Massa'

- Apresentação em fluxograma do balanço de massa



Exemplo de saída de dados

Aba 'R-Resumo Bal. Massa'

- Capacidades de tratamento e subprodutos por etapa

Triagem						
45,00	Manual – seletivos	45,00	27,00		18,00	
405,00	Mecanizada – seletivos	405,00	243,00		162,00	
1.440,00	Mecanizada – mistos	1.440,00	182,52	709,92	547,56	
	Subtotal	1.890,00	452,52	709,92	727,56	
Produção de CDR						
162,00	Rejeitos seletiva – triagem manual	16,20	137,70		20,25	4,05
	Rejeitos seletiva – triagem mecanizada	145,80				
	Rejeitos – triagem mistos	0,00				
	Biossecagem – orgânicos	0,00				
	Subtotal	162,00	137,70		20,25	4,05
162,00	CDR TM					
0,00	CDR TMB					
Tratamento biológico						
859,92	Biodigestão + compostagem	859,92		416,20	37,84	405,88
756,73	Compostagem	0,00				
	Subtotal	859,92		416,20	37,84	405,88
Incineração						
547,56	Mistos sem triagem	0,00	26,55		109,51	411,50
	Rejeito – seletivos (manual)	0,00				
	Rejeito – seletivos (mecanizada)	0,00				
	Rejeito – triagem mecanizada mistos	547,56				
	Subtotal	547,56	26,55		109,51	411,50
Aterro sanitário						
1.145,60	Resíduos mistos não triados	960,00				
	Rejeitos – triagem de seletivos	0,00				
	Rejeitos – triagem de mistos	18,00				
	Rejeitos – produção de CDR	20,25				
	Rejeitos – tratamento biológico	37,84				
	Cinzas – incineração	109,51				
	Subtotal	1.145,60				

Resultado final do balanço de massa		
	Massa (t/d)	(%)
Aterro	1.145,60	38,19
Material reciclável	1032,97	34,43
Evaporação*	821,43	27,38
Total	3.000,00	100,0

*Por evaporação, combustão ou biodegradação



ProteGE

Exemplo de saída de dados

Aba 'R-Resumo Bal. Massa'

- Subprodutos por etapa
- Em termos de massa (t/d) e produção de energia elétrica ou biometano

Subprodutos		Subprodutos por etapa da Rota							
		Total	Triagem			CDR	Tratamento biológico	Incineração	Aterro sanitário
t/d	Manual de seletivo		canizada de seletivo	canizada de misto					
Recicláveis	papel e papelão	185,83	11,09	99,79	74,95				
	plástico filme	126,25	7,53	67,80	50,92				
	plástico rígido	65,25	3,89	35,04	26,32				
	vidros	34,05	2,03	18,28	13,73				
	metais ferrosos	53,68	1,95	17,52	13,16			21,06	
	metais não ferrosos	14,00	0,51	4,57	3,43			5,49	
	Total de recicláveis	479,07	27,00	243,00	182,52			26,55	
	t/d								
Recicláveis orgânicos	composto para uso nobre	0,00					0,00		
	composto para uso não nobre flor	416,20					416,20		
	composto para uso não nobre - c	0,00					0,00		
	Total de orgânicos	416,20					416,20		
t/d									
CDR	fino	0,00				0,00			
	grosso	137,70				137,70			
	Total de CDR	137,70							
Energia elétrica	kWh/d	269.295,1					0,0	269.295,1	0,0
Biometano	Nm ³ /d	58.609,9					50.305,3		8.304,6
Cinzas recicladas	t/d	0,00						0,00	



Exemplo de entrada e de saída de dados

Aba 'R&C-Painel de Controle'

- Entrada de dados econômico-financeiros
- Saída de dados econômico-financeiros

Dados — Receitas Acessórias Unitárias	Unid.	Valor
Preço Médio Líquido — Venda (FOB): Papel/Papelão	R\$/t	400,00
Preço Médio Líquido — Venda (FOB): Plástico Filme	R\$/t	500,00
Preço Médio Líquido — Venda (FOB): Plástico Rígido	R\$/t	650,00
Preço Médio Líquido — Venda (FOB): Vidros	R\$/t	150,00
Preço Médio Líquido — Venda (FOB): Metais Ferrosos	R\$/t	120,00
Preço Médio Líquido — Venda (FOB): Metais Não Ferrosos	R\$/t	900,00
Preço Médio Líquido — Venda (FOB): Composto plástico	R\$/t	25,00
Preço Médio Líquido — Venda (FOB): Composto orgânico	R\$/t	0,00
Preço Médio Líquido — Venda (FOB): CDR Fino	R\$/t	126,00
Preço Médio Líquido — Venda (FOB): CDR Grosso	R\$/t	90,00
Preço Médio Líquido — Venda (FOB): Energia Elétrica	R\$/MWh	175,00
Preço Médio Líquido — Venda (FOB): Energia Elétrica	R\$/MWh	175,00
Preço Médio Líquido — Venda (FOB): Biometano	R\$/Nm³	1,15
Preço Médio Líquido — Venda (FOB): Biometano	R\$/Nm³	1,15

Custo de Tratamento + Disposição sem Coleta	Unid.	Valor
Custo de Tratamento/Disposição do RSU sem Coleta	MR\$/ha	241,986
Custo de Tratamento/Disposição do RSU sem Coleta	R\$/ha	257,71
Custo de Tratamento/Disposição do RSU sem Coleta	R\$/hab.-1.mês	9,28

Custo da Rota Tecnológica com Coleta	Unid.	Valor
Custo Total da Rota Tecnológica com Coleta	MR\$/ha	446,688
Custo Total Unitário da Rota Tecnológica com Coleta	R\$/ha	475,71
Custo Total da Rota Tecnológica com Coleta	R\$/hab.-1.mês	17,13

Exemplo de entrada e de saída de dados

Aba 'R&C-Painel de Controle'

- Entrada de dados econômico-financeiros
- Saída de dados econômico-financeiros

Informações sobre Capex & Opex Capex	Unid.	Valor
Custo de Câmbio: Real/Euro	R\$/€	5,00
Custo de Câmbio: Real/Dólar Americano	R\$/US \$	4,50
Taxas + Impostos sobre Importação de Equipament	%	50%
Preço Médio do Terreno para Construção	R\$/m²	90,00
Preço Médio do Terreno para Construção de Aterro	R\$/m²	25,00
Preço Médio de Paisagismo + Pavimentação em Co	R\$/m²	500,00
Incineração: Origem Base Tecnológica	Tecnologia Europeia	
Preço Médio do Concreto Usinado Ind. Aplicado	R\$/m³	5.000,00
Preço Médio da Construção de Galpão Industrial co	R\$/m²	1.500,00
Reajuste de Preços Nacionais vs. Março2020	%	0%
Informações sobre Capex & Opex Opex	Unid.	Valor
Salário Médio — Nível Gerencial	R\$/mês	20.000
Salário Médio — Nível Supervisão	R\$/mês	10.000
Salário Médio — Nível Operacional	R\$/mês	1.500
Regime de Contratação Oper. Triagem Manual	Regime Cooperativa	
Salário Médio — Triador/Operador Triagem Manual	R\$/mês	1.250
Custo Médio de Consumo de Energia Elétrica	R\$/MWh	375,00
Custo Fixo — Demanda de Energia Elétrica Contrat	R\$/MW ¹ .mês	25.000,00
Custo Médio de Serviço — Terceiros Auxiliares Fixo	R\$/mês	100.000,00
Custo Médio de Aluguel de Pá Carregadeira com O	R\$/Mês	25.000
Custo Médio de Aluguel de Equipamentos Móveis p	R\$/h	100,00
Custo Médio de Destinação de Efluentes Líquido	R\$/m³	35,00
Custo Médio de Óleo Diesel para Movimentação Inte	R\$/L	3,00
Custo Médio de Ureia — Abatimento das Emissões	R\$/kg	150,00
Custo Médio de Cal Hidratada — Abatimento das E	R\$/kg	0,45
Custo Médio de Carvão Ativado — Abatimento das E	R\$/kg	100,00
Custo Tarifa Média de Água Industrial para Inciner.	R\$/m³	15,00

Tecnologias de Tratamento & Disposição	Uso (Sim/Não)	Capac. (t/a)
Triagem Manual — Seletivos	Sim	15.494
% de Nacionaliz. Equipamentos % Sobred	100%	10%
Área da Unidade de Tratamento Industrial		19.918
Triagem Mecanizada	Sim	692.982
% de Nacionaliz. Equipamentos % Sobred	45%	20%
Área da Unidade de Tratamento Industrial		35.121
Produção de CDR TM — Trat. Mec.	Sim	60.847
% de Nacionaliz. Equipamentos % Sobred	30%	20%
Área da Unidade de Tratamento Industrial		2.900
Prod. CDR TMB — Trat. Mec./Biológ.	Não	0
% de Nacionaliz. Equipamentos % Sobred	20%	20%
Área da Unidade de Tratamento Industrial		0
Biodigestão Anaeróbia	Sim	322.986
% de Nacionaliz. Equipamentos % Sobred	50%	20%
Área da Unidade de Tratamento Industrial		162.759
Compostagem	Sim	236.856
% de Nacionaliz. Equipamentos % Sobred	20%	0%
Área da Unidade de Tratamento Industrial		45.788
Incineração	Sim	205.664
% de Nacionaliz. Equipamentos % Sobred	20%	20%
Área da Unidade de Tratamento Industrial		96.000
Aterro Sanitário	Sim	358.572
% de Nacionaliz. Equipamentos % Sobred	100%	0%
Área Total Aterro Sanitário	360.375	
% de Nacionaliz. TOTAL dos Invest.	34%	
Área Total da Unidade de Tratamento de Re	362.485	
Total de RSU Manejado no Tratamento/Disposição		939.000

Tecnologias de Tratamento & Disposição	Capex (MR\$)	Capex (R\$/t entr)
Triagem Manual — Seletivos	28.523	1.841
Capex t RSU	30	
<i>Reinvestimento a cada 5 anos</i>	0,433	
Triagem Mecanizada	245.131	354
Capex t RSU	261	
<i>Reinvestimento a cada 5 anos</i>	4,849	
Produção de CDR TM — Trat. Mec.	24.237	398
Capex t RSU	26	
<i>Reinvestimento a cada 5 anos</i>	0,502	
Produção de CDR TMB — Trat. Mec./Biológ.	0	0,000
Capex t RSU	0	
<i>Reinvestimento a cada 5 anos</i>	0	
Biodigestão Anaeróbia	343,017	1.062
Capex t RSU	365	
<i>Reinvestimento a cada 5 anos</i>	5,596	
Compostagem	82,607	349
Capex t RSU	88	
<i>Reinvestimento a cada 5 anos</i>	4,737	
Incineração	891,623	4.335
Capex t RSU	950	
<i>Reinvestimento a cada 5 anos</i>	9,326	
Aterro Sanitário	52,787	147
Capex t RSU	56	
<i>Capex Encerramento Aterro Sanitário: após 20 an</i>	51,677	7
<i>Reinvestimento Total Flota (cada 5 anos)</i>	25,442	-
Total CAPEX do Trat. / Disp. do RSU	1.667,925	1.776

Dados de Custos Econômicos	Unid.	Valor
Custo de Coleta e Transporte — Seletiva Secos	R\$/t	450
Custo de Coleta e Transporte — Seletiva Orgânicos	R\$/t	450
Custo Coleta e Transporte — Mistos/Rejeitos	R\$/t	150
Custo Operação Estação Transbordo Coleta Mistos	R\$/t	10
Custo Transporte Unidade Tratamento Resíduos ate	R\$/t	50
Custo calculado na Aba 'Aterro Sanitário'	R\$/t	
Custo Médio CIF para Disposição Aterro Resíduos F	R\$/t	250

Receitas Acessórias	Unid.	Valor
Pot. Receita Acessória — Venda Materiais Recicláv	MR\$/a	69,525
Pot. Receita Acessória — CDR	MR\$/a	3,879
Pot. Receita Acessória — Composto Orgânico	MR\$/a	0,000
Pot. Receita Acessória Energia Elétrica — Incineraç	MR\$/a	13,276
Pot. Receita Acessória Energia Elétrica — Biodiges	MR\$/a	0,000
Pot. Receita Acessória Energia Elétrica — Aterro	MR\$/a	0,000
Pot. Receita Acessória Biometano — Biodigestão	MR\$/a	18,107
Pot. Receita Acessória Biometano — Aterro	MR\$/a	2,989
Pot. Receita Acessória — Venda Mat. Recicl. — Tri	MR\$/a	4,022
Pot. Receita Acessória Total — Tratamento	MR\$/a	107,776
Pot. Receita Acessória Total por t RSU	R\$/t	115
Pot. Receita Acessória Total <i>per capita</i>	R\$/hab. ¹ .mês	4,1

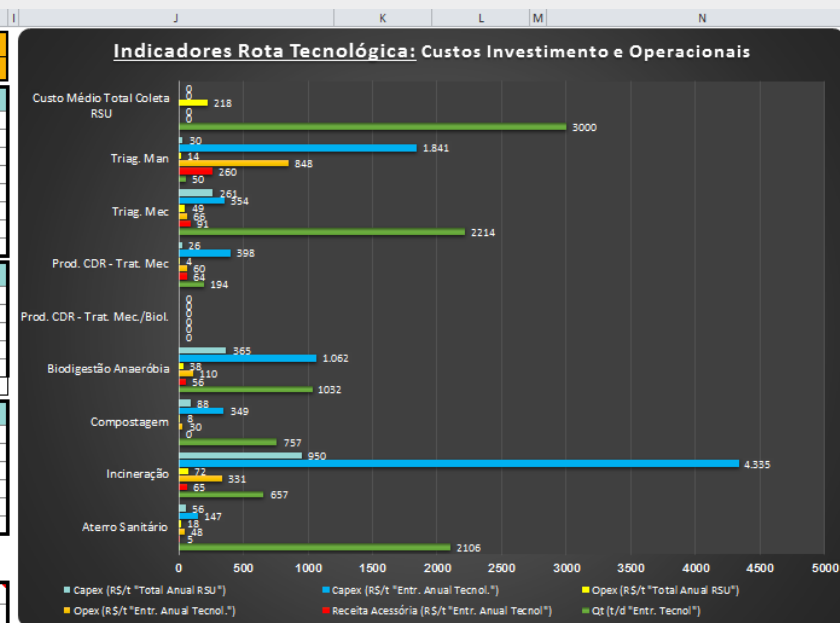
Custos de Coleta e Transbordo	Unid.	Valor
Custo da Coleta Seletiva — Secos	MR\$/a	63,383
Custo da Coleta Seletiva — Orgânicos	MR\$/a	21,128
Custo da Coleta Convencional Mistos/rejeitos	MR\$/a	112,680
Custo da Operação — Estação Transbordo Col. Mi	MR\$/a	7,512
Custo Total da Coleta de RSU	MR\$/a	204,702
Custo Total Unitário da Coleta de RSU	R\$/t	218
Custo Total da Coleta de RSU <i>per capita</i>	R\$/hab. ¹ .mês	7,8

Exemplo de entrada e de saída de dados

Aba 'R&C-Painel de Controle'

- Entrada de dados econômico-financeiros
- Saída de dados econômico-financeiros

Município		São Judas Tadeu	
Rota		Rota Futura 1	
RESUMO — GESTÃO DE QUANTITATIVOS População Atendida hab. 2.500.000 Geração Diária de RSU t/d 3.000 Geração Anual de RSU t/a 939.000 Quantidade de Resíduo Disposto em Aterro t/a 358.572 % Desvio do aterro sanitário % 61,8% Qt. Mistos não triados Direto para aterro t/a 300.480 Índice de reciclagem relativo ao total de RS % 16,0% Eficiência Reciclagem Secos sobre Potencial Total % 50,1%		RESUMO — GESTÃO ECONÔMICA Custo Total da Coleta de RSU $\text{R\$/t/a}$ 0,000 Custo Total da Coleta de RSU $\text{R\$/RSU}$ 0,00 Custo Total das Tecnologias de Tratamento $\text{R\$/t/a}$ 190.424 Custo Serviço Transporte + Disposição Aterro Sanit. $\text{R\$/t/a}$ 51,562 Custo Total Rota Tecnológica SEM Coleta $\text{R\$/t/a}$ 241,986 Receita Acessória — Tratamento de RSU por $\text{R\$/t/a}$ 107,776 Custo Total Rota Tecnológica SEM Coleta e $\text{R\$/t/a}$ 241,986 Custo Total Rota Tecnológica SEM Coleta e SEM RI $\text{R\$/RSU}$ 257,71	
RESUMO — QUANTITATIVOS DE SUBSTRATOS Total de Material Reciclável Recuperado t/a 149.948 Qt. Material Reciclável Recuperado — Triagem Manual t/a 8.451 Total de Composto para Uso Nobre Produzido t/a 130.271 Total de CDR Produzido t/a 43.100 Total de Energia Elétrica Produzida MWh/a 75.860 Total de Biometano Produzido Nm^3/a 18.344.909		RESUMO — INVESTIMENTO E CONTRATO Investimento Total — Tecnol. de Trat. de RS $\text{R\$}$ 1.667.925 % Nacionalização do Total dos Investiment % 34% Investimento Total — Capex $\text{R\$/RSU}$ 1,967 Reinvestimento Total Rota (cada 5 anos) $\text{R\$}$ 25.442 Provisão Capex — Fechamento do aterro após 20 an $\text{R\$}$ 51.677	
PREMISSAS PARA DEFINIÇÃO DO CONTRATO Simulação de Contrato Incluindo Coleta Sim / Não Não Simulação de Contrato Incluindo Receitas A Sim / Não Não Compartilhamento Receitas Acessórias com Conced % 0% Estimativa de Crescimento Populacional Anual % 0,0% Referência — Produto de Financiamento CEF/BNDES CEF Despesa Anual Gestão/Administração do Cont. $\text{R\$/a}$ 1,500 Custos de Investimento Programas Socioambient $\text{R\$/a}$ 1,500 Custos de Investimento Itens Específicos do C $\text{R\$/a}$ 1,500		ESTIM. TARIFA E RENTAB. INVESTIMENTO VPI Total Investimento no Prazo do Contrato $\text{R\$/a}$ 1.847,387 CMPC — Custo Médio Pond. Capital (WACC) % 10,6% Índice de Retorno do Inv.: Pay Back a 26 Índice de Retorno do Inv.: VPL $\text{R\$/a}$ 0,000 Índice de Retorno do Inv.: TIR % 0,0% Taxa de Lucratividade do Investimento % 100%	
Prazo do Contrato a 25 Estimativa Preliminar de Tarifa — Contrato $\text{R\$/t RSU}$ 335,37		Valor Total de Pagamentos no Prazo do Contrato 000 R\$ 7,873 VBC — Valor Bás. Cálculo: Rec. Diretas/Nr Economias $\text{R\$/mov.}^4 \cdot \text{m}^2$ 28,53	
Dados de Geração e Coleta de RSU População Atendida hab. 2.500.000 Geração per capita de RSU $\text{kg.hab.}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 1,03 Geração Diária de RSU t/d 3.000 Geração Mensal de RSU t/mês 78.250 Geração Anual de RSU t/a 939.000 Coleta Seletiva — Secos Recicláveis t/a 140.850 Coleta Seletiva — Orgânicos t/a 46.950 Coleta Convencional — Mistos/rejeitos t/a 751.200 Quantidade de Resíduo Disposto em Aterro t/a 358.572 % Desvio do Aterro Sanitário % 62% Qt. Mistos não triados Direto para aterro t/a 300.480		Resumo da Produção Total de Substratos Material Reciclável t/a 149.948 Composto para Uso Nobre Produzido t/a 0 Composto para Uso Não Nobre Produzido t/a 130.271 CDR Grosso Produzido t/a 43.100 CDR Fino Produzido t/a 0 Energia Elétrica Produzida MWh/a 75.860 Biometano Produzido Nm^3/a 18.344.909	



Dados da Produção de Substratos de RSU	Unid.	Valor	Dados da Produção de Substratos de RSU
Mat. Recicl.: Papel/Papelão — Triagem Mecanizada	t/a	54.635	Mat. Recicl.: Papel/Papelão — Triagem Manual
Mat. Recicl.: Plástico Filme — Triagem Mecanizada	t/a	37.159	Mat. Recicl.: Plástico Filme — Triagem Manual
Mat. Recicl.: Plástico Rígido — Triagem Mecanizada	t/a	19.206	Mat. Recicl.: Plástico Rígido — Triagem Manual
Mat. Recicl.: Vidros — Triagem Mecânica	t/a	10.020	Mat. Recicl.: Vidros — Triagem Manual
Mat. Recicl.: Metais Não Ferrosos — Triagem Mecanizada	t/a	2.505	Mat. Recicl.: Metais Não Ferrosos — Triagem Manual
Mat. Recicl.: Metais Ferrosos — Triagem Mecanizada	t/a	9.603	Mat. Recicl.: Metais Ferrosos — Triagem Manual
Mat. Recicl.: Metais Não Ferrosos — Incineração	t/a	1.719	Energia Elétrica — Biodigestão
Mat. Recicl.: Metais Ferrosos — Incineração	t/a	6.590	Energia Elétrica — Incineração
CDR Grosso Produzido — Trat. Mec.	t/a	43.100	Energia Elétrica — Biogás de Aterro
CDR Grosso Produzido — Trat. Mec. Biológico	t/a	0	Biometano — Biodigestão
CDR Fino Produzido — Trat. Mec.	t/a	0	Biometano — Aterro Sanitário
CDR Fino Produzido — Trat. Mec. Biológico	t/a	0	
Composto para Uso Nobre Produzido — Compostagem	t/a	0	
Composto para Uso Não Nobre Produzido — Compostagem	t/a	130.271	

Resumindo...

A Ferramenta Rotas e Custos:

- Permite simular diferentes Rotas para o manejo de RSU
- Somente tecnologias consolidadas podem ser simuladas como parte da rota
- Parâmetros de entradas são fornecidos pelo usuário
- Há parâmetros de eficiências já predefinidas que podem ser alterados
- Há limitadores em relação a capacidades mínimas necessárias
- Faz o balanço de massa e estima geração de energia da rota
- Simula custos da rota (e por etapa da rota): Capex, Opex, custo unitário
- Tem uma rotina de cálculo estimativo de tarifa



Um outro exemplo de emissão ou mitigação de GGE em rotas de tratamento de RSU

Rotas	Emissão de GEE por etapa da rota (kg CO ₂ eq./t)							
	Coleta	Triagem	Tratamento biológico	Tratamento Térmico	Aterro	Total (sem reciclagem)	Reciclagem	Total (com reciclagem)
ROTA 1	47,7	0,1	0	0	510	557,8	-149,6	408,2
ROTA 2	45,9	0,1	0,9	0	36,3	83,2	-720,2	-637
ROTA 3	45,9	0,1	-0,9	0	35,5	80,6	-719,2	-638,7
ROTA 4	45,9	0,1	2,1	424,8	1,5	474,4	-720,9	-246,5

Fonte: Mersoni (2015)



ProteGEEr

Indicadores de sustentabilidade

Ambientais

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

Sociais

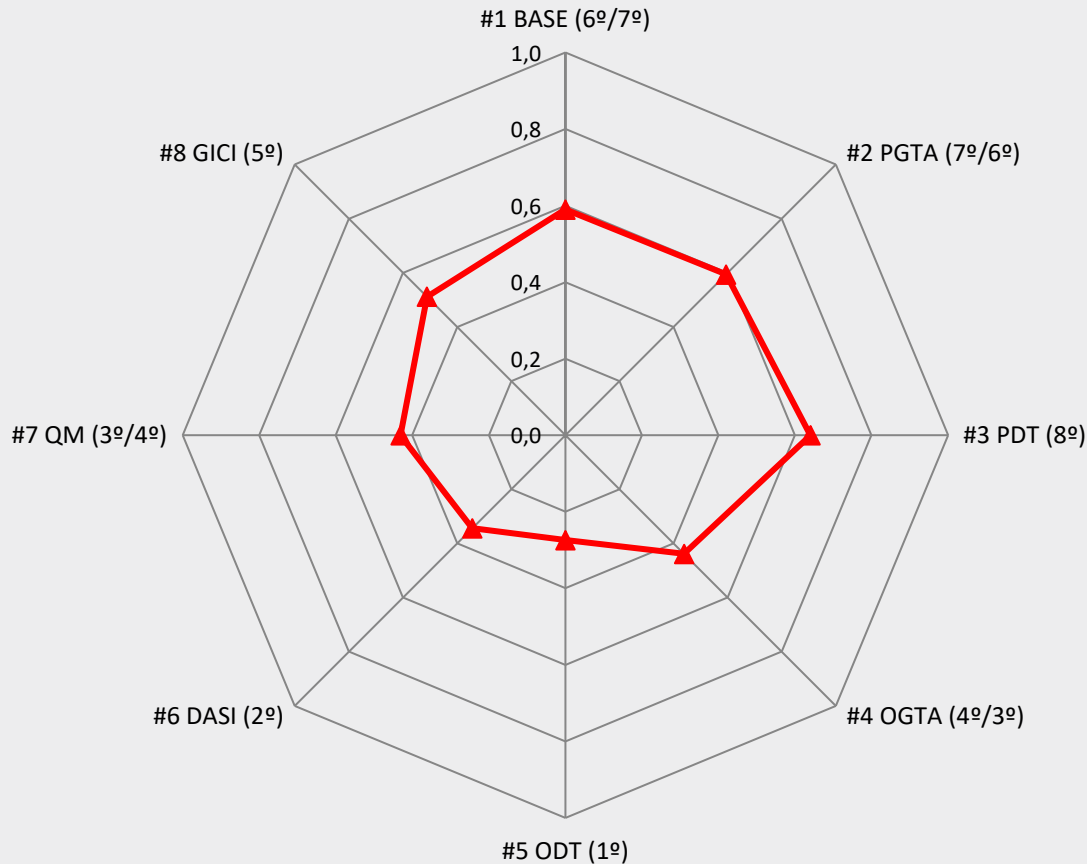
- Odor
- Impacto visual
- Uso espaço urbano
- Uso espaço privado
- Complexidade
- Quantidade de empregos gerados
- Qualidade dos empregos gerados
- Taxa de reciclagem

Econômicos

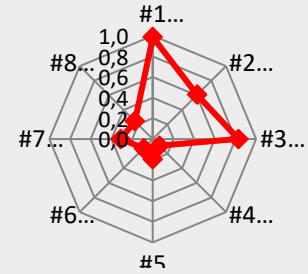
- Custo por tonelada, por domicílio e por pessoa
- Custo do SGMIRS como porcentagem do orçamento total do município
- Custo por pessoa como porcentagem do valor do salário mínimo
- Relação entre receitas e despesas do SGMIRS



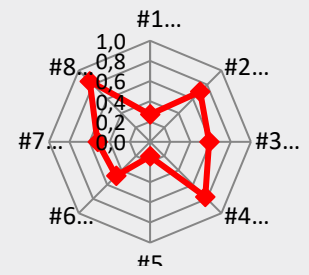
Exemplo de hierarquização de Rotas – ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE GERAL



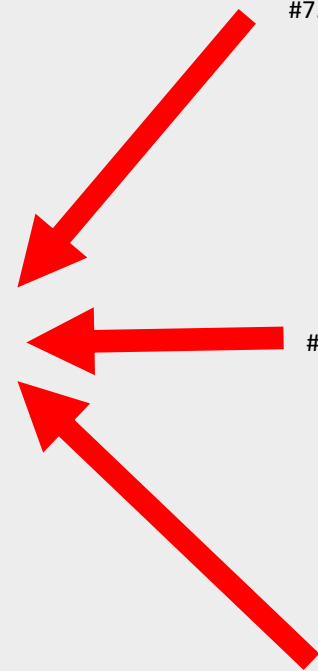
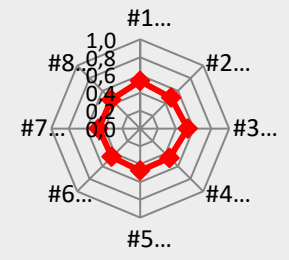
Amb.



Econ.



Soc.



ProteGEEr

Fonte: Reichert (2013)

O que fica de tudo que conversamos...

- É preciso encerrar e remediar os “lixões”
- O aterro sanitário por algum tempo ainda será muito utilizado
- Necessário aumentar a reciclagem e destinar somente rejeitos ao aterro
- Novas tecnologias de tratamento devem ser implantadas
- Nenhuma tecnologia sozinha resolve o problema
- Tecnologias devem consolidadas e sustentáveis
- O conceito de rota tecnológica é importante (coleta → tratamento → aterro)
- Escala dos projetos → importância das soluções conjuntas / regionalização
- Sustentabilidade financeiras → cobrança de taxas ou tarifas
- Participação social da escolha da rota
- Educação para o correto manejo de resíduos (já que o sistema e manejo começa já nas casas das pessoas, na separação correta)
- Usar “tecnologia” também na escolhas da rota → ferramentas e modelos de apoio à tomada de decisão



Muito obrigado pela sua atenção!

Geraldo Antônio Reichert

Engenheiro Civil e Doutor em Saneamento Ambiental

Correio-E: Geraldo.603@gmail.com



ProteGEEr

COOPERAÇÃO PARA A PROTEÇÃO DO CLIMA
NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS