

Aproveitamento Energético de Resíduos: Processos Termoquímicos

Prof. Dr. Sérgio Peres
sergio.peres@upe.br
31.08.2021

- A **Universidade de Pernambuco (UPE)** é uma universidade pública estadual multicampi, situada no Estado de Pernambuco, Brasil. Originalmente Fundação de Ensino Superior de Pernambuco (FESP), foi fundada no ano de 1965.
- A UPE oferece 59 cursos de graduação, 17 cursos de mestrado, 6 cursos de doutorado e 114 cursos de pós-graduação Lato Sensu.
- Em 2021, a UPE foi classificada como a 45ª melhor universidade do Brasil e a 100ª melhor da América Latina no Times Higher Education University Rankings (THE).
- Foi considerada a melhor universidade estadual do Norte-Nordeste do Brasil em termos de pesquisa e internacionalização no ranking da Folha de S. Paulo, em 2017.
- A Escola Politécnica de Pernambuco foi criada em 6 de março de 1912. Uma das 10 mais antigas escolas de engenharia do Brasil.



Escola Politécnica de Pernambuco



O ProteGEEr é um projeto de cooperação técnica entre o Brasil e a Alemanha para promover uma gestão sustentável e integrada dos resíduos sólidos urbanos, articulada com as políticas de proteção do clima.

www.protegeer.gov.br
www.teach4waste.com



POR ORDEM DO



Ministério Federal
de Ambiente, Proteção da Natu
e Segurança Nuclear

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



- 1. Aspectos Gerais**
- 2. Análises necessárias para determinação da tecnologia**
- 3. Processos Termoquímicos**
 - **Combustão**
 - **Gaseificação**
 - **Pirólise**
- 4. Emissões**
- 5. Considerações finais**

1. ASPECTOS GERAIS

Motivação: Objetivos do desenvolvimento sustentável -ONU



Motivação: Objetivos do desenvolvimento sustentável -ONU



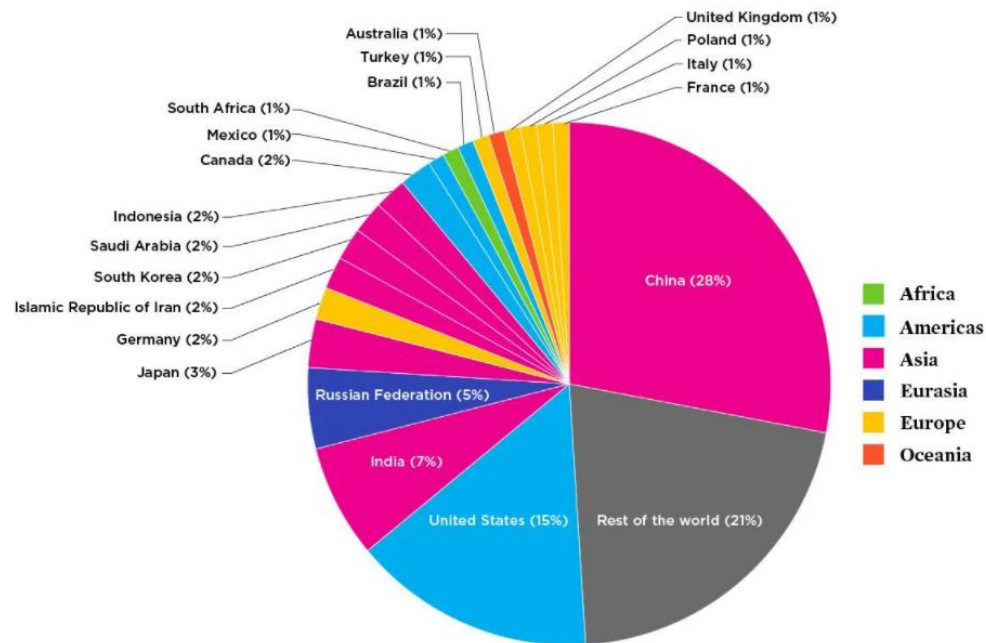
Quase todos os objetivos estão interligados, refletem num uso racional dos recursos naturais e na produção, reuso, reciclagem, forma do descarte e do uso para fins energéticos dos resíduos.

Motivação: Mudanças climáticas



Fontes: <http://www.anpii.org.br/biotecnologia-contribui-para-reducao-da-emissao-de-gases-de-efeito-estufa/>
<https://blog.waycarbon.com/2017/05/emissao-de-gases-mitos-verdades/>

EMISSIONS OF GEE IN THE WORLD



© 2020 Union of Concerned Scientists
Data: Earth Systems Science Data 11, 1783-1838, 2019

Fonte: Union of Concerned Scientists (2020)

Motivação: NOTÍCIAS DOS RSU E GEE EM PE

MEIO AMBIENTE

Notícia

Lixo urbano foi principal responsável pela emissão de gases em Pernambuco

A constatação está no Inventário Estadual de Emissões de Gases de Efeito Estufa (2015-2018)

Publicado em 07/11/2019, às 09h25



Tasso Azevedo, coordenador do Observatório do Clima (OC), na Conferência Brasileira de Mudança do Clima (CBMC)

Foto: Adriana Guarda / JC

ADRIANA GUARDA
adrianaguarda@gmail.com

A produção de resíduos urbanos, o popular lixo, foi a principal responsável pela emissão de gases do efeito estufa em Pernambuco em 2018. A constatação está no Inventário Estadual de Emissões de Gases de Efeito Estufa (2015-2018), divulgado nessa quarta-feira (06) durante o primeiro dia da Conferência Brasileira de Mudança do Clima, no Recife. **Apesar de o Estado não se posicionar entre os mais poluidores do País**, chama

Fonte <https://jconline.ne10.uol.com.br/canal/economia/pernambuco/noticia/2019/11/07/lixo-urbano-foi-principal-responsavel-pela-emissao-de-gases-em-pernambuco-392225.php>

MEIO AMBIENTE

Notícia

Publicado em 07/11/2019, às 09h25



Foto: Adriana Guarda / JC

ADRIANA GUARDA
adrianaguarda@gmail.com

Pernambuco emitiu 21 milhões de toneladas de CO₂-eq. Em 2018 e 29,2% foi proveniente dos RSU.

teach4waste Aproveitamento energético de Resíduos: Processos Termoquímicos -31.08.2021 | Slide 11

Motivação: NOTÍCIAS DOS RSU E GEE EM PE

MEIO AMBIENTE

Notícia

Lixo urbano foi principal responsável pela emissão de gases em Pernambuco

A constatação está no Inventário Estadual de Emissões de Gases de Efeito Estufa (2015-2018)

Publicado em 07/11/2019, às 09h25



Tasso Azevedo, coordenador do Observatório do Clima (OC), na Conferência Brasileira de Mudança do Clima (CBMC)
Foto: Adriana Guarda / JC

ADRIANA GUARDA
adrianaguarda@gmail.com

A produção de resíduos urbanos, o popular lixo, foi a principal responsável pela emissão de gases do efeito estufa em Pernambuco em 2018. A constatação está no Inventário Estadual de Emissões de Gases de Efeito Estufa (2015-2018), divulgado nessa quarta-feira (06) durante o primeiro dia da Conferência Brasileira de Mudança do Clima, no Recife. **Apesar de o Estado não se posicionar entre os mais poluidores do País**, chama

Pernambuco emitiu 21 milhões de toneladas de CO₂-eq. Em 2018 e 29,2% foi proveniente dos RSU.

Apesar de parecer contraditório, o aumento das emissões de gases do efeito estufa foi provocado pela destinação correta dos resíduos sólidos nos aterros, ao invés do descarte nos lixões. “É uma questão complexa, mas ao mesmo tempo interessante e que gera oportunidades de negócios. A questão é que no aterro o fator de correção para o metano é equivalente a 1 e no lixão, a 0,6. Na prática, isso quer dizer que a emissão é maior no aterro do que no lixão.

Fonte <https://jconline.ne10.uol.com.br/canal/economia/pernambuco/noticia/2019/11/07/lixo-urbano-foi-principal-responsavel-pela-emissao-de-gases-em-pernambuco-392225.php>

Motivação: NOTÍCIAS DOS RSU E GEE EM PE

G1

PERNAMBUCO 

Lixo, esgoto e agropecuária lideram emissão de gases do efeito estufa em Pernambuco, aponta inventário

Dados foram apresentados na Conferência Brasileira de Mudança de Clima, no Recife, nesta quarta (6). No Brasil, etanol e energia eólica impediram emissão de mais poluentes.

Por Beatriz Castro, TV Globo

06/11/2019 20h09 - Atualizado há um dia



Fonte: <https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2019/11/06/lixo-esgoto-e-agropecuaria-lideram-emissao-de-gases-do-efeito-estufa-em-pernambuco-aponta-inventario.ghtml>

Motivação: NOTÍCIAS DOS RSU NO BRASIL

79
milhões

DE TONELADAS
DE RESÍDUOS
FORAM GERADAS
EM 2018

72,7
milhões
foram
coletadas

6,3
milhões
não-foram
coletadas

Fonte: ABRELPE, 2019

Motivação: NOTÍCIAS DOS RSU NO BRASIL

79
milhões

DE TONELADAS
DE RESÍDUOS
FORAM GERADAS
EM 2018

72,7

milhões
de ton
foram
coletadas

43,3

milhões de
ton - aterros
sanitários

29,5

milhões de
ton - aterros
controlados e
lixões

Fonte: ABRELPE, 2019

Motivação: NOTÍCIAS DOS RSU NO BRASIL

79
milhões

DE TONELADAS
DE RESÍDUOS
FORAM GERADAS
EM 2018

72,7
milhões
de ton
foram
coletadas

43,3
milhões de
ton - aterros
sanitários

29,5
milhões de
ton - aterros
controlados e
lixões

3.001 municípios

Fonte: ABRELPE, 2019

Motivação: NOTÍCIAS DOS RSU NO BRASIL



Fonte: Natasha Olsen, Agosto 2020

Motivação: NOTÍCIAS DOS RSU EM PERNAMBUCO



Presença de catadores

Fonte: TCE-PE, 2018

Motivação: NOTÍCIAS DOS RSU EM PERNAMBUCO



Lixiviado e presença de animais

Fonte: TCE-PE, 2018

Motivação: NOTÍCIAS DOS RSU EM PERNAMBUCO



Fonte: TCE-PE, 2018

RSU em combustão no lixão

Motivação: NOTÍCIAS DOS RSU EM PERNAMBUCO

15/09/2015 20h13 - Atualizado em 15/09/2015 20h13

Mesmo com política de resíduos, 70% dos municípios de PE utilizam lixões

Levantamento foi feito pelo Tribunal de Contas do Estado (TCE).
Apenas 32 cidades (17%) utilizam aterros sanitários adequados no estado.

Do G1 PE



Lixões ainda atendem maioria dos municípios de Pernambuco (Foto: Reprodução / TV Globo)

02/08/2014 10h06 - Atualizado em 02/08/2014 11h37

Municípios de PE não se adequam à Política Nacional de Resíduos Sólidos

De acordo com lei federal, prazo para acabar com lixões é este sábado.
Dos 185 municípios pernambucanos, apenas 23 possuem aterros sanitários.

Do G1 PE



De acordo com Secretaria de Meio Ambiente, apenas 23 municípios recolhem lixo a aterros sanitários com operação regular. (Foto: Gil Oliveira/G1)

Motivação: NOTÍCIAS DOS RSU EM PERNAMBUCO

15/09/2015 20h13 - Atualizado em 15/09/2015 20h13

Mesmo com política de resíduos, 70% dos municípios de PE utilizam lixões

Levantamento foi feito pelo Tribunal de Contas do Estado (TCE).
Apenas 32 cidades (17%) utilizam aterros sanitários adequados no estado.

Do G1 PE



Lixões ainda atendem maioria dos municípios de Pernambuco (Foto: Reprodução / TV Globo)

02/08/2014 10h06 - Atualizado em 02/08/2014 11h37

Municípios de PE não se adequam à Política Nacional de Resíduos Sólidos

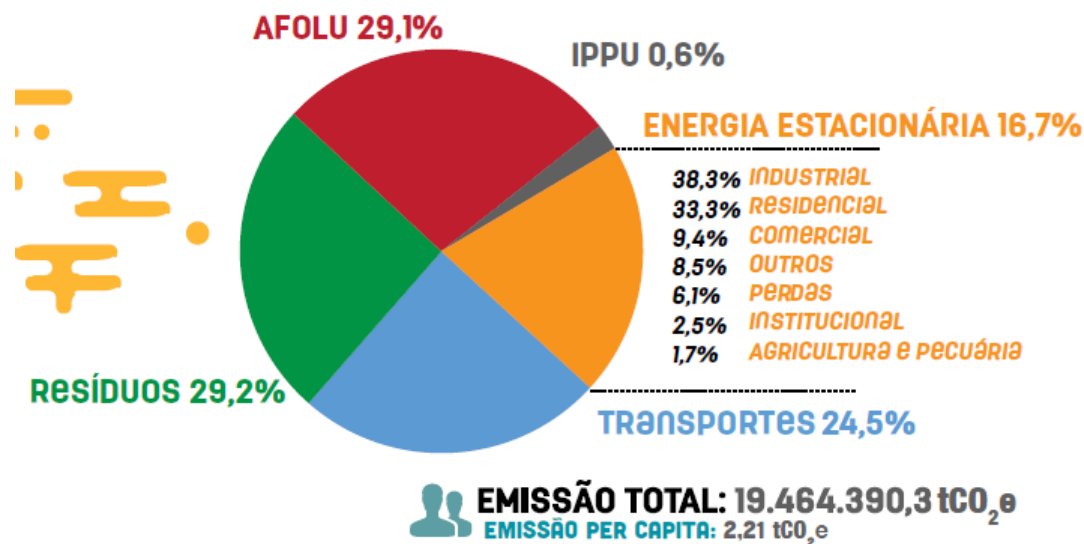
De acordo com lei federal, prazo para acabar com lixões é este sábado.
Dos 185 municípios pernambucanos, apenas 23 possuem aterros sanitários.

Do G1 PE



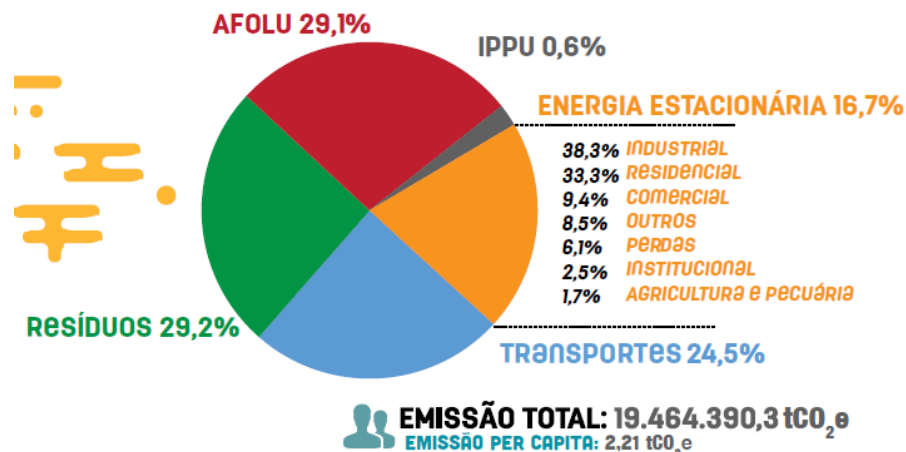
De acordo com Secretaria de Meio Ambiente, apenas 23 municípios recolhem lixo a aterros sanitários com operação regular. (Foto: Gil Oliveira/G1)

Motivação: EMISSÕES de GEE em PERNAMBUCO



Fonte: SEMAS- INVENTÁRIO DE GEE DE PE (2019)

Motivação: EMISSÕES de GEE em PERNAMBUCO



RESÍDUOS



Tratamento de efluentes
Resíduos sólidos urbanos

TOTAL: 6.131.767,4 tCO₂e

Fonte: SEMAS- INVENTÁRIO DE GEE DE PE (2019)

Motivação:



Renováveis País ganha primeiros projetos de “waste-to-energy”

Energia do lixo entra na mira de investidores

Leticia Facchinno
De São Paulo

Amplamente adotada em países europeus e asiáticos, a recuperação energética de resíduos sólidos começa a dar seus primeiros passos no Brasil, com empresas nacionais e multinacionais se movimentando para viabilizar projetos em diferentes escalas.

O principal impulso ao segmento promete vir do próximo leilão de energia nova “A-5” do governo. Marcado para setembro, o certame é o primeiro a ter uma categoria específica para contratar soluções de recuperação energética do lixo urbano. Mas algumas iniciativas, independentes da licitação, já vêm saindo do papel.

A ZEG Ambiental, empresa do grupo Capital Energia, vai inaugurar nos próximos meses unidades de “waste-to-energy” (WTE) em fábricas da Neotech Soluções Ambientais e da Nexa Resources, companhia de metais da Votorantim.

Os dois projetos vão testar uma tecnologia proprietária da ZEG que viabiliza usinas de recupera-

ção energética em pequena e média escala. Batizada de “Flashbox”, a solução envolve um reator que transforma resíduos em “gás de síntese”, um combustível renovável que pode ser usado em processos industriais ou para a geração de energia elétrica.

Em agosto, entra em operação o projeto junto à Neotech em Uberaba (MG), onde são tratados resíduos da Oasudim, de defensivos agrícolas. Com capacidade para processar 970 toneladas por mês, a unidade substituirá o uso de gás liquefeito de petróleo (GLP) num dos processos da Neotech. Já no caso da Nexa, a partir de novembro a usina da ZEG fornecerá vapor para a unidade de zinco de Juiz de Fora (MG), substituindo até 50% do consumo de combustível fóssil.

Juntas, os dois projetos somam investimentos de R\$ 50 milhões, com recursos próprios da ZEG.

A tecnologia foi pensada para resolver o problema do lixo urbano, mas, para testá-la comercialmente, a nota inicial foram clientes industriais, explica André Tchernobily, CEO da ZEG Ambiental e um dos desenvolvedores do “Flashbox”. “Estamos



Tchernobily, CEO da ZEG Ambiental: “Estamos conversando com operadores de lixo e de gestão de aterro para instalação de ecoparques a partir de 2022”

tomando cuidado para desenvolver o mercado brasileiro”.

O Brasil está atrasado na agenda de recuperação energética de resíduos, mas a oportunidade é enorme. Segundo a Abren, entidade do setor, mais de 90% dos resíduos seguem para aterros sanitários sem qualquer tipo de tratamento — além dos riscos ambientais e à saúde pública, há uma enorme oportunidade desperdiçada para a geração de energia.

Opala possui algumas unidades que capturam biogás em aterros sanitários para produzir energia ou biometano, mas nenhuma que reaproveite o poder calorífico do lixo a partir da incineração que utiliza um método comum em países europeus e asiáticos chamado “mass burning”. A principal dificuldade para a aplicação local dessa solução é o elevado custo dos equipamentos, o que inviabiliza projetos em pequena escala.

“A incineração torna-se viável em municípios acima de 700 mil habitantes. Tecnologicamente, como a ZEG, abrem novas possibilidades para cidades menores”, afirma Yuri Schmitke, presidente da Abren.

Schmitke aponta ainda que as vantagens das usinas “waste-to-energy” são conhecidas há anos. Segundo o 5º relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas da ONU (IPCC), esses empreendimentos reduzem em 8 vezes as emissões de gases de efeito estufa quando comparados com os aterros com sistema de captura de metano, e são a forma mais eficaz para mitigação dos gases de efeito estufa

dos resíduos sólidos urbanos. A expectativa é que o setor gane impulso com o leilão “A-5”, que poderá viabilizar usinas de grande porte. Segundo a Abren, três dos 12 projetos cadastrados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) para o certame estão em estágio mais avançado, já com licenciamento ambiental.

No total, esses três empreendimentos somam 150 MW dos 315 MW habilitados pela EPE, e estão sendo desenvolvidos pelo grupo Lara, de gestão de aterros, em Maná (SP); pela Orion Valorização de Resíduos, em Barneri (SP); e pela Ciclus, no Rio de Janeiro.

Com as movimentações recentes na área, o presidente da entidade setorial afirma que vários grupos internacionais começaram a estudar oportunidades no

Brazil. Ele cita como exemplos Veolia, Hitachi Zosen Inova (HZI) e Babcock & Wilcox (B&W). A ZEG não chegou a inscrever projetos para o leilão, mas está avançando com negociações para tirar o papel suas primeiras unidades de recuperação de lixo urbano no ano que vem. “Conversamos com operadores de lixo e de gestão de aterro, já estamos com quatro memorandos de entendimento para implementação de ecoparques a partir de 2022, no Estado de São Paulo e em no Sul do país”.

**Leilão A-5 “Energias Novas”
previsto para setembro/2021**

Fonte: Valor Econômico – 17/08/2021

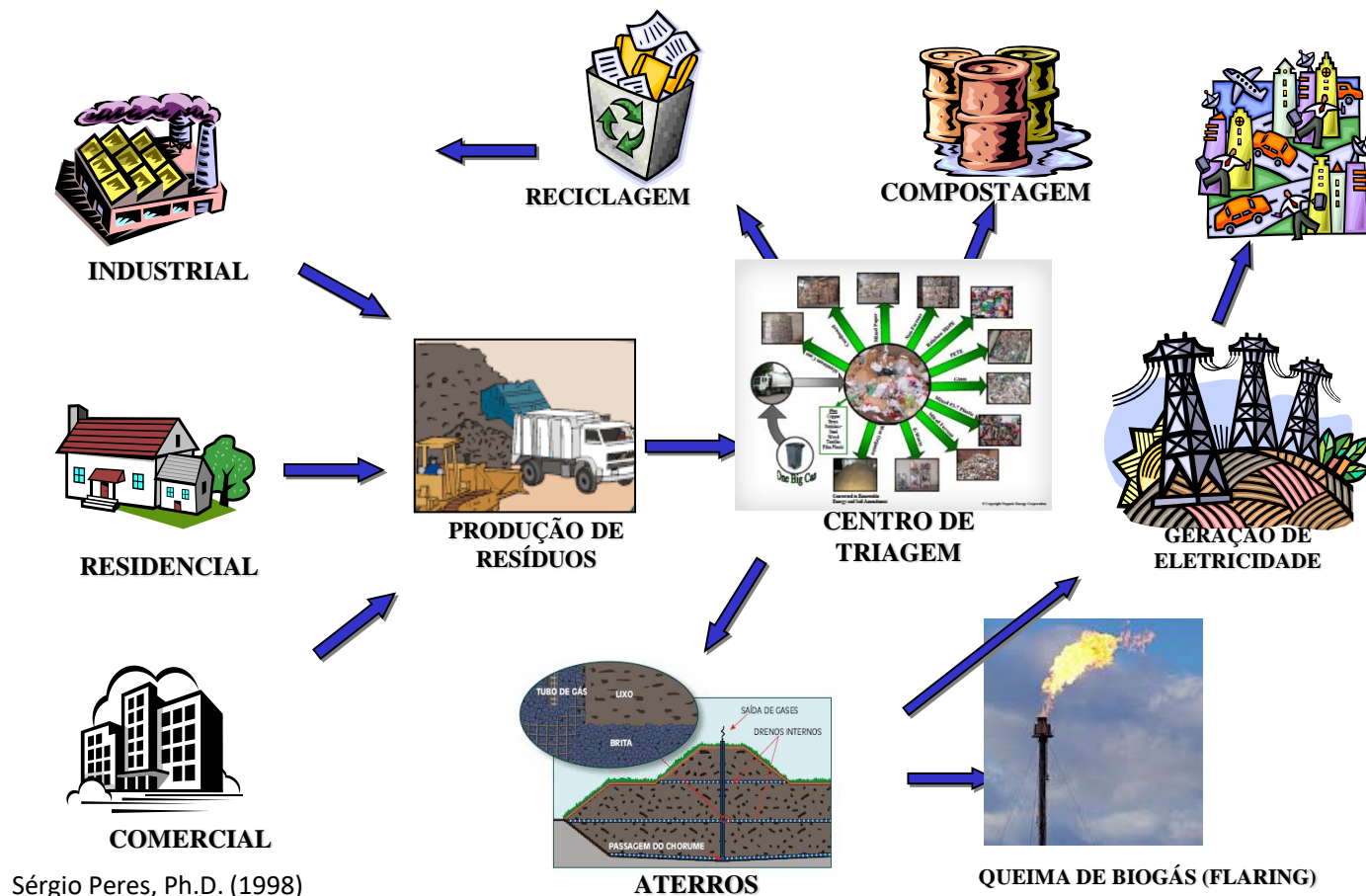
Introdução

- Esta apresentação tem o intuito de contribuir com informações sobre o uso energético de resíduos que são dispostos de forma “pouco nobre” em aterros e lixões. E, que vá para os aterros apenas os “rejeitos” conforme estabelecido no Art. 3º, Capítulo 1 da Lei **12.305**, de 02/08/2010 .

REJEITOS

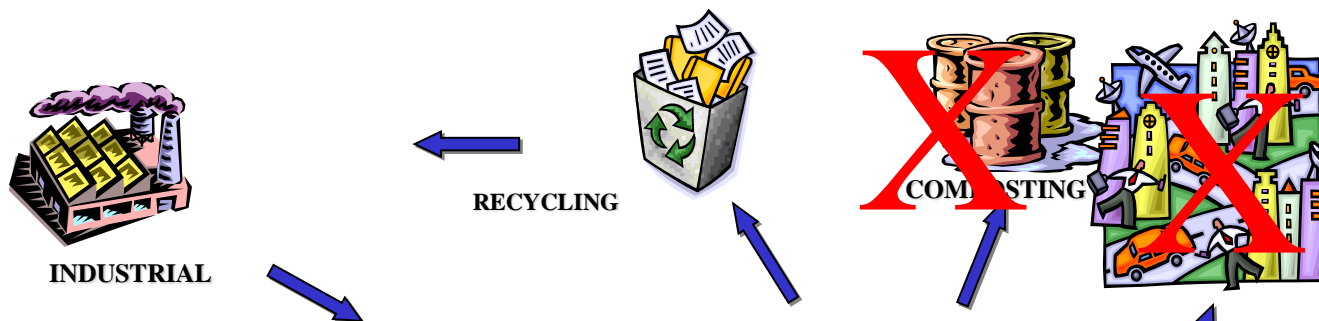
- Resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação **por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis**, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada.

ONDE SÃO GERADOS E UTILIZADOS OS RSU? (conceito antigo)

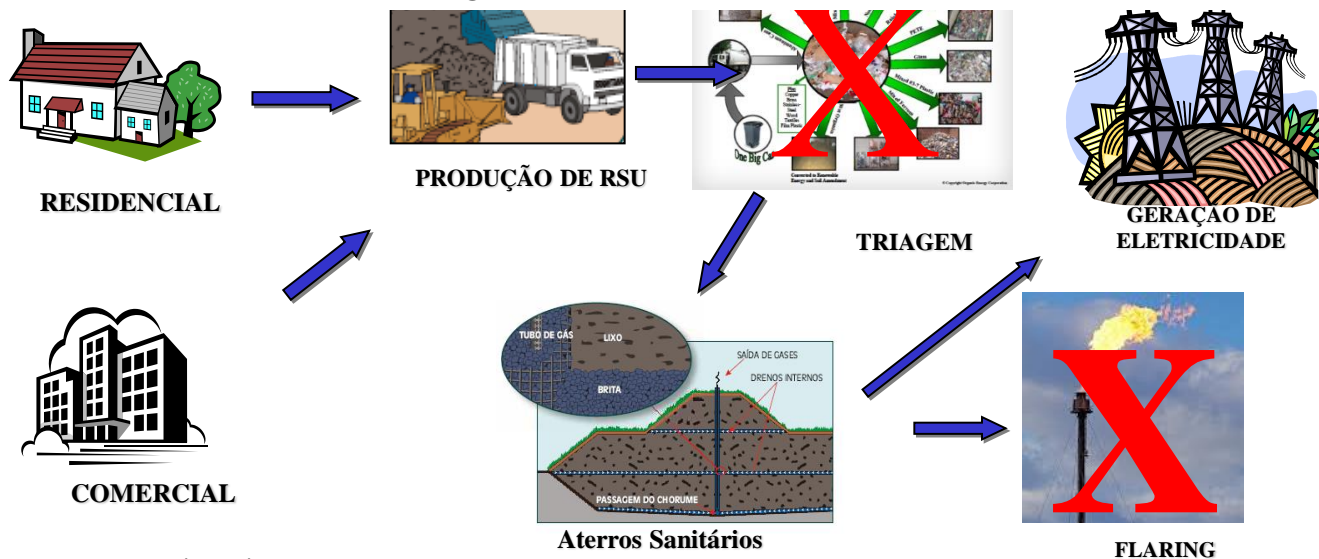


Sérgio Peres, Ph.D. (1998)

COMO SÃO UTILIZADOS NO BRASIL?

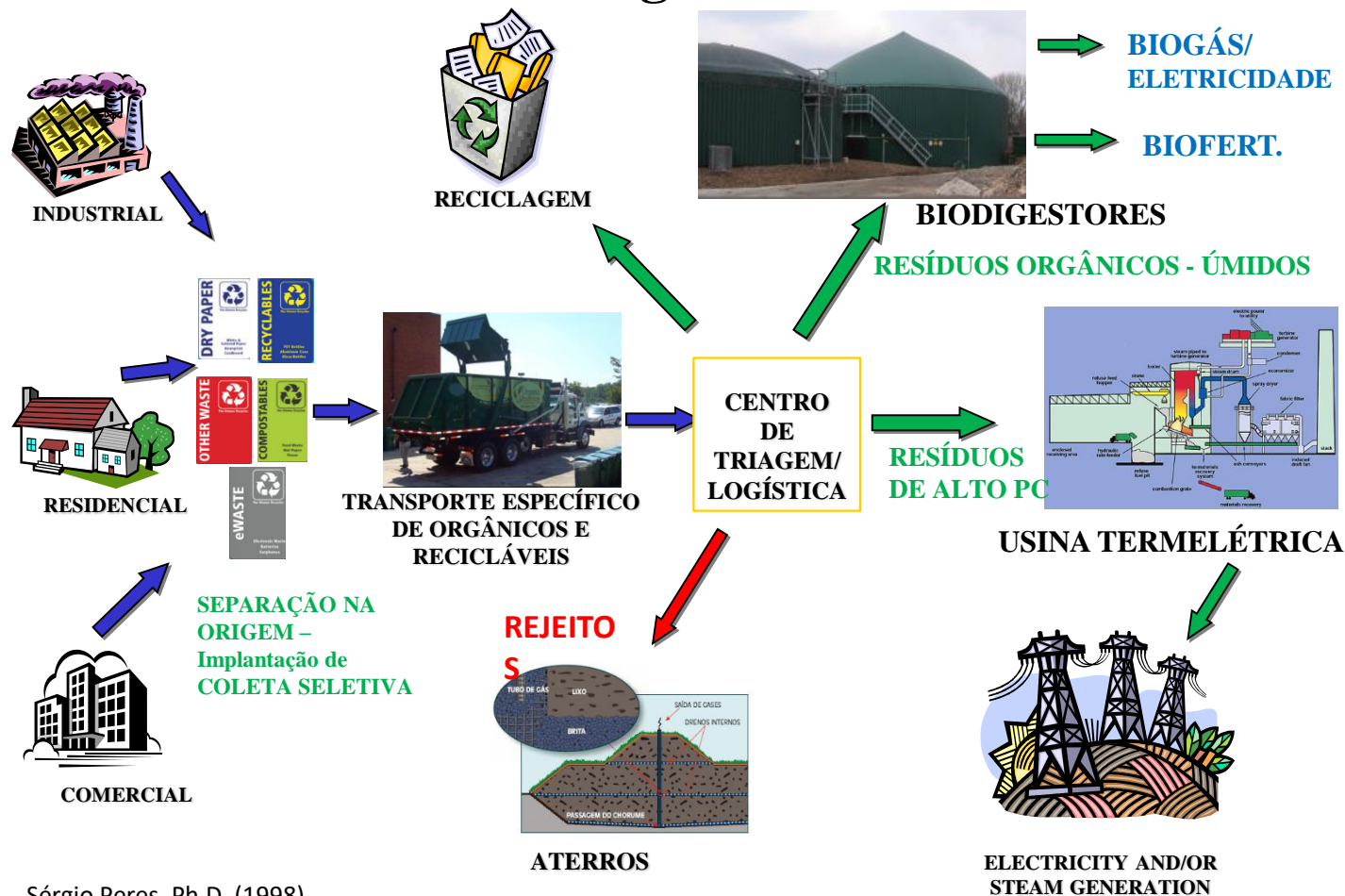


Este conceito ainda não consegue ser utilizado **PLENAMENTE** no Brasil.



Sérgio Peres, Ph.D. (1998)

Como devem ser gerenciados os RSU?



Sérgio Peres, Ph.D. (1998)

OPÇÃO TECNOLÓGICA ATUAL NO BRASIL

ATERROS SANITÁRIOS

GERAÇÃO DE ENERGIA COM O BIOGÁS DE ATERRO

Em **Pernambuco**,

Órigo Energia – 980,8 kW – em Petrolina - Operação: dez/2019¹

ENC Energy - 2,4 MW – em Igarassú (Ecoparque) - Operação:
dez/2019²

4,8 MW (geração total) - quando concluída a planta;

ASJA ENERGY – 12,8 MW – Jaboatão dos Guararapes – Operação:
18.07.2019³

No Brasil, tinham 12 empreendimentos em aterros sanitários com
potência instalada de 113,8 MW, em 2016⁴.

Fonte: ¹ – Diário de Pernambuco (2020); ² Jornal do Comércio (dez/2019); ³ ASJA ⁴ Oportunidades Enterradas –
Carvalho et al. (2019)



A QUESTÃO DO DESCARTE DA FRAÇÃO ORGÂNICA DOS RSU (FORSU) RESÍDUOS ÚMIDOS



Fontes: Save on Energy(2020) e CSWD (Chittenden Solid State District (2020)

Vermont Bans Food Scraps in Trash to Eliminate Waste, Combat Climate Change

By Jan Wesner Childs · July 07 2020 09:00 PM EDT · [weather.com](#)



Proibido o descarte de restos de comida em aterros, no Estado de Vermont (EUA)
1º Estado Americano a proibir totalmente o descarte. ACT 148: LEI UNIVERSAL DA
RECICLAGEM.

Fontes: Weather Channel (2020) e CSWD (Chittenden Solid State District (2020)

Califórnia (EUA) – Lei estadual AB 1826 (Chapter 727, Statutes of 2014) obriga aos estabelecimentos comerciais a **reciclar os Resíduos Orgânicos** (restos de alimentos e hortifruti, e podas – folhas, gramas, troncos, galhos) a partir de 1/Abril/2016):

1/1/2019 – obrigatório para estabelecimentos que gerarem mais do que 3,0 m³/semana; **1/1/2020** - obrigatório para estabelecimentos que gerarem mais do que 1,5 m³/semana, caso não tenham alcançado a meta de reduzir 50% dos descartes em aterro comparado com 2014;

Fontes: CALRECYCLE(2020)

23/02/2018 – União Europeia – Metas a serem alcançadas com a reciclagem de resíduos incentivando a Economia Circular.

Diretiva para Residências e Estabelecimentos Comerciais - Metas de reciclagem:



Diretiva para Embalagens:

- 70% dos produtos de embalagem serem reciclados até 2030; sendo, 30% para embalagens de madeira; 55% para plásticos, 75% para vidro e 85% para papel;

Diretiva para os Aterros : No máximo 10% dos resíduos gerados poderão ser descartados em Aterros Sanitários.

Fonte:

https://www.interregeurope.eu/fileadmin/user_upload/plp_uploads/policy_briefs/Policy_brief_on_waste_management.pdf

OBSERVA-SE QUE ESTÃO AUMENTANDO A RESTRIÇÃO DE DESCARTE DE RESÍDUOS EM ATERROS

AUMENTANDO A PRESSÃO E INCENTIVO PARA A RECICLAGEM E ECONOMIA CIRCULAR

2. ANÁLISES NECESSÁRIAS DO RSU

ANÁLISES NECESSÁRIAS PARA DETERMINAÇÃO DA TECNOLOGIA MAIS ADEQUADA PARA O USO ENERGÉTICO DO RSU

- AMOSTRAGEM DO RSU;**
- ANÁLISE GRAVIMÉTRICA (COMPOSICIONAL);**
- ANÁLISE CALORIMÉTRICA;**
- ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (APROXIMADA);**
- -ANÁLISE ELEMENTAR.**

ANÁLISES NECESSÁRIAS PARA DETERMINAÇÃO DA TECNOLOGIA MAIS ADEQUADA PARA O USO ENERGÉTICO DO RSU

- AMOSTRAGEM DO RSU;
- ANÁLISE GRAVIMÉTRICA (COMPOSICIONAL);
- ANÁLISE CALORIMÉTRICA;
- ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (APROXIMADA);
- -ANÁLISE ELEMENTAR.

Fazer sempre as **análises em triplicata** para obtenção de maior confiabilidade dos resultados.

AMOSTRAGEM DO RSU

- **Norma NBR 10.007/2004**

Esta norma prevê como amostra representativa a parcela do resíduo a ser estudada, obtida através do princípio de amostragem e que quando analisada, apresenta as mesmas características e propriedades da massa total do resíduo.

AMOSTRAGEM DO RSU

- **Norma NBR 10.007/2004**

Esta norma prevê como amostra representativa a parcela do resíduo a ser estudada, obtida através do princípio de amostragem e que quando analisada, apresenta as mesmas características e propriedades da massa total do resíduo.

Método mais comum: **homogeneização e quarteramento;**

Fonte: Souza, G. C. – Caracterização Quantitativa e Qualitativa dos RSU Domiciliares. (2009)

AMOSTRAGEM DO RSU

- **Norma NBR 10.007/2004**

Esta norma prevê como amostra representativa a parcela do resíduo a ser estudada, obtida através do princípio de amostragem e que quando analisada, apresenta as mesmas características e propriedades da massa total do resíduo.

Método mais comum: **homogeneização e quarteramento**;

AMOSTRAGEM DO RSU

- **Norma NBR 10.007/2004**

Esta norma prevê como amostra representativa a parcela do resíduo a ser estudada, obtida através do princípio de amostragem e que quando analisada, apresenta as mesmas características e propriedades da massa total do resíduo.

Método mais comum: **Quarteamento**;

A amostragem deve ser feita em todo perímetro urbano em pontos pré-estabelecidos e georreferenciados.

Com a amostragem de cada ponto de coleta, se faz a triagem do material coletado e faz a separação por grupos.

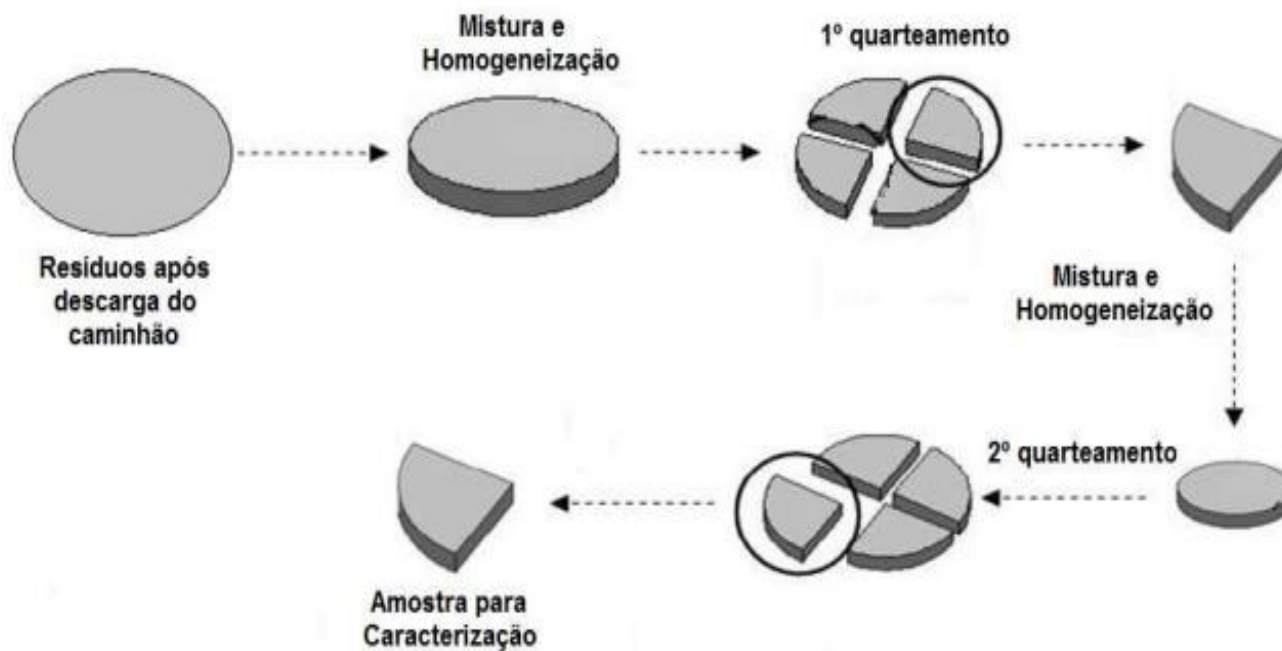
MÉTODO DO QUARTEAMENTO

O processo inicia a partir da descarga dos resíduos em área plana, no local do aterro ou de transbordo, próximo a descarga dos caminhões coletores;

- Os resíduos devem ser dispostos em cima de uma lona ou manta, com área com espaço para um trator realizar os procedimentos de homogeneização, amostragem e descarte dos materiais;

FONTE: Tagliaferro, E. R. Caracterização Gravimétrica de Resíduos Sólidos (2019) – XV Fórum Ambiental

MÉTODO DO QUARTEAMENTO - Esquema



FONTE: Relatório da Análise Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos do Distrito Federal – 2015 (2016)

MÉTODO DO QUARTEAMENTO



Detalhe da lona e da amostra de 1 caminhão para quarteamento inicial e quarteamento final para a seleção da amostra.



Descarga dos resíduos de um caminhão e rompimento dos sacos para homogeneização da amostra universal



Descarga dos resíduos de um caminhão e rompimento dos sacos para homogeneização da amostra universal

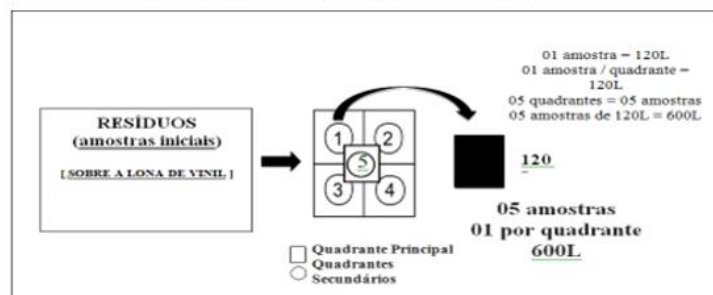


Preenchimento de 10 bombonas de 120 litros com a retirada de amostras de 05 pontos (01 no centro e 04 nos quadrantes)

FONTE: Tagliaferro, E. R. Caracterização Gravimétrica de Resíduos Sólidos (2019) – XV Fórum Ambiental

MÉTODO DO QUARTEAMENTO

Figura 1: Resumo Metodologia de Amostragem



Inserção dos resíduos pré-amostrados para quarteramento. O conteúdo foi despejado sobre a lona plástica e iniciado o processo de homogeneização da amostra.



Pesagem e Tara da pré-amostra para seleção de amostra final em quarteramento

FONTE: Tagliaferro, E. R. Caracterização Gravimétrica de Resíduos Sólidos (2019) – XV Fórum Ambiental

MÉTODO DO QUARTEAMENTO

O processo inicia a partir da descarga dos resíduos em área plana, no local do aterro ou de transbordo, próximo a descarga dos caminhões coletores;

- Os resíduos devem ser dispostos em cima de uma lona ou manta, com área com espaço para um trator realizar os procedimentos de homogeneização, amostragem e descarte dos materiais;
- Utiliza-se tambores para recolhimento das amostras de quarteamento, para análise dos resíduos;
- Ao término do processo de quarteamento é realizada a pesagem dos resíduos total;
- Segregação dos materiais,

FONTE: Tagliaferro, E. R. Caracterização Gravimétrica de Resíduos Sólidos (2019) – XV Fórum Ambiental

ANÁLISE GRAVIMÉTRICA

A **segregação** pode ser feito de acordo com a tipologia dos resíduos, divisão em grupos

GRUPOS
Plástico
Papel
Vidro
Metal
Outros
Matéria Orgânica

FONTE: Relatório da Análise Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos do Distrito Federal – 2015 (2016)

ANÁLISE GRAVIMÉTRICA

A segregação pode ser feito de acordo com a tipologia dos resíduos com divisão em grupos e subgrupos.

GRUPOS	SUBGRUPOS
Plástico	PET
	Plástico Duro
	Plástico Mole
	Plástico Filme
Papel	Papel Colorido, Branco, Misto e Jornal
	Papelão
Vidro	Vidro Branco, Verde, Âmbar e Outros
Metal	Alumínio
	Latão
	Outros Metais
Outros	Embalagem Longa Vida
	Isopor
	Tecido, Roupas
Matéria Orgânica	Restos de Comida e Podas

FONTE: Relatório da Análise Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos do Distrito Federal – 2015 (2016)

ANÁLISE GRAVIMÉTRICA

A segregação pode ser feita de acordo com a tipologia dos resíduos com divisão em grupos e subgrupos.

GRUPOS	SUBGRUPOS
Plástico	PET
	Plástico Duro
	Plástico Mole
	Plástico Filme
Papel	Papel Colorido, Branco, Misto e Jornal
	Papelão
Vidro	Vidro Branco, Verde, Âmbar e Outros
Metal	Alumínio
	Latão
	Outros Metais
Outros	Embalagem Longa Vida
	Isopor
	Tecido, Roupas
Matéria Orgânica	Restos de Comida e Podas

Obs.: Quimicamente, **matéria orgânica** é aquela que contém **CARBONO** nas suas moléculas. Assim sendo, o petróleo e seus derivados, Plástico, Papel, Tecido (algodão, poliéster etc.), isopor, biomassa (restos de comida) são compostos orgânicos. Porém, no jargão popular, **lixo orgânico** é o que pode ser transformado em composto orgânico, ou seja, restos de comida e podas – resíduos úmidos (UNIVASF,2020).

FONTE: Relatório da Análise Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos do Distrito Federal – 2015 (2016)

ANÁLISE GRAVIMÉTRICA

- Pesagem dos materiais segregados;
- Cálculo das percentagens, segundo a fórmula:

FONTE: Tagliaferro, E. R. Caracterização Gravimétrica de Resíduos Sólidos (2019) – XV Fórum Ambiental

ANÁLISE GRAVIMÉTRICA

- Cálculo das percentagens, segundo a fórmula:

$$\text{Tipo de Resíduo (\%)} = \frac{\text{Massa do Resíduo (kg)}}{\text{Massa Total das Amostras (kg)}} \times 100\%$$

FONTE: Tagliaferro, E. R. Caracterização Gravimétrica de Resíduos Sólidos (2019) – XV Fórum Ambiental

ANÁLISE GRAVIMÉTRICA

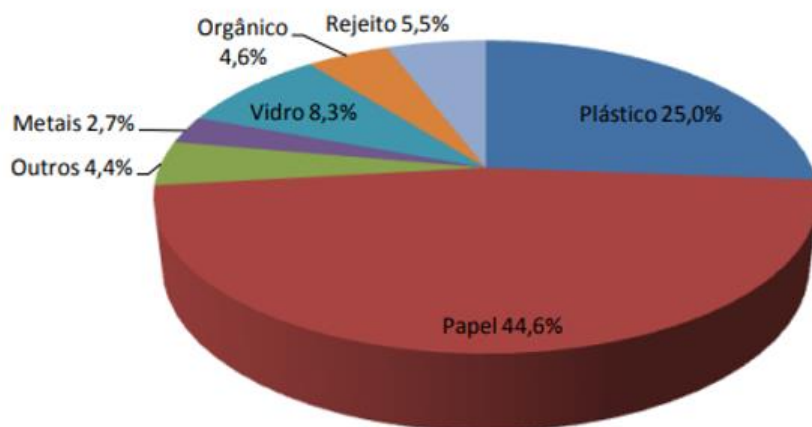
- Cálculo das percentagens, segundo a fórmula:

$$\text{Tipo de Resíduo (\%)} = \frac{\text{Massa do Resíduo (kg)}}{\text{Massa Total das Amostras (kg)}} \times 100\%$$

- A representação gráfica mais usual é o **gráfico de pizza**

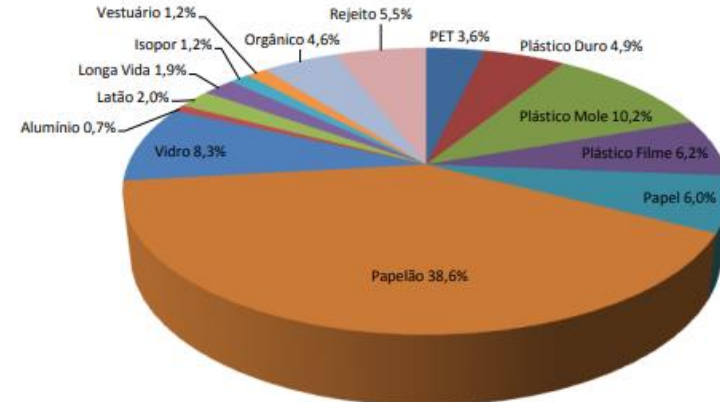
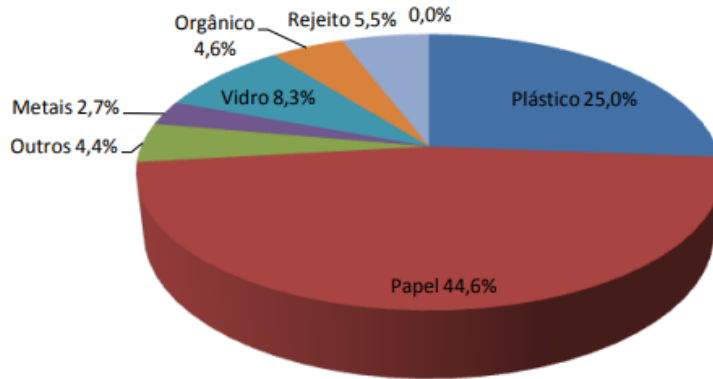
FONTE: Tagliaferro, E. R. Caracterização Gravimétrica de Resíduos Sólidos (2019) – XV Fórum Ambiental

ANÁLISE GRAVIMÉTRICA - grupos



FONTE: Tagliaferro, E. R. Caracterização Gravimétrica de Resíduos Sólidos (2019) – XV Fórum Ambiental

ANÁLISE GRAVIMÉTRICA - subgrupos



FONTE: Tagliaferro, E. R. Caracterização Gravimétrica de Resíduos Sólidos (2019) – XV Fórum Ambiental

- **Determinação do Poder Calorífico Superior (PCS) e Inferior (PCI)**



Fonte: Sérgio Peres – Notas de Aulas de Fontes Alternativas (UPE) - POLICOM

PODER CALORÍFICO DOS COMPONENTES DO RSU

Componente	PCI (MJ/kg)	PCI (kcal/kg)
Plásticos	26,38	6.301
Borracha	28,39	6.780
Couro	15,19	3.629
Têxteis	14,56	3.478
Madeira (~50% umidade)	10,55	2.520
Alimentos	5,49	1.311
Papel	16,89	4.033

Fonte: Adaptado do Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos (EPE, 2014)

ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA

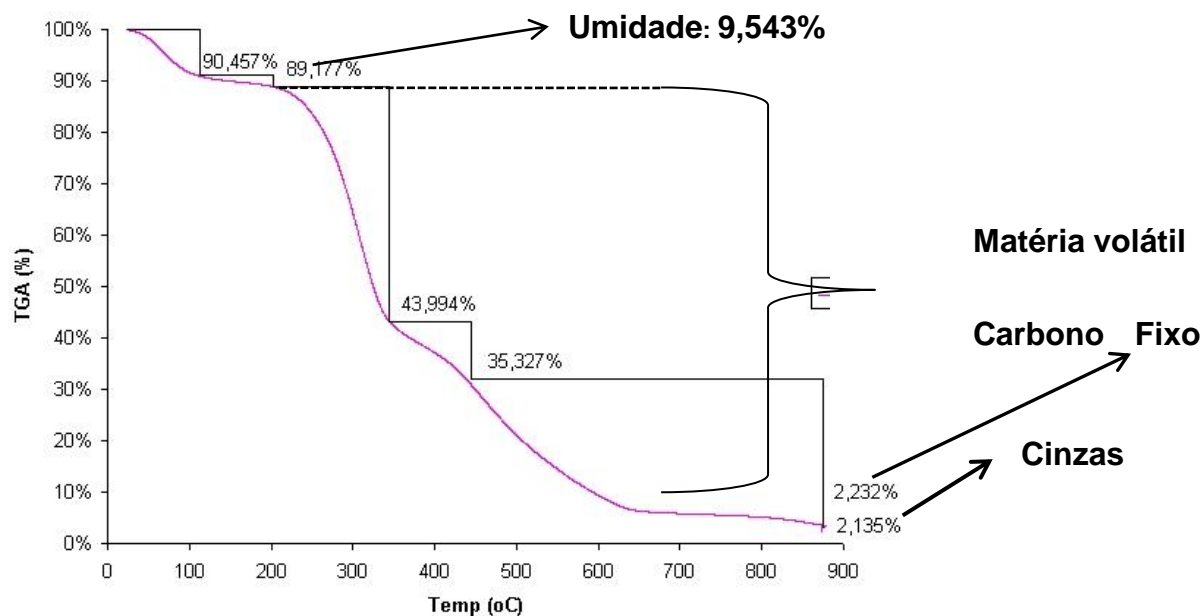
- Nesta análise são obtidos os seguintes dados:
 - Teor de umidade
 - % Carbono fixo
 - % Matéria volátil
 - % Cinzas
 - Obtenção de coeficientes de reatividade
(+ acadêmico)

Balança termogravimétrica



Fonte: Sérgio Peres – Notas de Aulas de Fontes Alternativas (UPE) - POLICOM

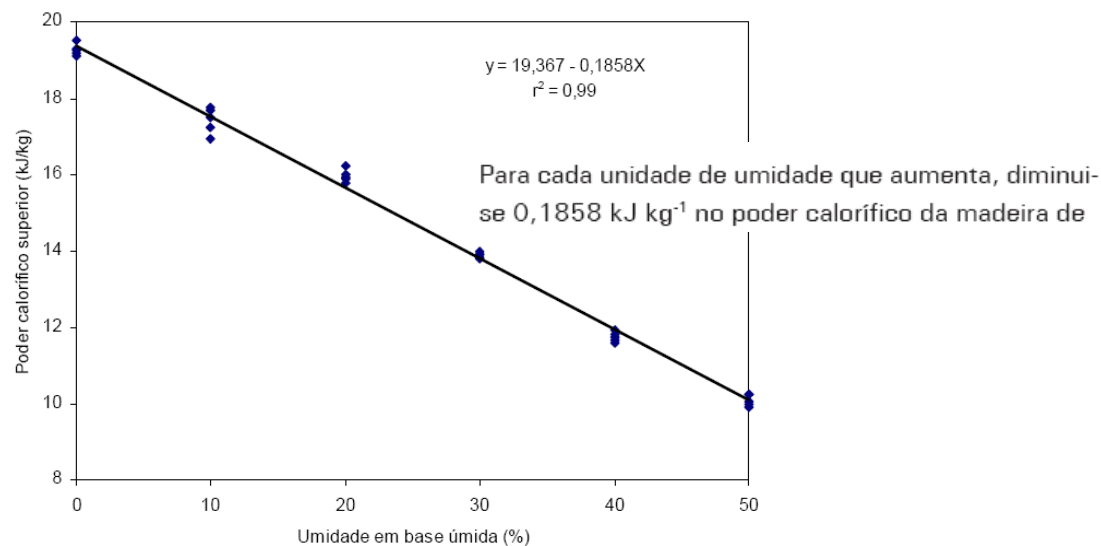
Análise Imediata (aproximada)



Termograma da Casca da Mamona

Fonte: Sérgio Peres (2004)

EFEITO DA UMIDADE NO PC



Madeira : Eucalipto (*Eucalyptus benthamii*)

Fonte: www.cnpf.embrapa.br/publica/comuntec/edicoes/com_tec220.pdf

ANÁLISE ELEMENTAR

- Nesta análise são obtidos os seguintes dados:
 - Teor de Carbono
 - Teor de Hidrogênio
 - Teor de Nitrogênio
 - Teor de Oxigênio
 - Teor de Enxofre
 - Teor de Cloro

Fonte: Sérgio Peres – Notas de Aulas de Fontes Alternativas (UPE) - POLICOM

Analizador elementar



CHNOS Elemental Analysis



Fonte: Sérgio Peres – Notas de Aulas de Fontes Alternativas (UPE) - POLICOM

CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA

Name	Fixed	Volatiles	Ash	C	H	O	N	S	HHV	HHV
	Carbon								MEAS	CALC
	%	%	%	%	%	%	%	%	kJ/g	kJ/g
WOOD										
Beech	-	-	0.65	51.64	6.26	41.45	0.00	0.00	20.38	21.10
Black Locust	18.26	80.94	0.80	50.73	5.71	41.93	0.57	0.01	19.71	20.12
Douglas Fir	17.70	81.50	0.80	52.30	6.30	40.50	0.10	0.00	21.05	21.48
Hickory	-	-	0.73	47.67	6.49	43.11	0.00	0.00	20.17	19.82
Maple	-	-	1.35	50.64	6.02	41.74	0.25	0.00	19.96	20.42
BARK										
Douglas Fir bark	25.80	73.00	1.20	56.20	5.90	36.70	0.00	0.00	22.10	22.75
Loblolly Pine bark	33.90	54.70	0.40	56.30	5.60	37.70	0.00	0.00	21.78	22.35
ENERGY CROPS										
Eucalyptus Camaldulensis	17.82	81.42	0.76	49.00	5.87	43.97	0.30	0.01	19.42	19.46
Casuarina	19.58	78.58	1.83	48.50	6.04	43.32	0.31	0.00	18.77	19.53
AGRICULTURAL										
Peach Pits	19.85	79.12	1.03	53.00	5.90	39.14	0.32	0.05	20.82	21.39
Walnut Shells	21.16	78.28	0.56	49.98	5.71	43.35	0.21	0.01	20.18	19.68
Almond Prunings	21.54	76.83	1.63	51.30	5.29	40.90	0.66	0.01	20.01	19.87
Corn Stover	19.25	75.17	5.58	43.65	5.56	43.31	0.61	0.01	17.65	17.19
Sugarcane Bagasse	14.95	73.78	11.27	44.80	5.35	39.55	0.38	0.01	17.33	17.61
Rice Hulls	15.80	63.60	20.60	38.30	4.36	35.45	0.83	0.06	14.89	14.40

Fonte: Adaptado do Atlas de Biomassa by T. Reed

IMPORTÂNCIA DA CARACTERIZAÇÃO DO RSU

- Determinação do percentual de cada um dos componentes;
- Separação do material que pode ser reciclado e comercializável;
- Fazer a caracterização dos componentes do RSU que não ter mercado para comercialização/reciclagem. Esta caracterização incluem as seguintes análises principais:

IMPORTÂNCIA DA CARACTERIZAÇÃO DO RSU

- Determinação do percentual de cada um dos componentes;
- Separação do material que pode ser reciclado e comercializável;
- Fazer a caracterização dos componentes do RSU que não ter mercado para comercialização/reciclagem. Esta caracterização incluem as seguintes análises principais:
 - Determinação do poder calorífico inferior;
 - Teor de água;
 - Teor de cinzas;
 - Composição elementar (detectar a presença de enxofre e cloro)

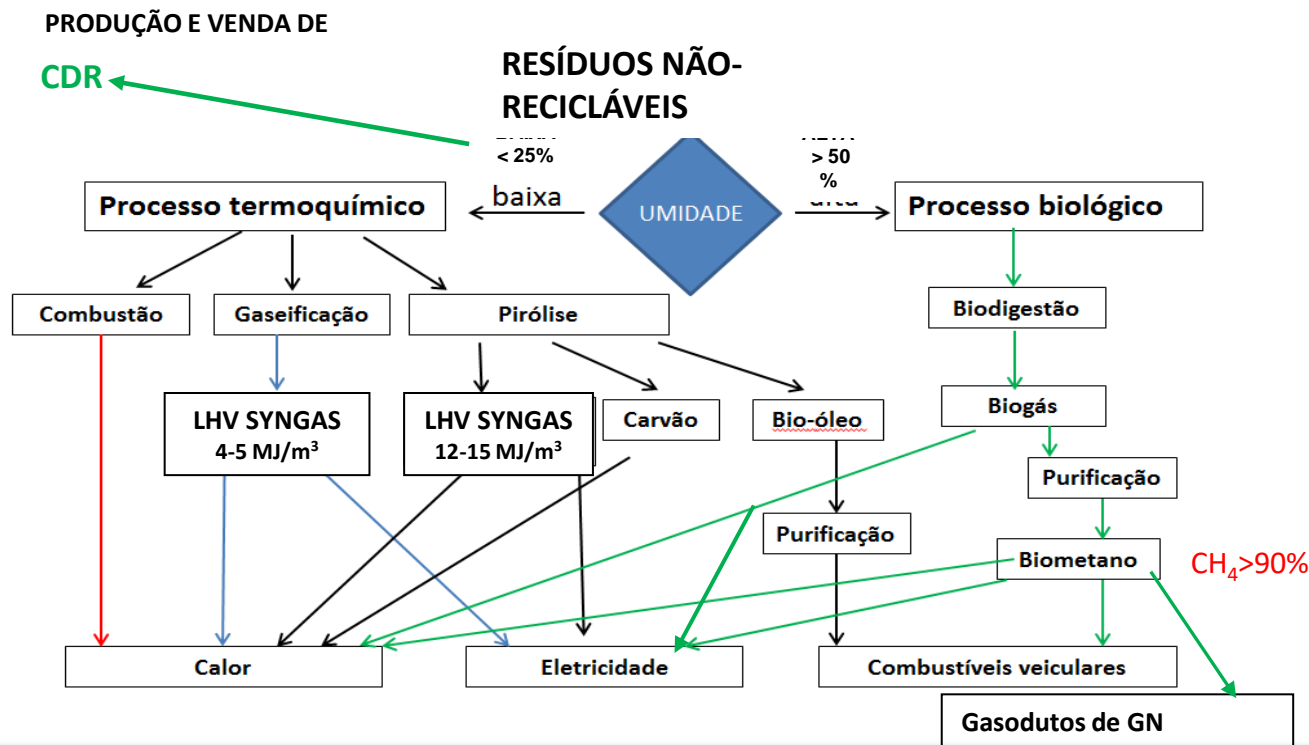
IMPORTÂNCIA DA CARACTERIZAÇÃO DO RSU

- Determinação do percentual de cada um dos componentes;
- Separação do material que pode ser reciclado e comercializável;
- Fazer a caracterização dos componentes do RSU que não ter mercado para comercialização/reciclagem. Esta caracterização incluem as seguintes análises principais:
 - Determinação do poder calorífico inferior;
 - Teor de água;
 - Teor de cinzas;
 - Composição elementar (detectar a presença de enxofre e cloro)

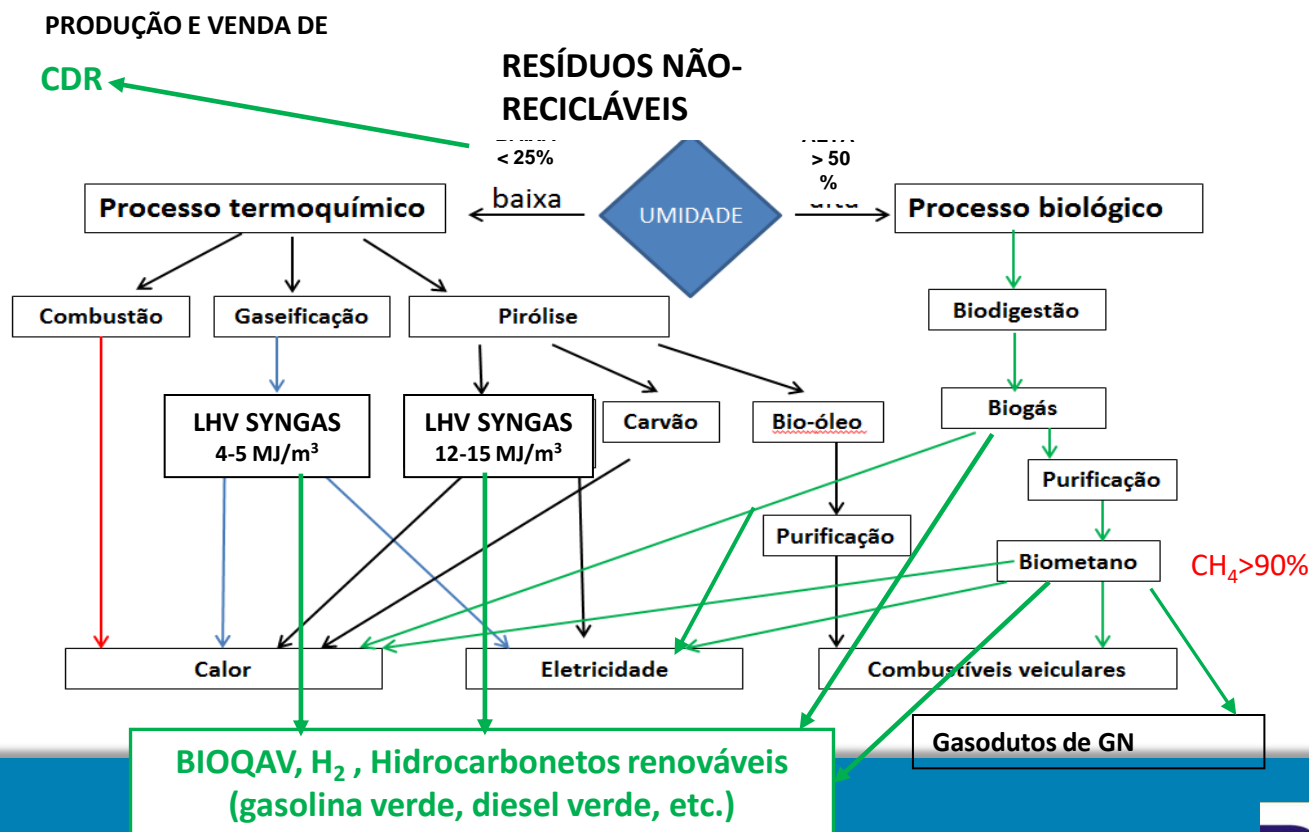
Com isso, pode-se determinar a **ROTA TECNOLÓGICA A SER UTILIZADA**

3. TECNOLOGIAS DE USO ENERGÉTICO DOS RSU

QUAL É A TECNOLOGIA MAIS APROPRIADA?



QUAL É A TECNOLOGIA MAIS APROPRIADA?

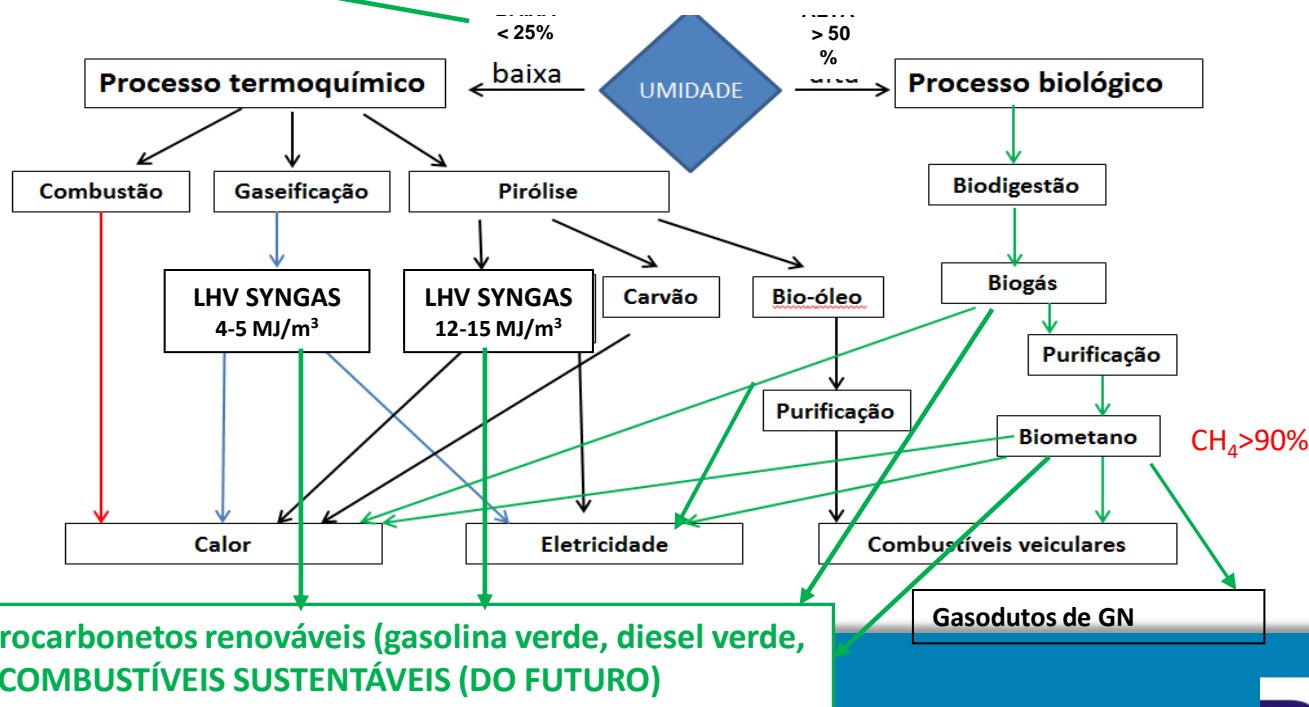


QUAL É A TECNOLOGIA MAIS APROPRIADA?

PRODUÇÃO E VENDA DE

CDR

RESÍDUOS NÃO-
RECICLÁVEIS

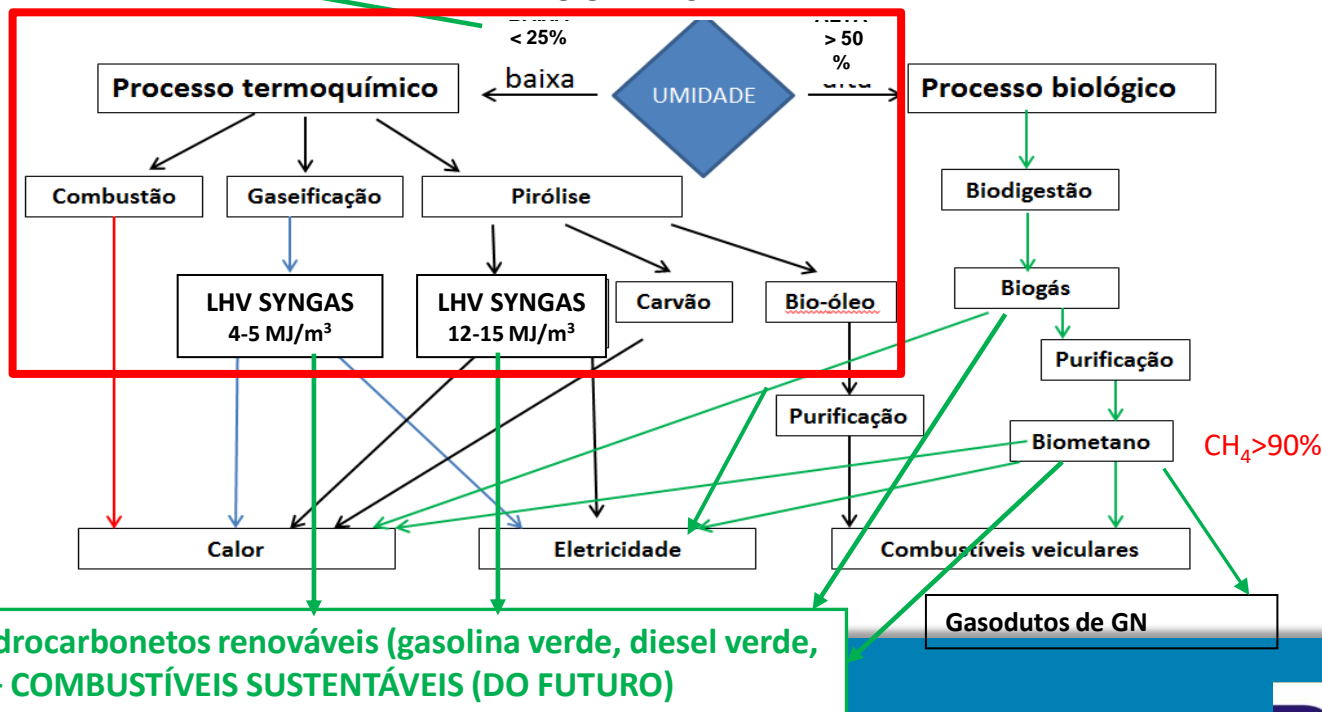


PROCESSOS TERMOQUÍMICOS

PRODUÇÃO E VENDA DE

CDR

RESÍDUOS NÃO-
RECICLÁVEIS



PROCESSOS TERMOQUÍMICOS

COMBUSTÃO, GASEIFICAÇÃO E PIRÓLISE

COMBUSTÃO, GASEIFICAÇÃO E PIRÓLISE

A **combustão** e a **gaseificação** se realizam através de reações químicas na presença de oxigênio.

A **pirólise** é realizada na ausência de oxigênio do ar

	Temperatura	Atmosfera	Produtos
COMBUSTÃO	$T > 900\text{ }^{\circ}\text{C}$	O_2 estequiométrico ou em excesso	$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
GASEIFICAÇÃO	$700\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$	O_2 subestequiométrico	CO , CO_2 , H_2 e CH_4
PIRÓLISE	$300\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, a depender do tipo de pirólise	Inerte (ausência de O_2)	Sólido + líquido + gás

Fonte: Azevedo, B (2012) - Gaseificação da casca e da torta da mamona para produção de gás combustível – Dissertação M.Sc. – CTG-DEQ-UFPE

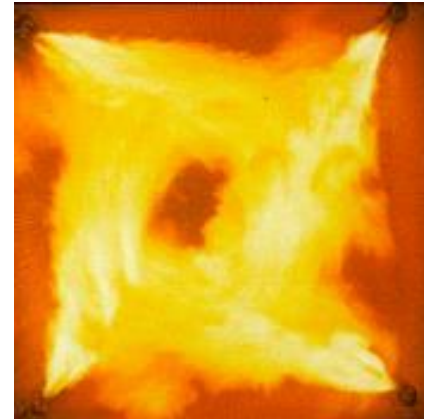
- **Combustão** é uma reação química de óxido-redução entre um combustível e um comburente.

Produtos: CO_2 , H_2O (combustão completa) + calor (energia)

CO_2 , H_2O , outros gases intermediários (CO) e
particulado (combustão incompleta) + calor (energia).



Combustão de madeira

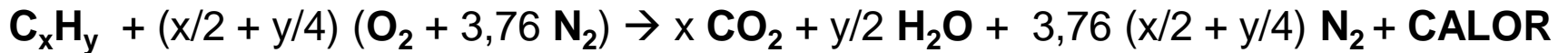


Combustão de óleo numa
caldeira

Fotos: Andrade, A. S. – Aula de Máquinas Térmicas AT-101 (UFPR)

- Reação de combustão de um hidrocarboneto (compostos com H e C na sua estrutura molecular):

IDEAL (Combustão completa)



REAL (combustão incompleta)



Resíduos → produtos da combustão incompleta (CO , particulados) +
outros compostos

Fotos: Peres, S. – Notas de Aula de Termodinâmica 2 (UPE)

COMBUSTÃO DE RSU

Oxigênio suficiente para promover a queima do combustível (RSU)



COMBUSTÃO DE RSU

Oxigênio suficiente para promover a queima do combustível (RSU)



O nos produtos: $1,16 \times 2 + 1,06 = 3,38$

O no combustível (reagente): 1

$$\Delta \text{O} = \text{O}_{\text{produtos}} - \text{O}_{\text{comb.}} = 3,38 - 1 = 2,38$$

$\text{O}_{2 \text{ necessário}} = 2,38/2 = 1,19$ moléculas (fornecido pelo suprimento de ar)

COMBUSTÃO DE RSU

Oxigênio suficiente para promover a queima do combustível (RSU)



O nos produtos: $1,16 \times 2 + 1,06 = 3,38$

O no combustível (reagente): 1

$$\Delta \text{O} = \text{O}_{\text{produtos}} - \text{O}_{\text{comb.}} = 3,38 - 1 = 2,38$$

$\text{O}_{2 \text{ necessário}} = 2,38/2 = 1,19$ moléculas (fornecido pelo suprimento de ar)

COMBUSTÃO DE RSU

Oxigênio suficiente para promover a queima do combustível (RSU)



O nos produtos: $1,16 \times 2 + 1,06 = 3,38$

O no combustível (reagente): 1

$$\Delta O = O_{\text{produtos}} - O_{\text{comb.}} = 3,38 - 1 = 2,38$$

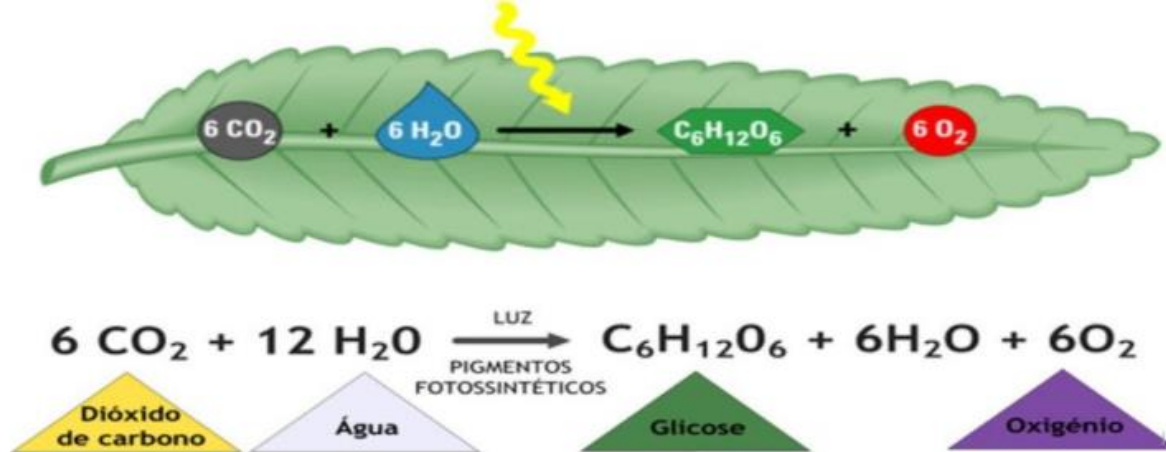
$O_{2 \text{ necessário}} = 2,38/2 = 1,19$ moléculas (fornecido pelo suprimento de ar)

EQUAÇÃO DE COMBUSTÃO DE RSU BALANCEADA:



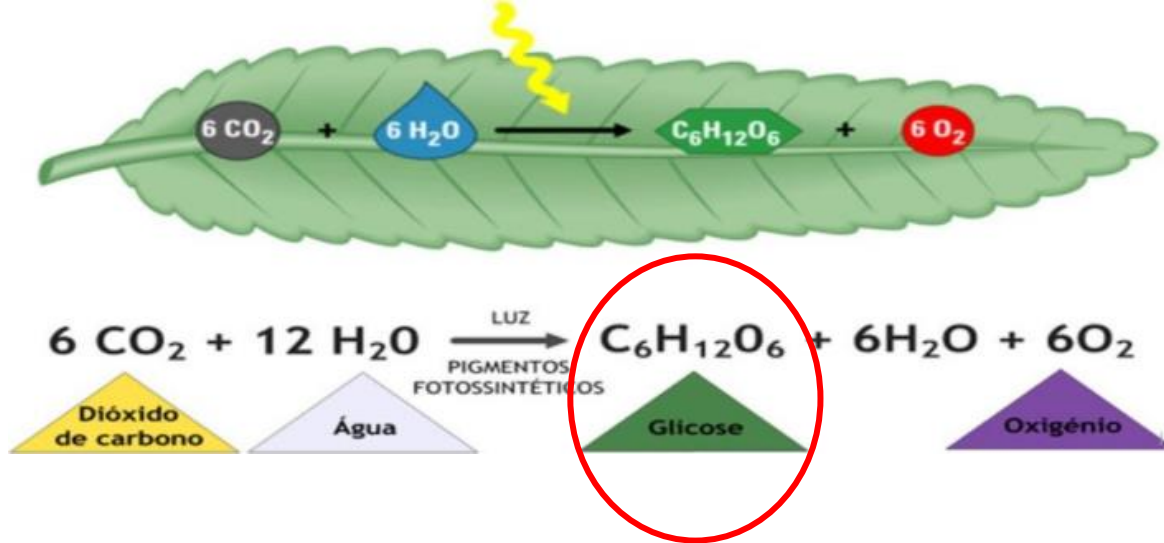
COMBUSTÃO SUSTENTÁVEL (CARBONO NEUTRO)

Lembrando a Equação da Fotossíntese:

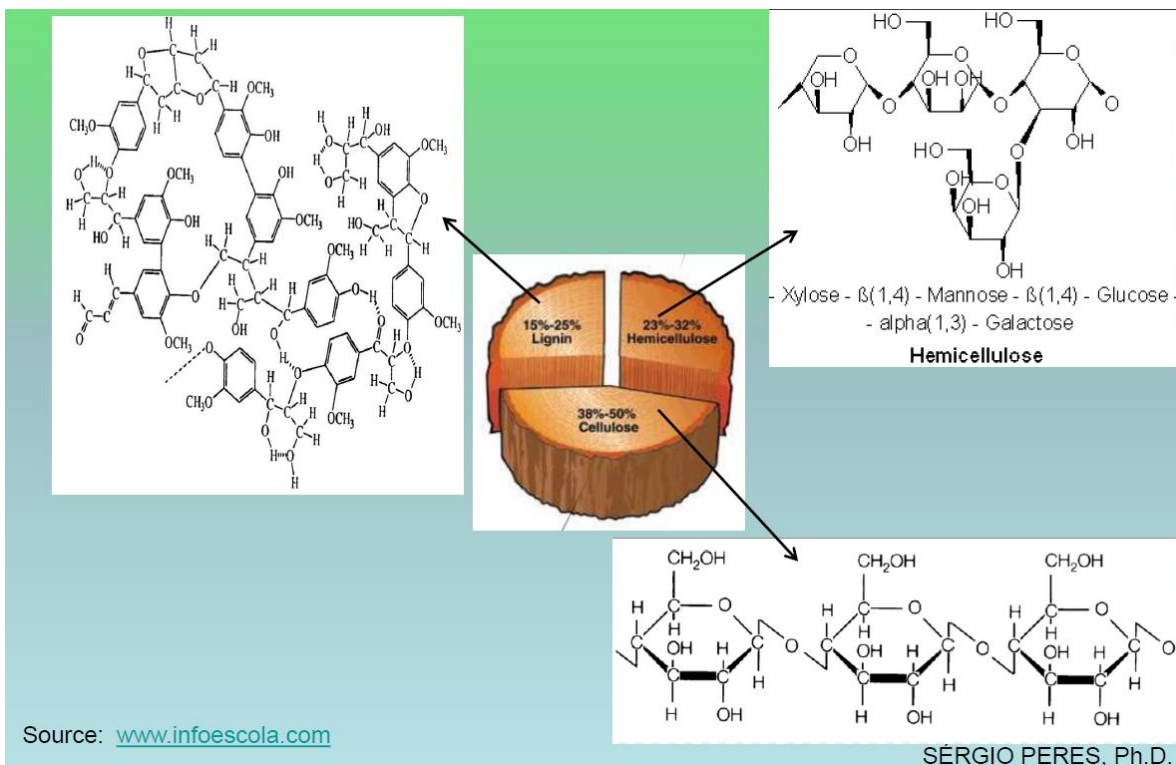


COMBUSTÃO SUSTENTÁVEL (CARBONO NEUTRO)

Lembrando a Equação da Fotossíntese:



FIXAÇÃO DO CARBONO NA BIOMASSA



COMBUSTÃO

USA-SE A ENERGIA LIBERADA NA COMBUSTÃO (PCI) PARA GERAÇÃO DE CALOR.

PODER CALORÍFICO INFERIOR DE ALGUNS RESÍDUOS:

PALHA DA SOJA¹: 16,97 MJ/kg;

PLÁSTICOS²: 26,38 MJ/kg;

MADEIRA²: 10,55 MJ/kg;

TÊXTEIS²: 14,56 MJ/kg

PALHA DO MILHO³: 16,40 MJ/kg

FONTE: ¹ Oliveira (2016); ² EPE (2014); ³ Vieira Jr. (2018)

COMBUSTÃO

USA-SE A ENERGIA LIBERADA NA COMBUSTÃO (PCI) PARA GERAÇÃO DE CALOR.

PODER CALORÍFICO INFERIOR DE ALGUNS RESÍDUOS:

PALHA DA SOJA¹: 16,97 MJ/kg;

PLÁSTICOS²: 26,38 MJ/kg; (1ª Opção: reciclar)

MADEIRA²: 10,55 MJ/kg;

TÊXTEIS²: 14,56 MJ/kg

PALHA DO MILHO³: 16,40 MJ/kg

FONTE: ¹ Oliveira (2016); ² EPE (2014); ³ Vieira Jr. (2018)

<u>MATERIAL</u>	<u>PC (MJ/kg)</u>
PAPEL SORTIDO	15,8
PAPEL DE JORNAL	18,5
PAPELÃO	16,38
EMBALAGEM DE LEITE	26,4
LONGA-VIDA	
PLÁSTICOS	32,8
POLIETILENO	43,5
PNEUS	32,1
MADEIRA VERDE	4,9
MADEIRA E CASCA	16,0
POLIURETANO	26,1
RESTOS DE COMIDA	5,5

FONTE: U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION

<u>MATERIAL</u>	<u>PC (MJ/kg)</u>
PAPEL SORTIDO	15,8
PAPEL DE JORNAL	18,5
PAPELÃO	16,38
EMBALAGEM DE LEITE	26,4
LONGA-VIDA	
PLÁSTICOS	32,8
POLIETILENO	43,5
PNEUS	32,1
MADEIRA VERDE	4,9
MADEIRA E CASCA	16,0
POLIURETANO	26,1
RESTOS DE COMIDA	5,5



**NÃO
APROPRIADOS
PARA QUEIMA**



FONTE: U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION

Os componentes do RSU com alto poder calorífico consistem principalmente de papel, papelão, plásticos, madeira e tecidos.

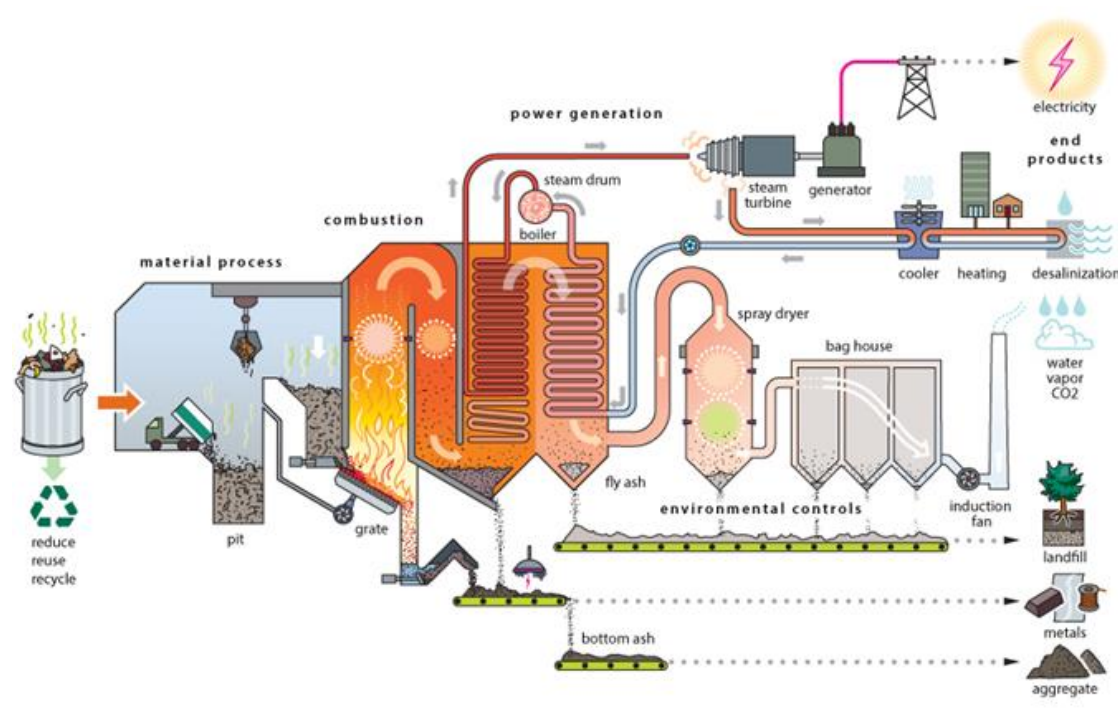
Estes combustíveis derivados de RSU são chamados **COMBUSTÍVEIS DERIVADOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS** (CDRU), podendo ainda ser classificados em ***RDF – (refused derived fuel)*** ou ***SRF – solid recovered fuel***.

O ***SRF*** é mais homogêneo e mais energético que o ***RDF*** e requer um tratamento de secagem.

FONTE: Psomopoulos, C. S. – Residue derived Fuels – DOI: 10.394/energy.2014.3.321



FONTE: Fonte: www.cmcuae.net e www.untha.co.uk ; Sérgio Peres, Ph.D.



FONTE: U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION

VANTAGENS:

- Aconselhável para resíduos de maior poder calorífico (papel, plásticos que não conseguem ser comercializados (rejeito);
- Alimentação contínua de resíduos;
- Uso direto da energia térmica para geração de vapor e/ou energia elétrica (geração descentralizada de energia);
- Relativamente sem ruído e sem odor;
- Requer pequenas áreas para instalação;
- Higiênico;

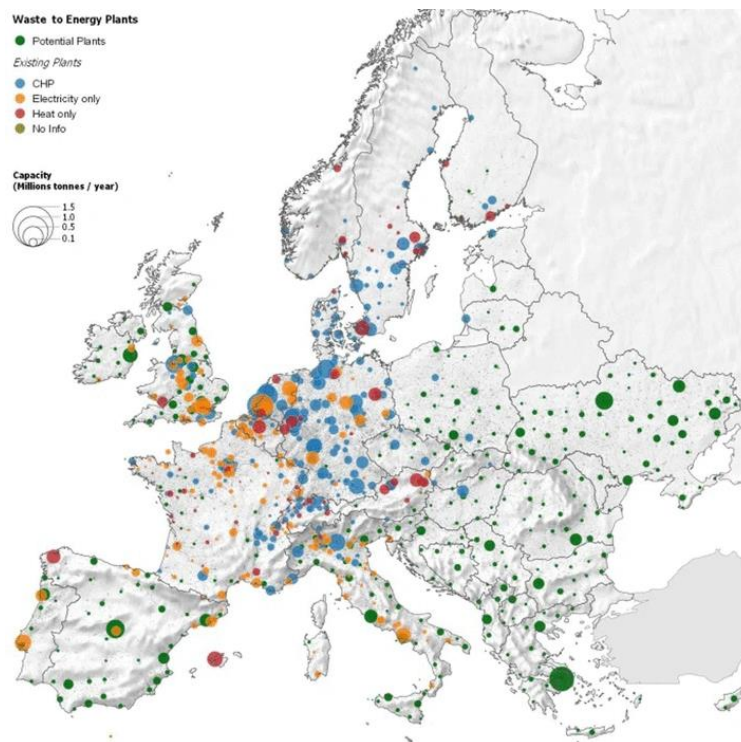
Fonte: Peres,S. (1998)

USO DO RSU COMO COMBUSTÍVEL DO CICLO RANKINE

DESVANTAGENS

- Menos aconselhado para resíduos de baixo poder calorífico e clorinados;
- Umidade excessiva e resíduos de baixo poder calorífico prejudicam a combustão;
- Utilização de equipamento auxiliar para manter a combustão;
- Alto investimento e custos de O & M;
- Emissões de CO₂ e toxinas (exigem maior controle da combustão)²

Fonte: Peres, S. (1998);²Hockenos, P. (2021)



FONTE: Scarlat, N., Fahl, F. e Dallemand, J.F. (2019)

EUROPA

WASTE-TO-ENERGY PLANTS

Usinas Existentes

- usinas cogeração
- Eletricidade
- Calor

Usinas Não-Existentes

- Com potencial de geração

	Generated	Composting	Recycling	Incineration	Landfilling
Belgium	4708	901	1615	2043	43
Bulgaria	3011	311	573	82	1994
Czech Republic	3337	141	851	590	1755
Denmark	4485	852	1223	2359	51
Germany	51,046	9304	24,414	15,973	106
Estonia	473	17	117	243	35
Ireland	2693	156	829	427	1028
Greece	5585	209	869	0	4507
Spain	20,151	3316	3393	2342	11,101
France	33,399	5764	7433	11,600	8603
Croatia	1654	28	270	0	1319
Italy	29,524	5203	7649	5582	7819
Cyprus	541	25	72	0	403
Latvia	857	47	182	0	494
Lithuania	1300	132	298	150	702
Luxembourg	356	70	101	121	63
Hungary	3712	231	963	525	1991
Malta	269	0	17	1	241
Netherlands	8855	2400	2179	4152	125

FONTE: Scarlat, N., Fahl, F. e Dallemand, J.F. (2019)

	Generated	Composting	Recycling	Incineration	Landfilling
Austria	4836	1511	1196	1854	121
Poland	10,863	1750	2867	1439	4808
Portugal	4710	665	765	974	2307
Romania	4953	391	253	133	3558
Slovenia	926	71	430	158	210
Slovakia	1784	130	136	191	1226
Finland	2738	341	770	1312	315
Sweden	4377	684	1417	2241	35
United Kingdom	31,567	5124	8602	9907	7124
Iceland	175	15	37	7	116
Norway	2187	365	572	1145	74
Switzerland	6030	1256	1924	2850	0
Montenegro	332	0	18	0	304
FYROM	765	0	0	0	765
Serbia	1840	0	14	0	1360
Bosnia and Herzegovina	1249	0	0	0	942
European Union	242,710	39,774	69,484	64,399	62,084
EEA	251,102	41,410	72,017	68,401	62,274
Europe	255,288	41,410	72,049	68,401	65,645

Obs.: Em vermelho, os países que depositam menos que 10% dos RSU em Aterros (Meta da EU para 2035).

FONTE: Scarlat, N., Fahl, F. e Dallemand, J.F. (2019)

MAIOR PROJETO DE GERAÇÃO DE ENERGIA COM RSU

World's Largest Waste-to-Energy Plant Set to Open Next Year in Shenzhen



by Eric Baldwin

January 21

The world's largest waste-to-energy plant by Schmidt Hammer Lassen and Gottlieb Paludan is set to open next year on the outskirts of Shenzhen, China. The new plant is made to handle 5000 tons of

Potência instalada de 168MW.
Local: Shenzhen, Guangdong, China.
Capacidade: 5.000 ton/dia

Fonte: https://www.archdaily.com/909843/worlds-largest-waste-to-energy-plant-set-to-open-next-year-in-shenzhen/5c45ff0e284dd1bc9b00000d-worlds-largest-waste-to-energy-plant-set-to-open-next-year-in-shenzhen-image?next_project=no

MAIOR PROJETO DE GERAÇÃO DE ENERGIA COM RSU

World's Largest Waste-to-Energy Plant Set to Open Next Year in Shenzhen

Potência instalada de 168MW.
Local: Shenzhen, Guangdong, China.
Capacidade: 5.000 ton/dia



by Eric Baldwin

January 21

The world's largest waste-to-energy plant by Schmidt Hammer Lassen and Gottlieb Paludan is set to open next year on the outskirts of Shenzhen, China. The new plant is made to handle 5000 tons of



Fonte: https://www.archdaily.com/909843/worlds-largest-waste-to-energy-plant-set-to-open-next-year-in-shenzhen/5c45ff0e284dd1bc9b00000d-worlds-largest-waste-to-energy-plant-set-to-open-next-year-in-shenzhen-image?next_project=no

MAIOR PROJETO DE GERAÇÃO DE ENERGIA COM RSU

World's Largest Waste-to-Energy Plant Set to Open Next Year in Shenzhen

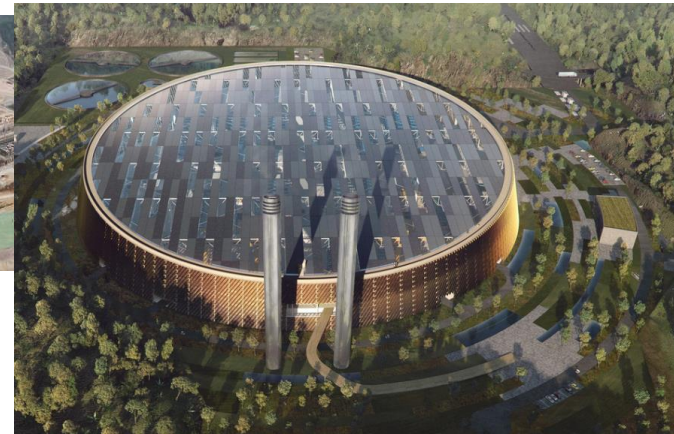
Potência instalada de 168MW.
Local: Shenzhen, Guangdong, China.
Capacidade: 5.000 ton/dia



by Eric Baldwin

January 21

The world's largest waste-to-energy plant by Schmidt Hammer Lassen and Gottlieb Paludan is set to open next year on the outskirts of Shenzhen, China. The new plant is made to handle 5000 tons of



Fonte: https://www.archdaily.com/909843/worlds-largest-waste-to-energy-plant-set-to-open-next-year-in-shenzhen/5c45ff0e284dd1bc9b00000d-worlds-largest-waste-to-energy-plant-set-to-open-next-year-in-shenzhen-image?next_project=no

CONTROVÉRSIAS:

- Na Europa, os planos para se tornarem carbono-neutro até 2050 questionam a recuperação energética de resíduos através da incineração (WtE), devido as emissões de CO₂ e toxinas;
- A tecnologia WtE sobreviverá, pois, ela evita as emissões ainda maiores oriundas dos aterros sanitários;
- Na Europa, 18 milhões de habitantes recebem eletricidade e 15 milhões calor distrital oriundos da queima dos RSU;
- A energia dos RSU totalizam 2,4% da energia gerada na Europa.
- A queima dos RSU evitam a geração de 50 milhões de toneladas de CO₂ por ano, caso a energia fosse gerada utilizando combustíveis fósseis.

Fonte: Hockenos, P. – EU Climate ambitious spell trouble for electricity from burning waste (2021)

- Os incineradores de RSU na Europa emitiram 52 milhões de toneladas de CO₂ (fóssil);
- A Agência Ambiental Europeia estima que a média de geração de CO_{2e}/kWh considerando geração de energia com combustíveis fósseis, nuclear e renováveis é 249 g CO_{2e}/kWh;
- Uma Central Termelétrica a ciclo combinado (turbina a gás e vapor) produz, em média, 340 g CO_{2e}/kWh;
- Uma Central de Incineração de RSU pode gerar até 550 g CO_{2e}/kWh; Por isso a União Europeia está parando de fomentar o investimento nesta tecnologia;
- A incineração produz cerca de 200 a 300 g de cinzas por kg (pode ser tratado e usado para produzir cimento e asfalto);
- Porém, alguns países continuam investindo na geração de energia dos RSU (WtE) como forma de limitar o descarte em aterros sanitários em 10% dos RSU gerados (meta da EU para 2035).
- Entre 1995 e 2017, a incineração dos RSU cresceu 120%.

Fonte: Hockenos, P. – EU Climate ambitious spell trouble for electricity from burning waste (2021)

- Na Holanda:
 - Uma Unidade de Incineração em Duiven está fornecendo CO_2 para uma estufa de produção de hortaliças;
 - Outra unidade em Helmstedt está produzindo H_2 para uso nos ônibus urbanos.
- Futuro → Economia circular

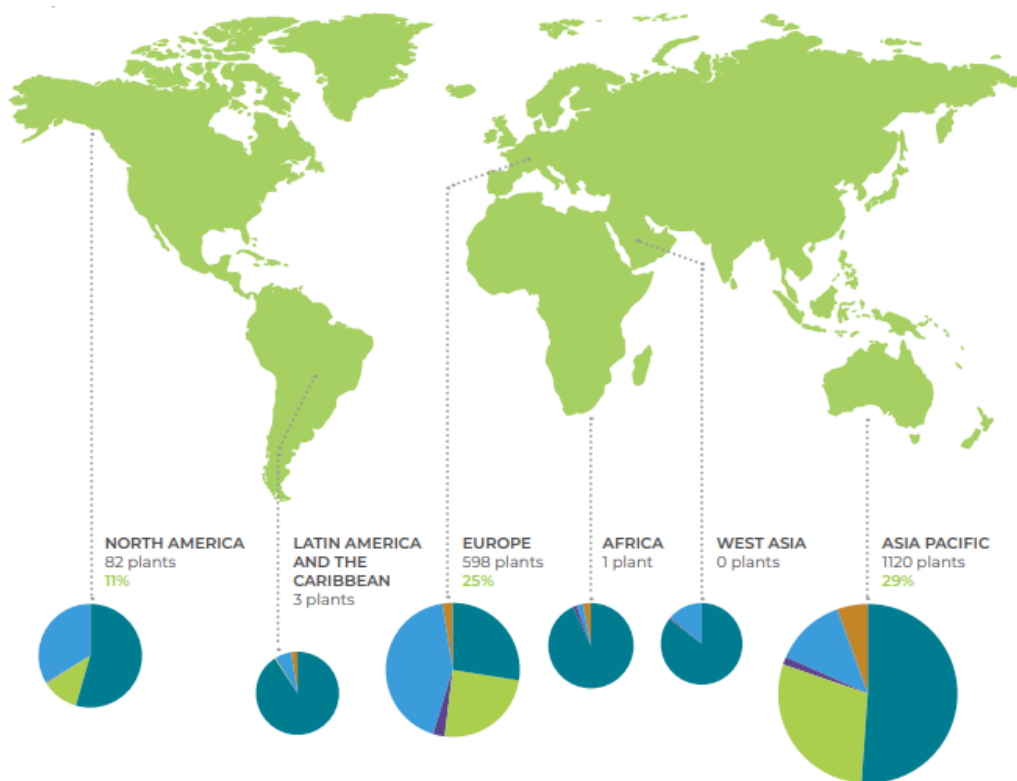


Fonte: Hockenos, P. – EU Climate ambitious spell trouble for electricity from burning waste (2021); Comissão Europeia

No Mundo:

- Existem em operação cerca de 2.500 plantas de Incineração (WtE) com a capacidade de queima de 400 milhões de toneladas por ano;
- Apenas em 2019, 83 novas plantas entraram em operação com uma capacidade de tratamento de mais de 29,8 milhões de toneladas de RSU por ano.

Fonte: Ecoprog – The World Market for Waste Incineration Plants (2021)



Biogenic municipal waste accounts for 1% of renewable energy globally.



Over 90 percent of collected waste in Africa and Latin America and the Caribbean is disposed of in landfills and open dumps.



Over 80 percent of thermal waste to energy plants are located in developed countries, led by Japan, France, Germany and the United States.



15 percent of global waste collected is incinerated with energy recovery.

Fonte: Current Status of Waste Energy – UM Environment Programme (2019)

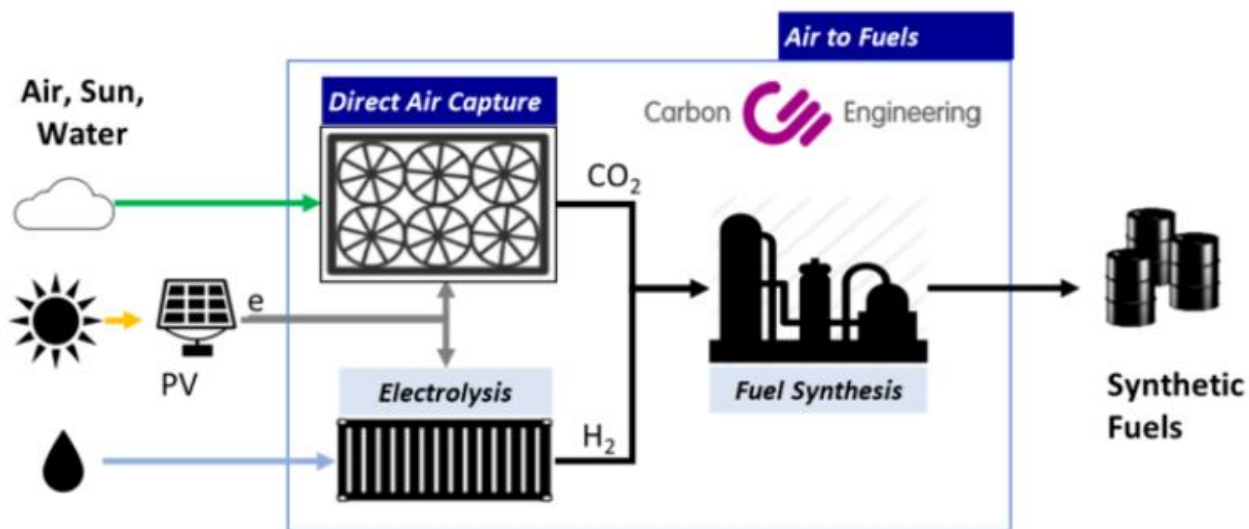
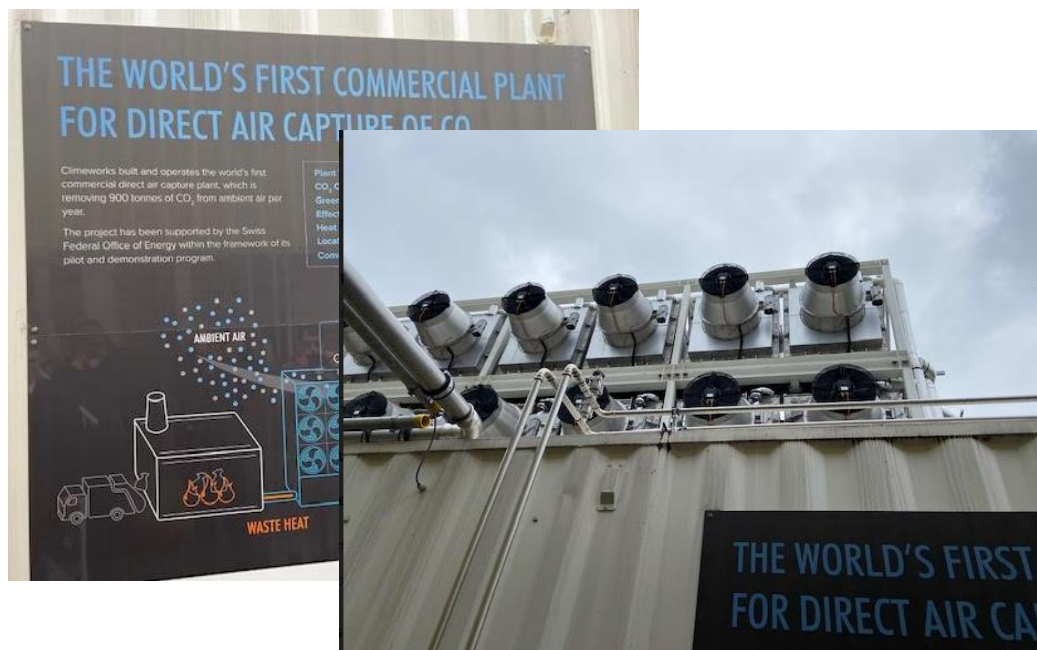


Image: Carbon Engineering

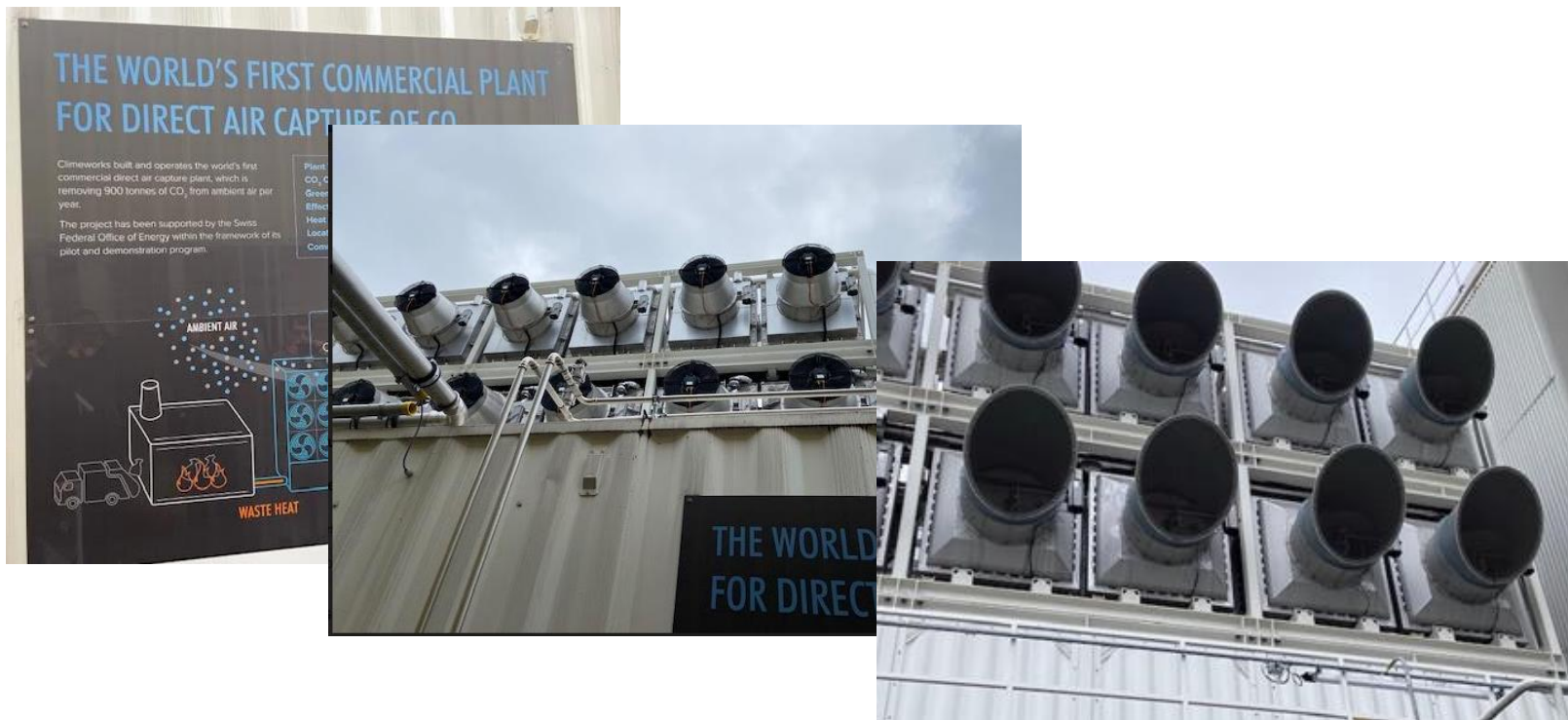
FONTE: <https://www.weforum.org/agenda/2018/02/bill-gates-to-strip-c02-from-air-for-clean-fuel/>



FONTE: <https://www.weforum.org/agenda/2018/02/bill-gates-to-strip-c02-from-air-for-clean-fuel/>



FONTE: Sergio Peres _ Missão Brasil – Alemanha de Eletrocombustíveis -2019



FONTE: Sergio Peres _ Missão Brasil – Alemanha de Eletrocombustíveis -2019

GASEIFICAÇÃO

O processo de gaseificação consiste em **decompor a biomassa na presença de oxigênio em razões subestequiométricas**, ou seja, com deficiência de oxigênio, com a finalidade de se obter **produtos gasosos combustíveis**.

COMBUSTÃO DE RSU

Oxigênio suficiente para promover a queima do combustível (RSU)

EQUAÇÃO DE COMBUSTÃO DE RSU BALANCEADA:



COMBUSTÃO SUBSESTEQUIOMÉTRICA DE RSU

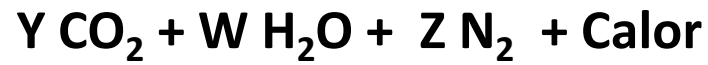
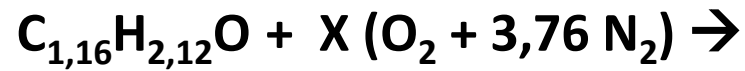
Se faltar oxigênio para a reação completa há formação de outros produtos de combustão como o CO , CH_4 , H_2 (gases combustíveis) \rightarrow gás de síntese (*syngas*)

COMBUSTÃO SUBSESTEQUIOMÉTRICA DE RSU

Se faltar oxigênio para a reação completa há formação de outros produtos de combustão como o CO , CH_4 , H_2 (gases combustíveis) \rightarrow gás de síntese (*syngas*)

GASEIFICAÇÃO = COMBUSTÃO COM DEFICIÊNCIA DE OXIGÊNIO

GASEIFICAÇÃO

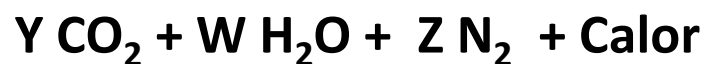
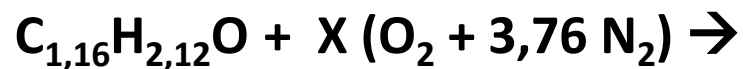


CO

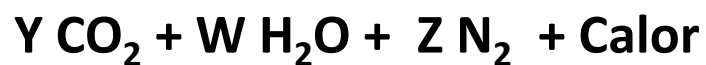
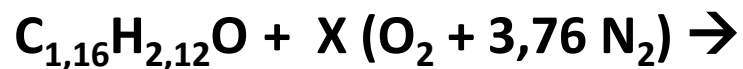


C

GASEIFICAÇÃO



GASEIFICAÇÃO



↓

CO

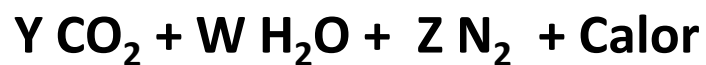
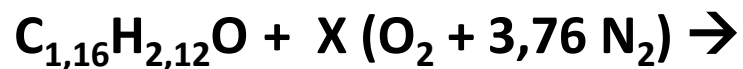
↓

C

↓

H₂

GASEIFICAÇÃO



↓

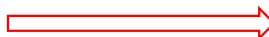
CO

↓

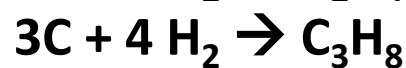
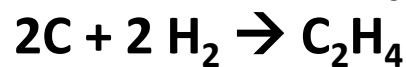
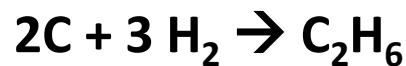
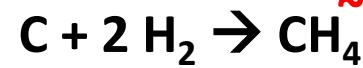
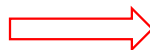
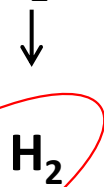
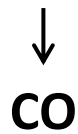
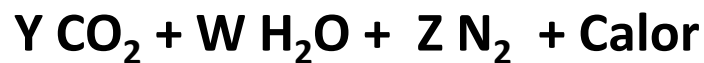
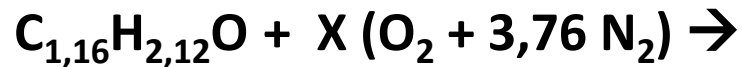
C

↓

H₂



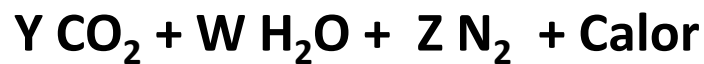
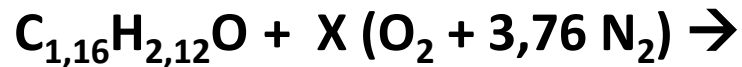
GASEIFICAÇÃO



**PC DO GÁS
COMB.**

~ 4 – 6 MJ/m³

GASEIFICAÇÃO



↓

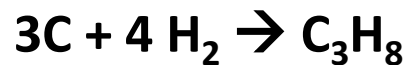
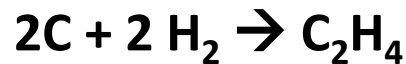
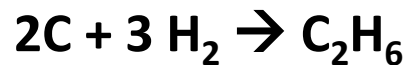
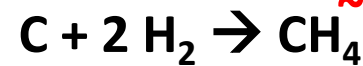
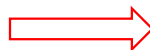
CO

↓

C

↓

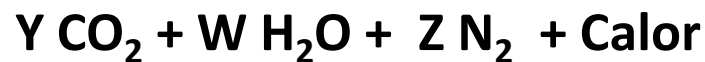
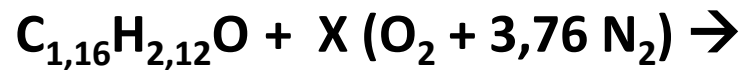
H₂



**PC DO GÁS
COMB.**

~ 4 – 6 MJ/m³

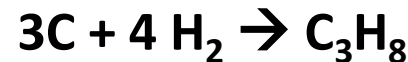
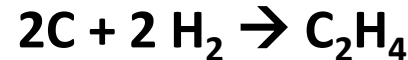
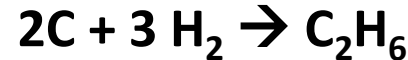
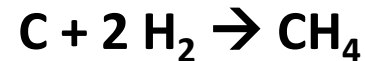
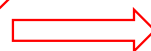
GASEIFICAÇÃO



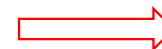
↓
CO

↓
C

↓
H₂



FT
(BTL)



BIOQAV
+
COMB.
LIQUIDO
S

GASEIFICADORES

Tipo do reator	Leito fixo	Contracorrente (<i>updraft</i>) Concorrente (<i>downdraft</i>)
	Leito fluidizado	Borbulhante Circulante
Pressão de trabalho	Baixa pressão	Atmosféricos
	Pressurizados	Até 0,6 MPa (59,2 atm)
Fonte de energia	Gaseificação direta	Energia térmica é fornecida pela oxidação parcial da biomassa
	Gaseificação indireta	Energia térmica é suprida por fonte externa

Fonte: adaptado de BRUNO, PUIG-ARNAVAT e CORONAS (2010).

Fonte: Azevedo, B. (2012) – Gaseificação de casca de mamona – dissertação de mestrado – CTG – DEQ – UFPE

GASEIFICADORES

Leito Fixo

Os gaseificadores de leito fixo destacam-se pelo escoamento do combustível por gravidade, com o leito movendo-se do topo para o fundo do reator à medida que a biomassa é consumida.

É o tipo mais simples de gaseificador, e o único indicado para aplicações de pequeno porte, podendo ser usado na alimentação de motores em sistemas de 100 kW a 10 MW apenas (REED e DAS, 1988; SALES, 2007).

Fonte: Azevedo, B. (2012) – Gaseificação de casca de mamona – dissertação de mestrado – CTG – DEQ – UFPE

GASEIFICAÇÃO

Leito Fixo

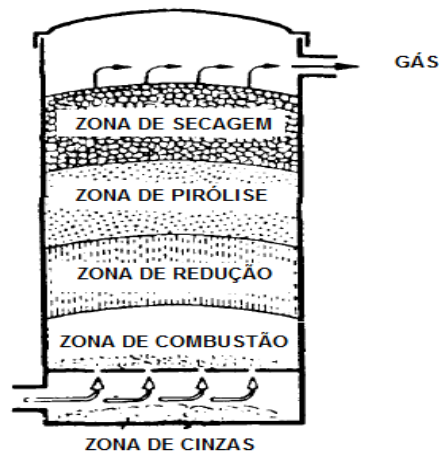
Os gaseificadores de leito fixo são classificados, de acordo com o movimento da corrente gasosa através do leito de combustível:

- Gaseificadores de fluxo ascendente (*updraft*);
- Gaseificadores de fluxo descendente (*downdraft*).

Fonte: Azevedo, B. (2012) – Gaseificação de casca de mamona – dissertação de mestrado – CTG – DEQ – UFPE

GASEIFICAÇÃO

Leito Fixo - Gaseificadores de fluxo descendente (*downdraft*);
A biomassa é introduzida pela parte superior e o ar pela parte inferior, através de uma grelha.



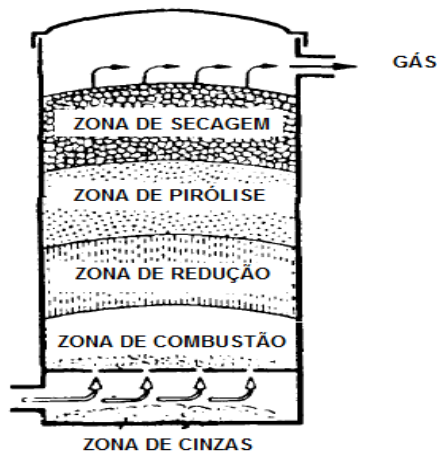
Geometria de um gaseificador contracorrente.

Fonte: adaptado de REED e DAS (1988).

Fonte: Azevedo, B. (2012) – Gaseificação de casca de mamona – dissertação de mestrado – CTG – DEQ – UFPE

GASEIFICAÇÃO

Leito Fixo - Gaseificadores de fluxo descendente (*downdraft*);
A biomassa é introduzida pela parte superior e o ar pela parte inferior, através de uma grelha.



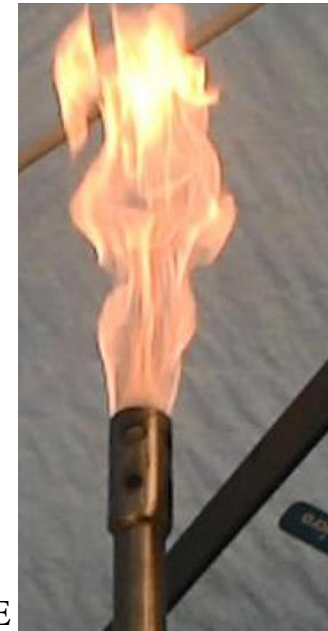
Geometria de um gaseificador contracorrente.

Fonte: adaptado de REED e DAS (1988).



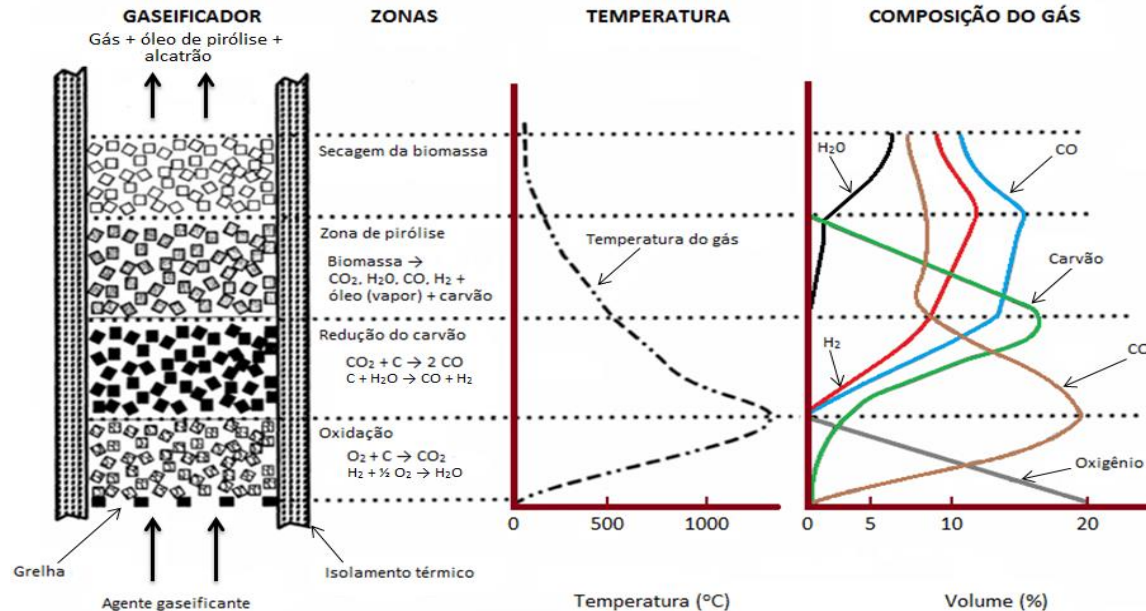
Gaseificador Downdraft –POLICOM - UPE

Fonte: Peres, S. (2012)



GASEIFICAÇÃO

Leito Fixo - Gaseificadores de fluxo descendente (*downdraft*);
A biomassa é introduzida pela parte superior e o ar pela parte inferior, através de uma grelha.



Fonte: Santos (2006) apud Azevedo, B. (2012) – Gaseificação de casca de mamona – dissertação de mestrado – CTG – DEQ – UFPE

GASEIFICAÇÃO

Leito Fixo

Gaseificadores de fluxo ascendente (*updraft*);

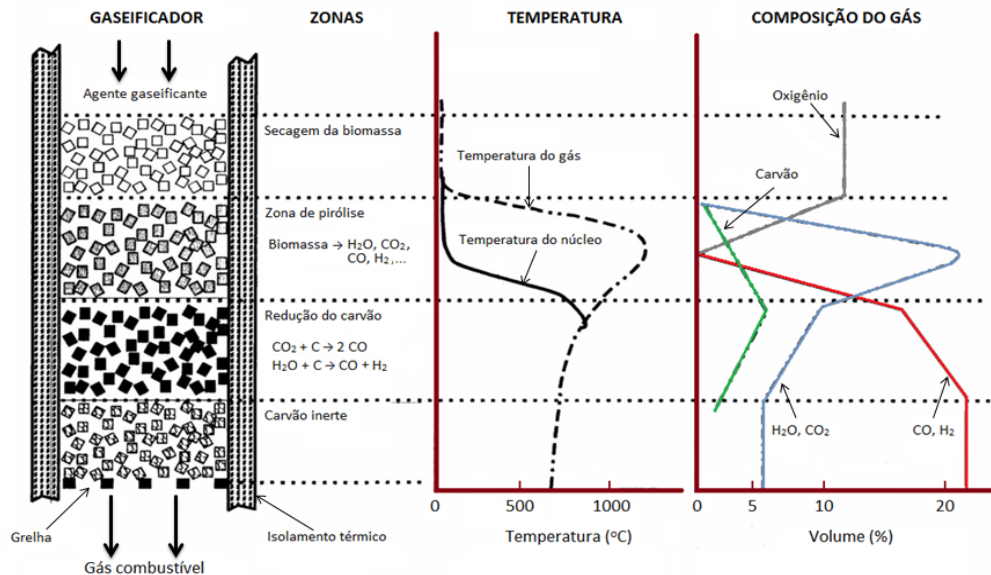
Neste tipo de gaseificador, a biomassa e o ar movem-se no mesmo sentido, ou seja, a biomassa desce em concorrência com o ar e sofre, em sequência, os processos de secagem, pirólise, combustão e redução. Como consequência, o gás produto deixa o gaseificador após passar pela zona quente, o que permite quebra de até 99% do alcatrão formado durante a gaseificação (MARTINEZ, ANDRADE e LORA, 2008).

Fonte: Azevedo, B. (2012) – Gaseificação de casca de mamona – dissertação de mestrado – CTG – DEQ – UFPE

GASEIFICAÇÃO

Leito Fixo

Gaseificadores de fluxo ascendente (*updraft*);

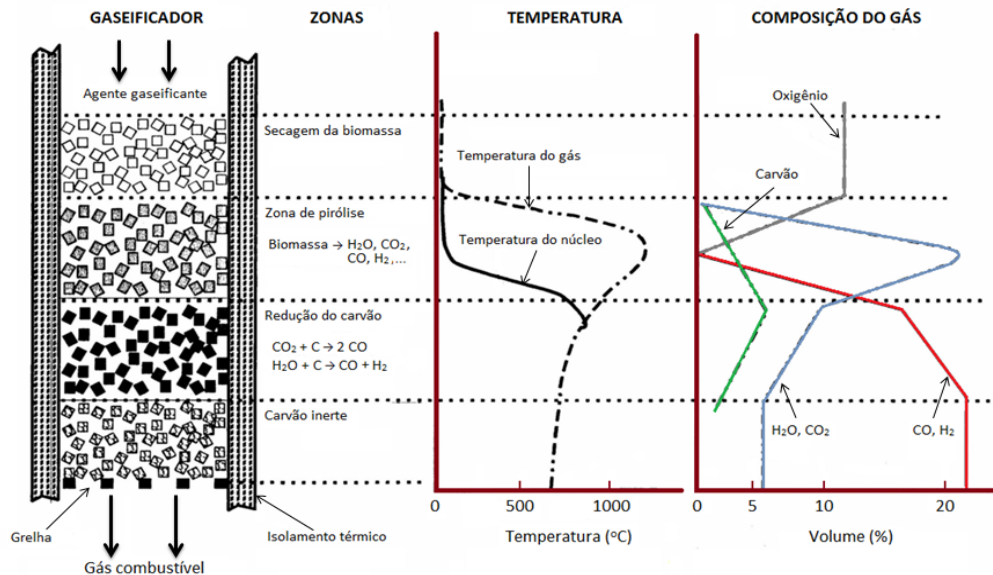


Fonte: Santos (2006) apud Azevedo, B. (2012) – Gaseificação de casca de mamona – dissertação de mestrado – CTG – DEQ – UFPE

GASEIFICAÇÃO

Leito Fixo

Gaseificadores de fluxo ascendente (*updraft*);



Características:

- Gás mais limpo;
- Menor teor de alcatrão;
- Mais vulnerável a combustíveis com alto teor de cinzas e umidade;

Fonte: Santos (2006) apud Azevedo, B. (2012) – Gaseificação de casca de mamona – dissertação de mestrado – CTG – DEQ – UFPE

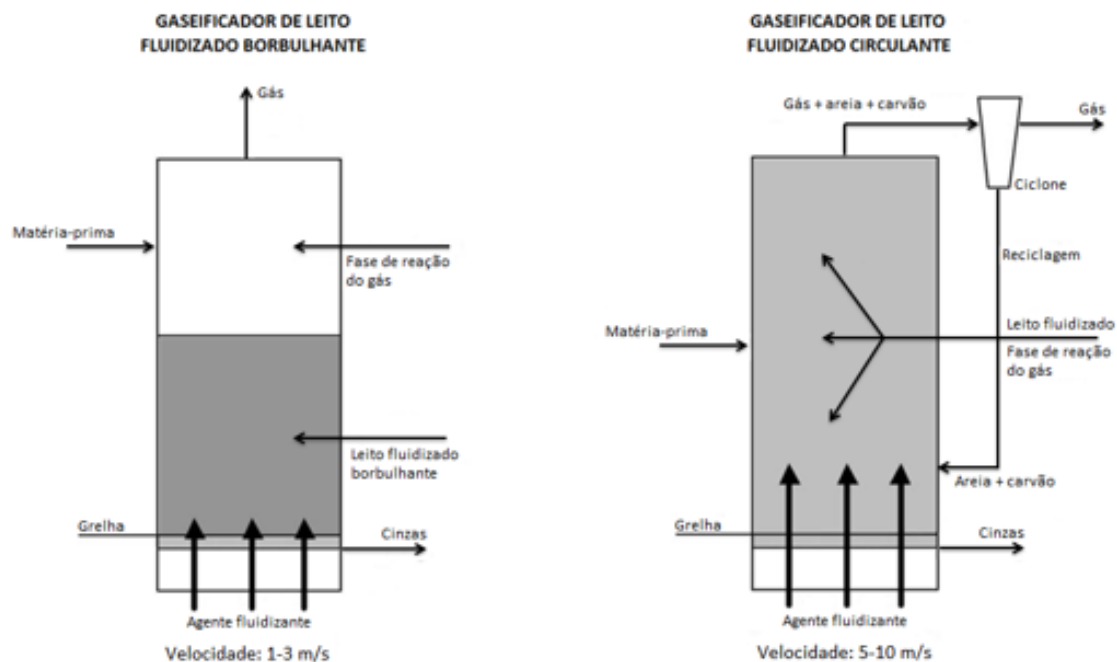
GASEIFICAÇÃO

Tipos de gaseificadores:

- **Leito fluidizado BORBULHANTE (BFB)**
- **Leito fluidizado CIRCULANTE (CFB)**

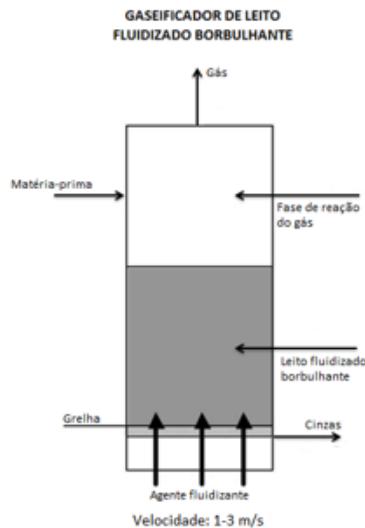
Fonte: NREL – USA (2002)

GASEIFICAÇÃO

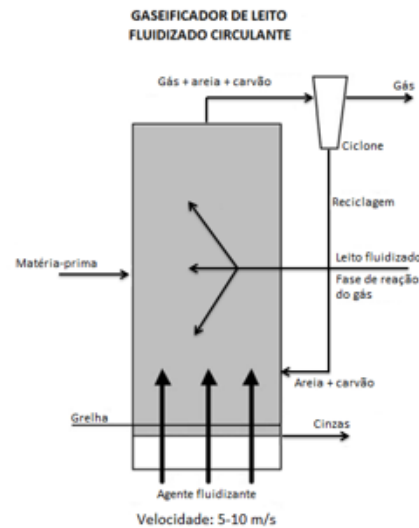


Fonte: De Feo *et al.* (2003) apud Azevedo, B. (2012) – Gaseificação de casca de mamona – dissertação de mestrado – CTG – DEQ – UFPE

GASEIFICAÇÃO



Leitos de areia e carvão não saem do reator devido à baixa velocidade do gás (1 – 3 m/s)



Leitos de areia e carvão saem do reator e circulam devido à alta velocidade do gás (5 – 10 m/s)

Fonte: De Feo *et al.* (2003) apud Azevedo, B. (2012) – Gaseificação de casca de mamona – dissertação de mestrado – CTG – DEQ – UFPE

GASEIFICAÇÃO + COMBUSTÃO

A maioria das plantas de gaseificação que processam combustíveis derivados de resíduos (CDR) ou (*SRF – solid recovered fuel*).

WtE – waste to energy . Os processos de aproveitamento energético de resíduos são uma combinação de oxidação parcial e volatilização dos compostos orgânicos contidos no RSU. No primeiro módulo ocorre a gaseificação e queima dos gases voláteis e a geração de vapor da segunda fornalha.

O Japão é o maior produtor de gaseificação de RSU. Porém, a principal tecnologia utilizada no Japão é a combustão em grelha do “*as-received MSW*”, ou seja, do RSU sem tratamento.

A Tecnologia Energos de combustão em grelha e gaseificação está operando uma planta na Alemanha e seis na Noruega.

O processo ocorre em duas etapas:

Etapas 1 - Oxidação parcial (GASEIFICAÇÃO) (RAC – relação ar-combustível variando de 0,5 a 0,8, sendo 1,0-estequiométrica) e combustão do carbono fixo depositado no leito fixo na primeira câmara. Ocorre a geração do gás de síntese.

Etapas 2 - O gás de síntese gerado na primeira câmara (gaseificação) é queimado totalmente, e o calor gerado na combustão é utilizado no sistema de recuperação de calor (geração de vapor).

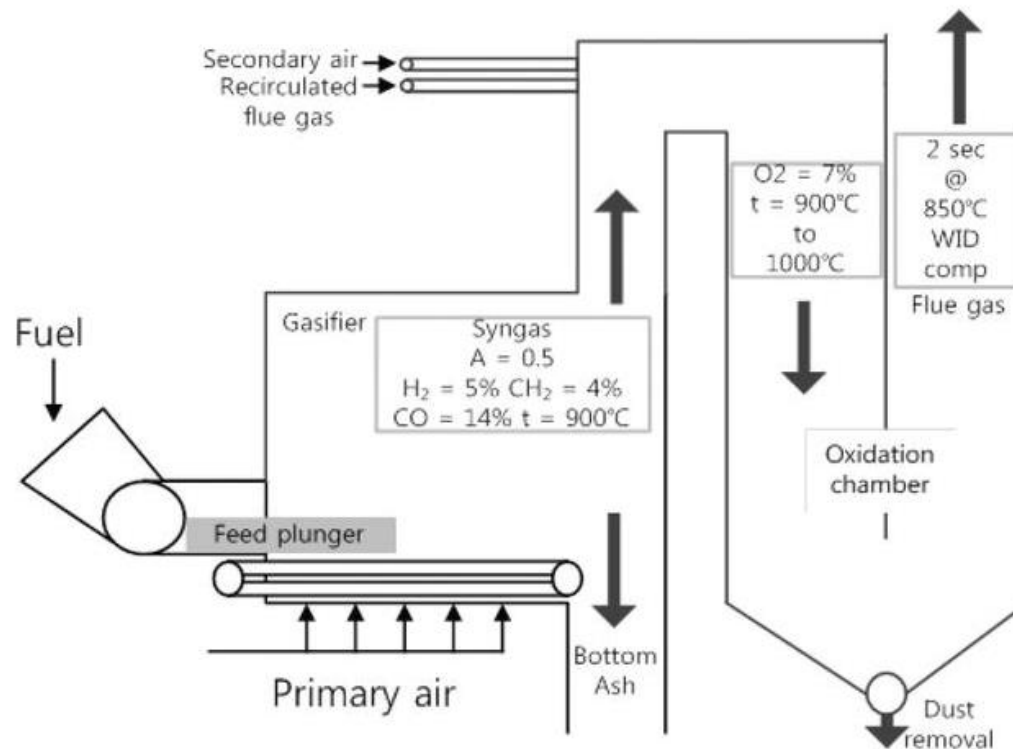
As temperaturas nos processos das etapas 1 e 2 chegam a 900°C e 1.000°C, respectivamente.

Vantagens: - Todas dioxinas formadas na Etapa 1 são destruídas na câmara de combustão e rapidamente, resfriadas no processo de recuperação de calor, que minimiza a formação de dioxinas.

A formação de **NO_x** é pequena sendo mantida a 25% do limite estabelecido pela União Europeia (200 mg/Nm³).

Fonte: Seo, Y., Alam, M. T. e Yang, W. - Gasification of Municipal Solid Waste DOI: 10.5772/intechopen.73685

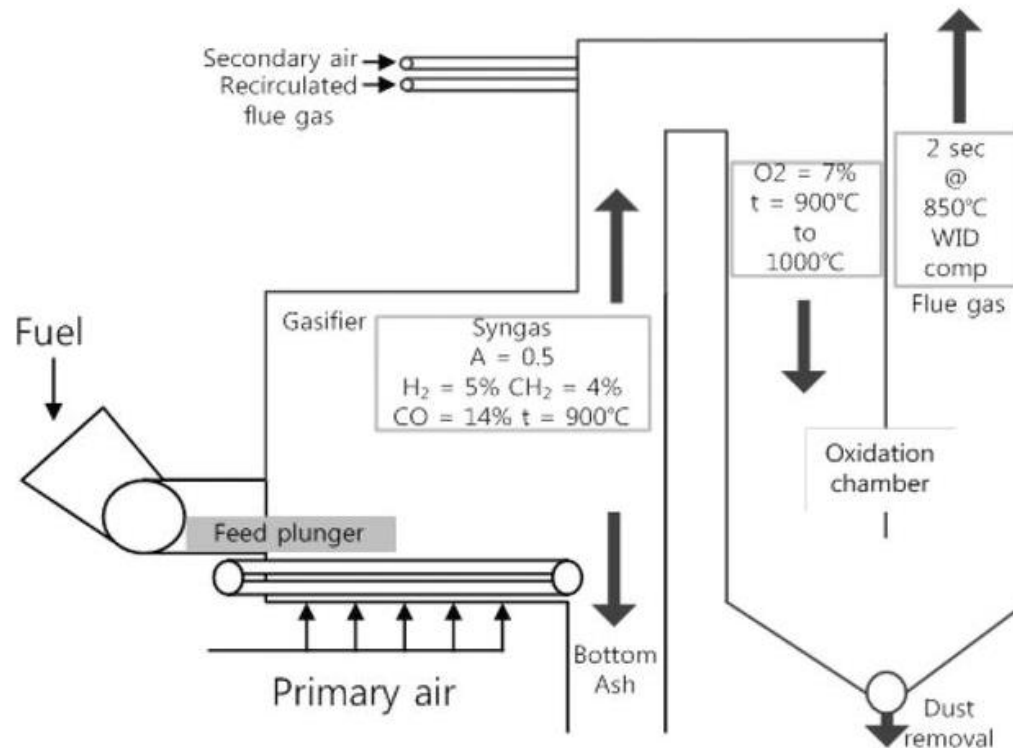
GASEIFICAÇÃO + COMBUSTÃO



Esquemático da planta Energos (gaseificação e combustão)

Fonte: Seo, Y., Alam, M. T. e Yang, W. - Gasification of Municipal Solid Waste DOI: 10.5772/intechopen.73685

GASEIFICAÇÃO + COMBUSTÃO



Plantas existentes:

6 na Noruega;
1 na Alemanha;
1 no Reino Unido

Fonte: San Shwe Hla – The development of waste to energy Technologies around the world – QCAT (2014)

Esquemático da planta Energos (gaseificação e combustão)

Fonte: Seo, Y., Alam, M. T. e Yang, W. - Gasification of Municipal Solid Waste DOI: 10.5772/intechopen.73685

Planta de Gaseificação Energós - Noruega

Localização: Sarpsborg – Noruega

Proprietário: Hafslund Heat and Power (HSP)

Investimento: 45 milhões de Libras Esterlinas

Início da operação: Março de 2010

Geração: 32 MW de energia (ou 250 GWh por ano de vapor)

Processa 78.000 toneladas de resíduos sólidos urbanos por ano



Fonte: <https://www.power-technology.com/projects/energosgification/>

Planta de Gaseificação Energós - Noruega

Localização: Sarpsborg – Noruega

Proprietário: Hafslund Heat and Power (HSP)

Investimento: 45 milhões de Libras Esterlinas

Início da operação: Março de 2010

Geração: 32 MW de energia (ou 250 GWh por ano de vapor)

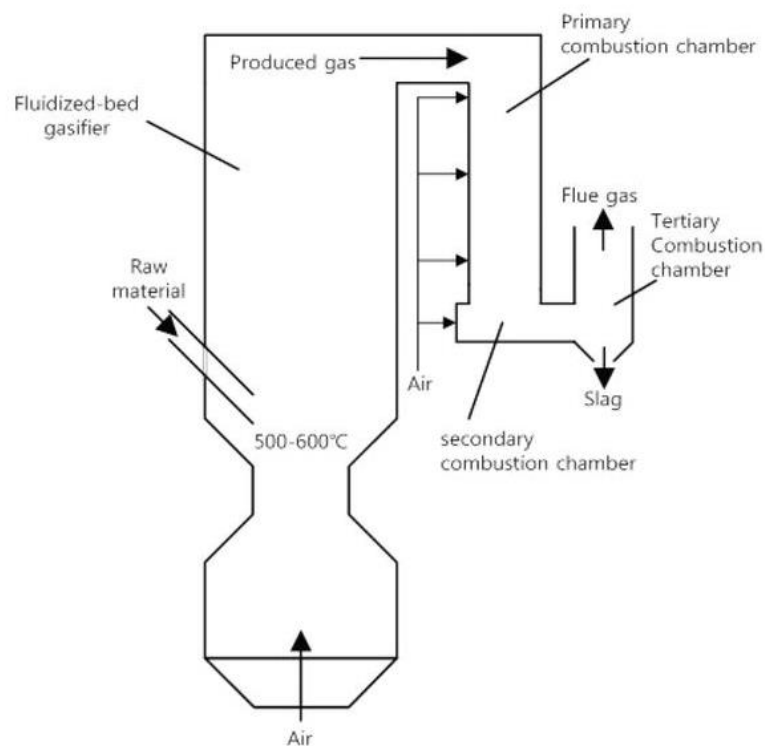
Processa 78.000 toneladas de resíduos sólidos urbanos por ano



Fonte: <https://www.power-technology.com/projects/energosgification/>

Fonte: Dina Bacovsky

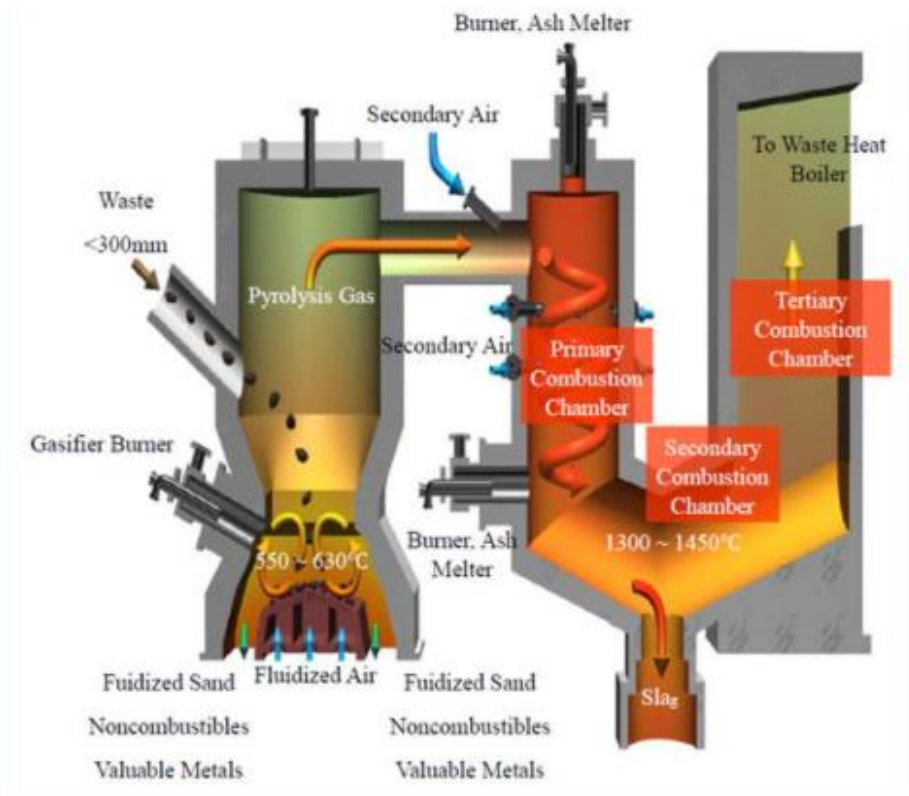
GASEIFICAÇÃO + COMBUSTÃO



Esquemático da planta Ebara (gaseificação e combustão)

Fonte: Seo, Y., Alam, M. T. e Yang, W. - Gasification of Municipal Solid Waste DOI: 10.5772/intechopen.73685

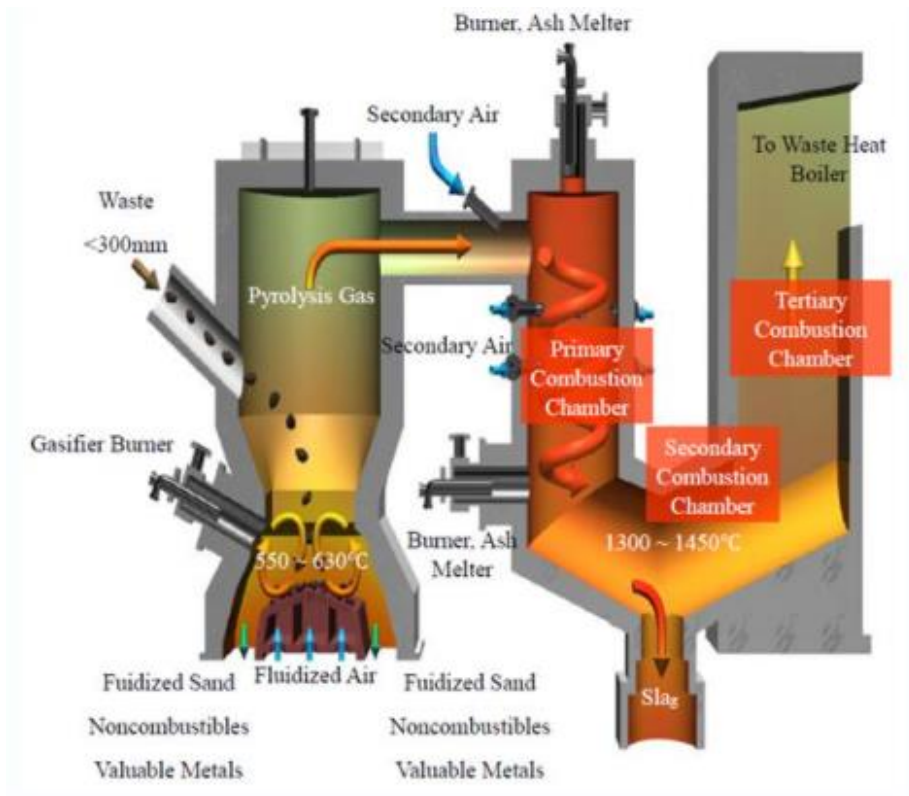
GASEIFICAÇÃO + COMBUSTÃO



Esquemático da planta Ebara (gaseificação e combustão)

Fonte: San Shwe Hla – The development of waste to energy Technologies around the world – QCAT (2014)

GASEIFICAÇÃO + COMBUSTÃO



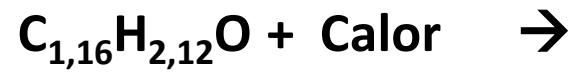
Esquemático da planta Ebara (gaseificação e combustão)

Fonte: San Shwe Hla – The development of waste to energy Technologies around the world – QCAT (2014)

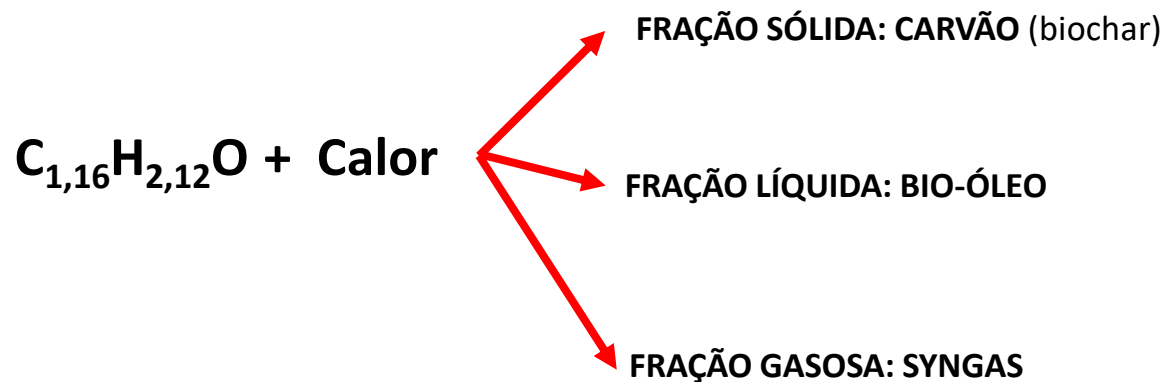
PIRÓLISE

O processo de pirólise consiste em **decompor a biomassa na ausência** para obtenção de **combustíveis sólidos, líquidos e gasosos**. Dependendo da quantidade de calor aplicada e do tempo de residência da reação.

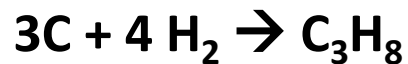
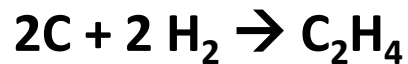
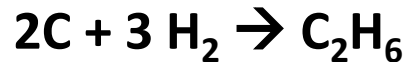
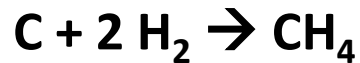
PIRÓLISE



PIRÓLISE



PIRÓLISE



PIRÓLISE



↓

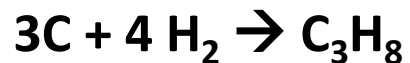
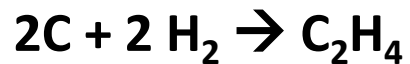
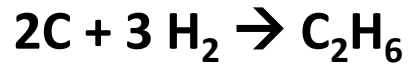
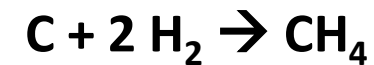
CO

↓

C

↓

H₂



**PC DO GÁS
COMB.**

~ 10 – 12 MJ/m³

PIRÓLISE



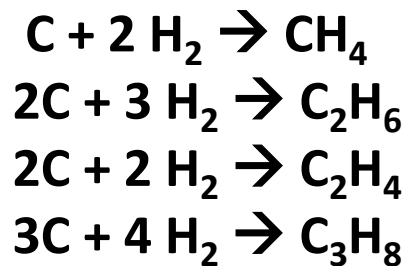
CO



C



H₂



FT

(BTL)

**BIOQAV + COMB.
LÍQUIDOS**

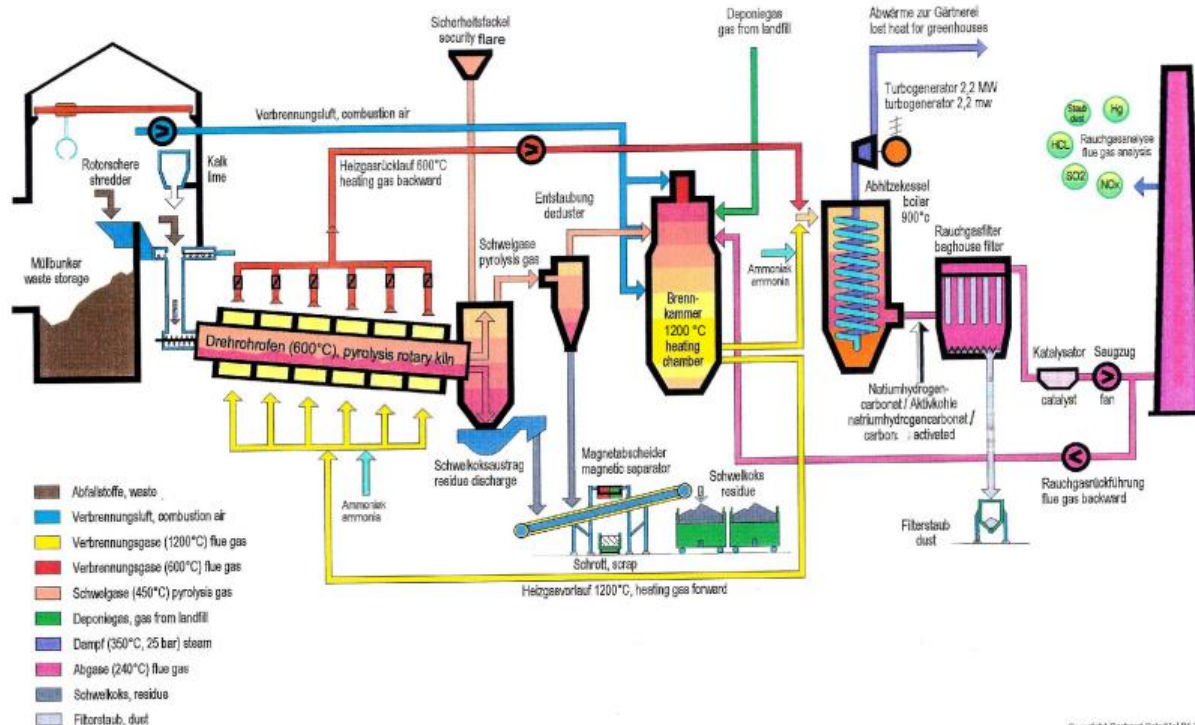
PIRÓLISE

RSU “as received” é uma fonte de energia sustentável. Tipicamente, uma planta com capacidade de processar 100 tpd de resíduos com um poder calorífico entre 8 e 9 MJ/kg e teor de umidade de 30 a 40% pode gerar entre 2 a 2,5 MWh de eletricidade . Fonte: pyrolysis.biz/MSW-pyrolysis.html.

PLANTAS EM OPERAÇÃO:

- **Localidade:** Burgau, Alemanha
Data da entrada m operação: 1987
Capacidade: 110 tpd
- **Localidade:** Hamm, Alemanha
Data da entrada em operação: 1987
Capacidade: 275 tpd
- **Localidade:** Toyohashi, Japão
Data da entrada em operação: 1987
Capacidade: 295 tpd

PIRÓLISE – Planta de Burgau - Alemanha



Capacidade:
35.000 ton por
ano

Fonte: <https://www.dgengineering.de/download/open/Burgau-2009-EN.pdf>

PIRÓLISE – Planta de Burgau - Alemanha



Fonte: <https://www.dgengineering.de/download/open/Burgau-2009-EN.pdf>

PIRÓLISE – Planta de Burgau - Alemanha



Planta de pirólise de Burgau- Alemanha e a área de aterro para os resíduos sólidos

Fonte: <https://www.dgengineering.de/download/open/Burgau-2009-EN.pdf>

GASEIFICAÇÃO A PLASMA



Características do processo de

Gaseificação Reator: Updraft – leito fixo
Temperatura da tocha: 5.000°C a 7.000°C
Temperatura de vitrificação: 1.650 °C
Temperatura do gás de síntese: 890 a 1.100°C

Plantas que usam esta tecnologia:

- Utashinai – RSU (50%) + ASR (resíduos automotivos triturados - 50%). Capacidade: 165 tpd (2003)
- Mihama-Mikata – Lodo seco (20%) + RSU (80%). Capacidade: 22 tpd (2003)

Fonte: San Shwe Hla – The development of waste to energy Technologies around the world – QCAT (2014)

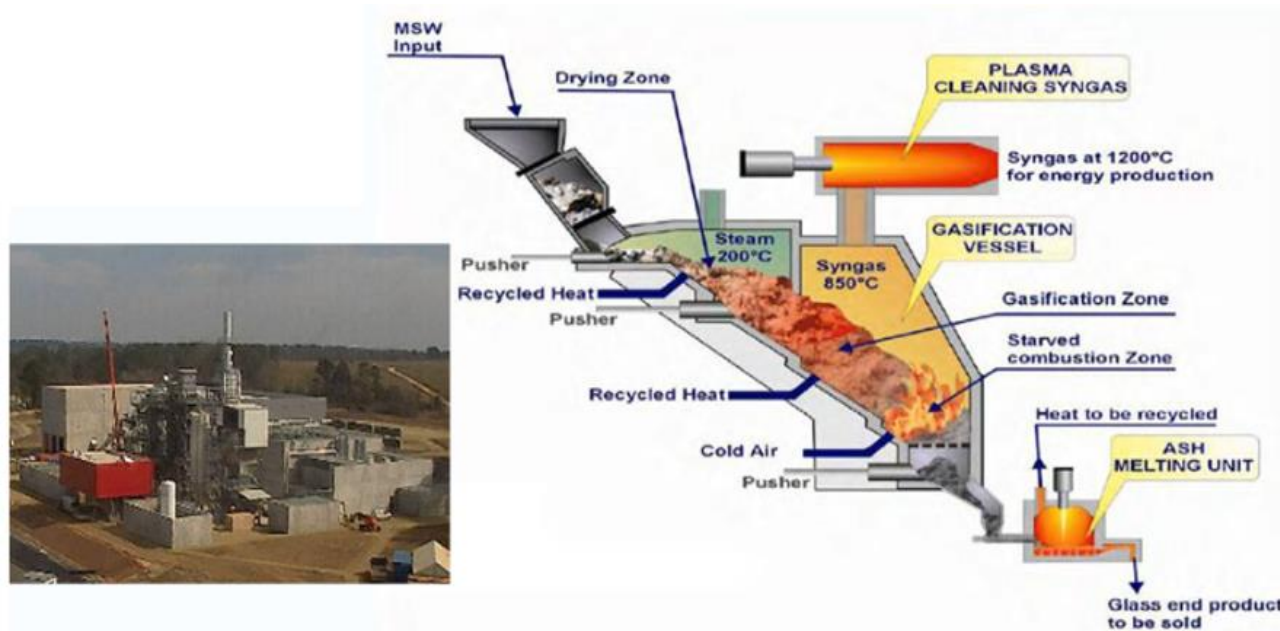
GASEIFICAÇÃO A PLASMA

CHO –POWER & Europlasma – Consiste de um gaseificador primário (sistema de grelha móvel) e um reator de plasma para craqueamento do gás de síntese, e uma unidade de fundição das cinzas.

Primeira Planta comercial – Morcenx, França.

Potência instalada: 12 MW

F



Fonte: San Shwe Hla – The development of waste to energy Technologies around the world – QCAT (2014);
Technical and commercial progress update for CHO Power (CHO Power)

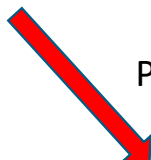
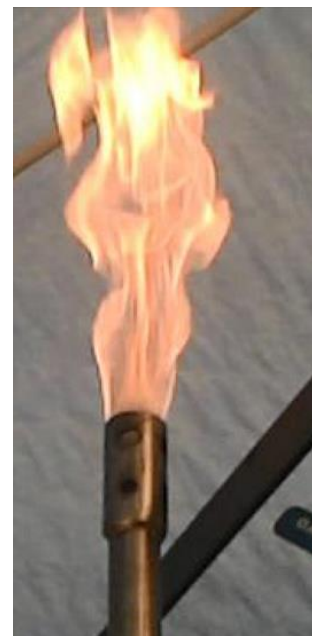
CUSTOS DAS TECNOLOGIAS WTE

Tecnologias WtE	Custo de Investimento (US\$/ton RSU/ano)	Custo de Operação (US\$/ton RSU/ano)
Incineração	400 - 700	40 - 70
Pirólise	400 - 700	50 - 80
Gaseificação	250 - 850	45 - 85
Digestão Anaeróbia	50 - 350	5 - 35
Aterro sanitário com recuperação de gás	10 - 30	1 - 3

Fonte: Kumar, A e Samadder, S.R. (2017) – DOI: [10.1016/j.wasman.2017.08.046](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.046)

PIRÓLISE E GASEIFICAÇÃO DE RESÍDUOS NO POLICOM -UPE

MATERIAL LIGNOCELULÓSICO (LC)



PIROLISADOR/GASEIFICADOR



GLICERINA

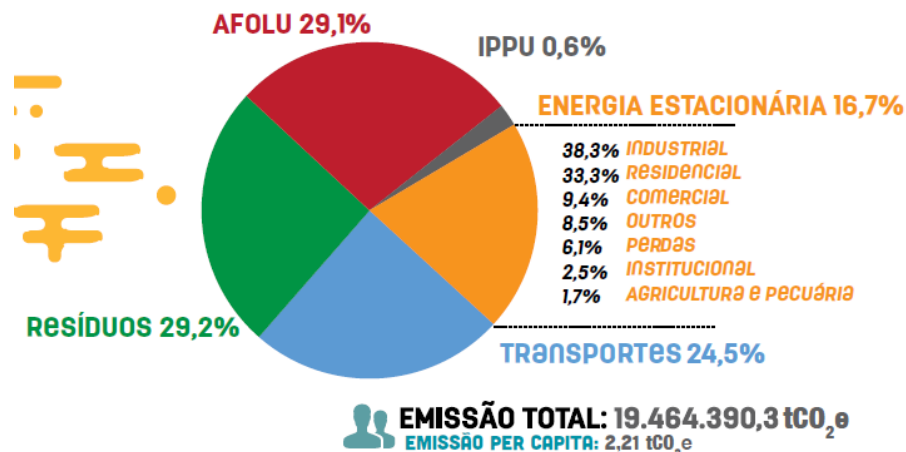
4. EMISSÕES

PARÂMETROS FIXOS PARA OS CÁLCULOS DAS EMISSÕES DE METANO DE RSU

Parâmetros de cálculo	Valores
Fator de correção de metano (MCF) em aterros sanitários	1
Fator de correção de metano (MCF) em lixões	0,6
Fração de carbono orgânico degradável	0,5
Fração de metano no biogás	0,5
Fator de oxidação	0,1
Fonte	IPCC

Fonte: INVENTÁRIO DE GEE DO ESTADO DE PE 2015- 2018 (2019)

Motivação:



RESÍDUOS

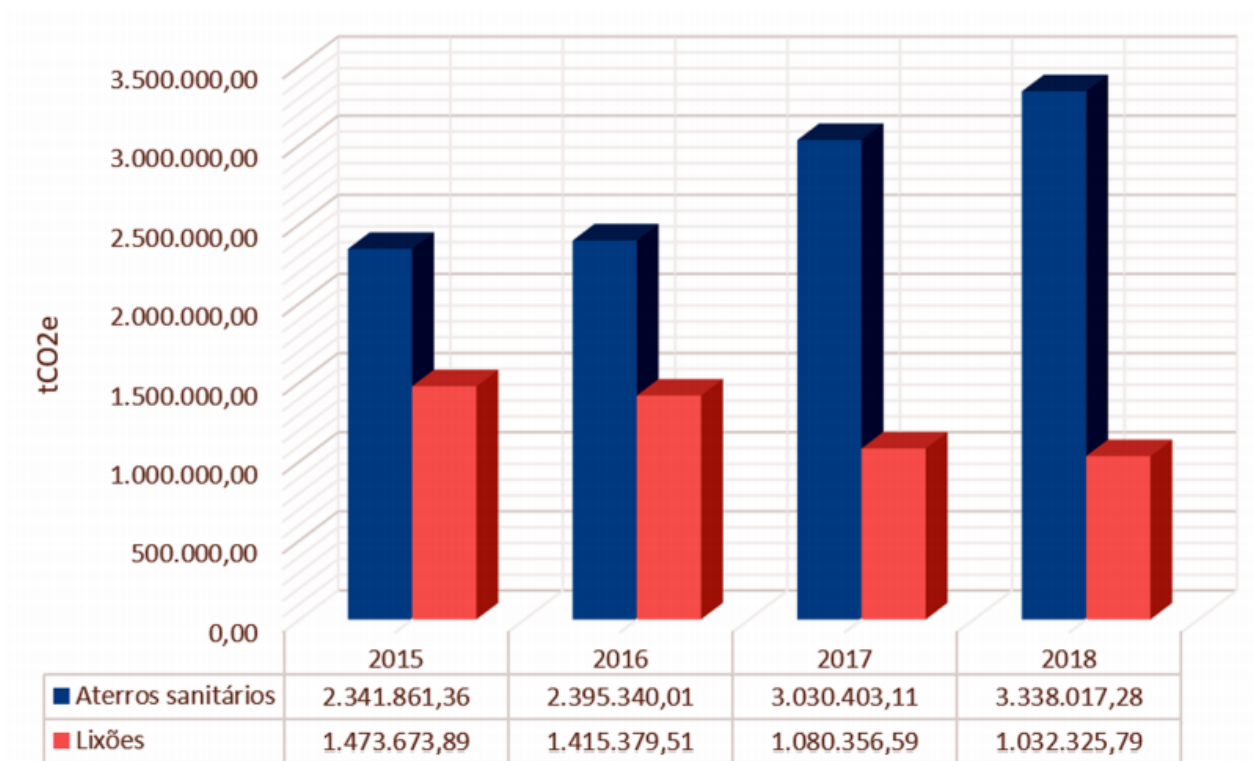


Tratamento de efluentes
Resíduos sólidos urbanos

TOTAL: 6.131.767,4 tCO₂e

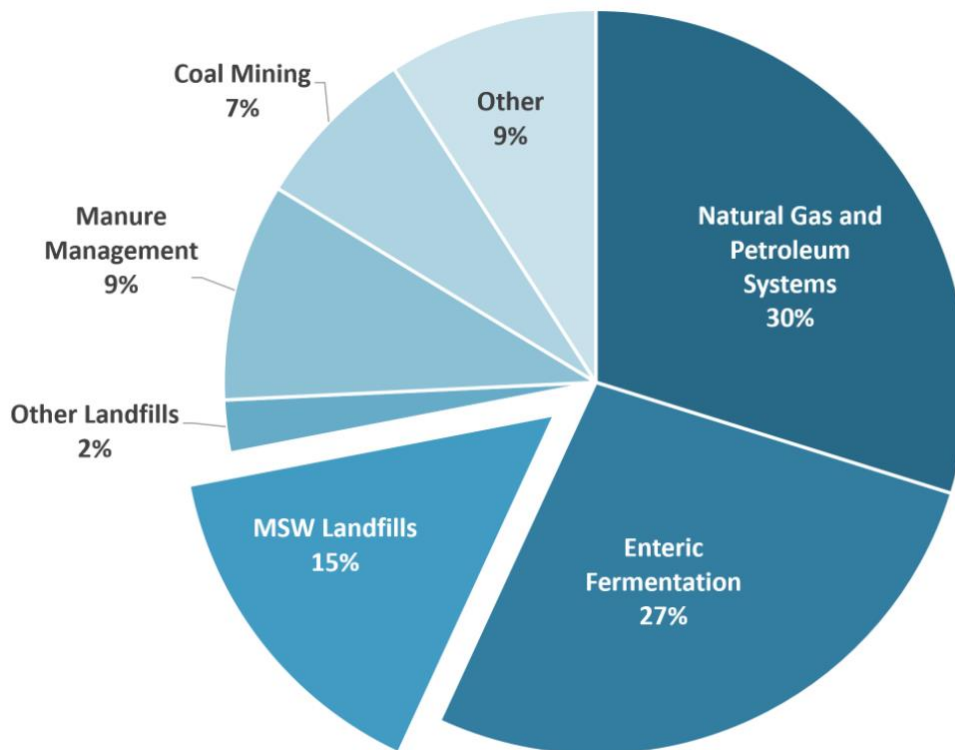
Fonte: SEMAS- INVENTÁRIO DE GEE DE PE (2019)

EMISSIONES DE METANO DE RSU – ATERROS E LIXÕES EM PERNAMBUCO



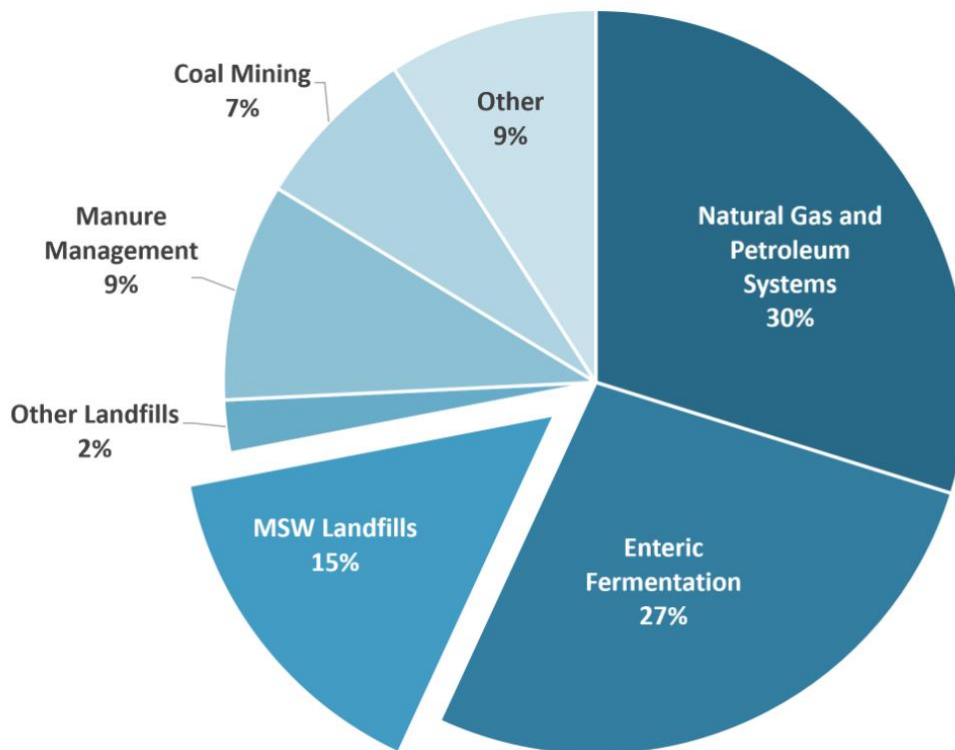
Fonte: INVENTÁRIO DE GEE DO ESTADO DE PE 2015- 2018 (2019)

EMISSÕES DE METANO DE RSU – EUA



Fonte: U.S. EPA 2021. Inventory of the U.S. Greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2019

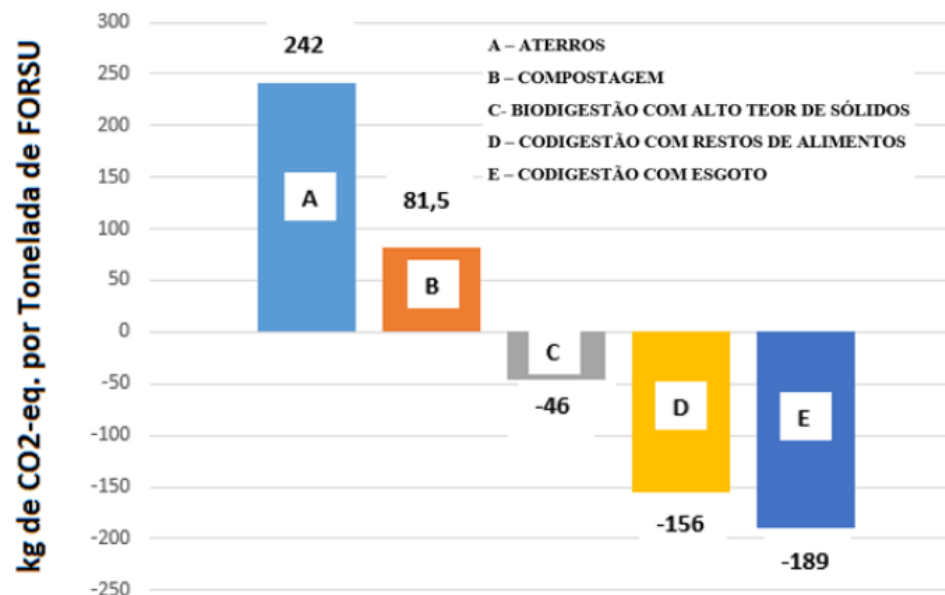
EMISSÕES DE METANO DE RSU – EUA



Os aterros de RSU são a terceira maior fonte de emissões de metano nos EUA, respondendo por 15,1% das emissões em 2019.

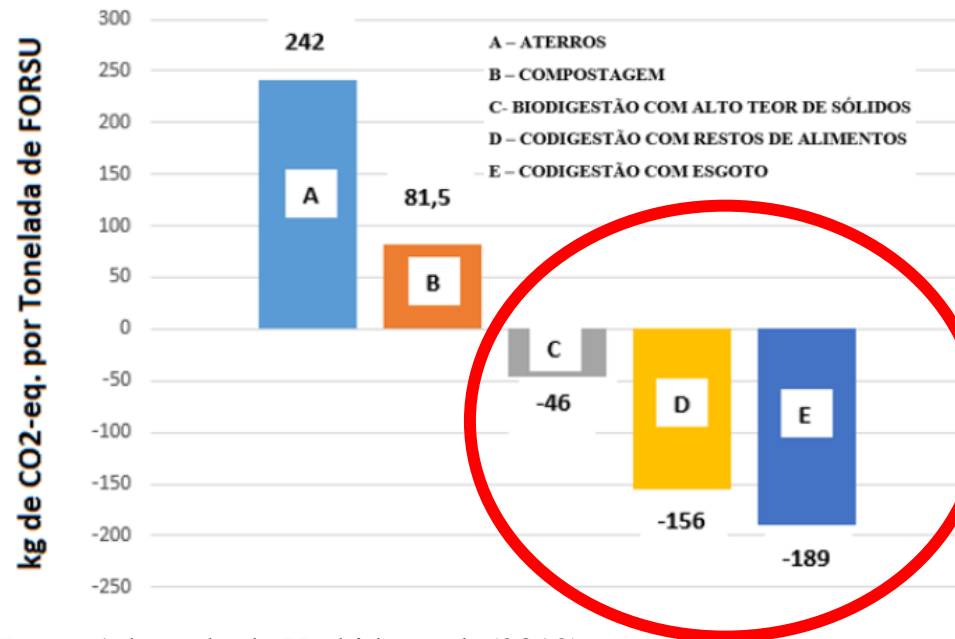
Fonte: U.S. EPA 2021. Inventory of the U.S. Greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2019

EMISSÕES DO CICLO DE VIDA DOS GASES DO EFEITO ESTUFA (GEE -ACV)



Fonte: Adaptado de Yoshida et al. (2012)

EMISSÕES DO CICLO DE VIDA DOS GASES DO EFEITO ESTUFA (GEE -ACV)



Fonte: Adaptado de Yoshida et al. (2012)

Observação: O metano (CH₄) tem um fator de aquecimento global 28 vezes maior que o dióxido de carbono (CO₂) num período de 100 anos (IPCC, 2014).

Análise do monitoramento ambiental da incineração de RSU na Europa e a necessidade de alterações na Legislação Brasileira

Autores: Cardozo, Mannarino e Ferreira – DOI: [0.1590/S1413-415220190040](https://doi.org/10.1590/S1413-415220190040)

PREMISSAS: - Características técnicas dos **incineradores** quanto ao **tipo de forno**: tecnologia de **grelha**;
Dos **136 incineradores analisados**: - 62% recebem somente RSU (84 UNIDADES); e,
- 38% recebem RSU e resíduos industriais não perigosos e os comerciais.

Capacidade de recepção: - 20 recebem até 300 tpd;
- 50 recebem entre 301 e 700 tpd;
- 41 recebem acima de 1.000 tpd;

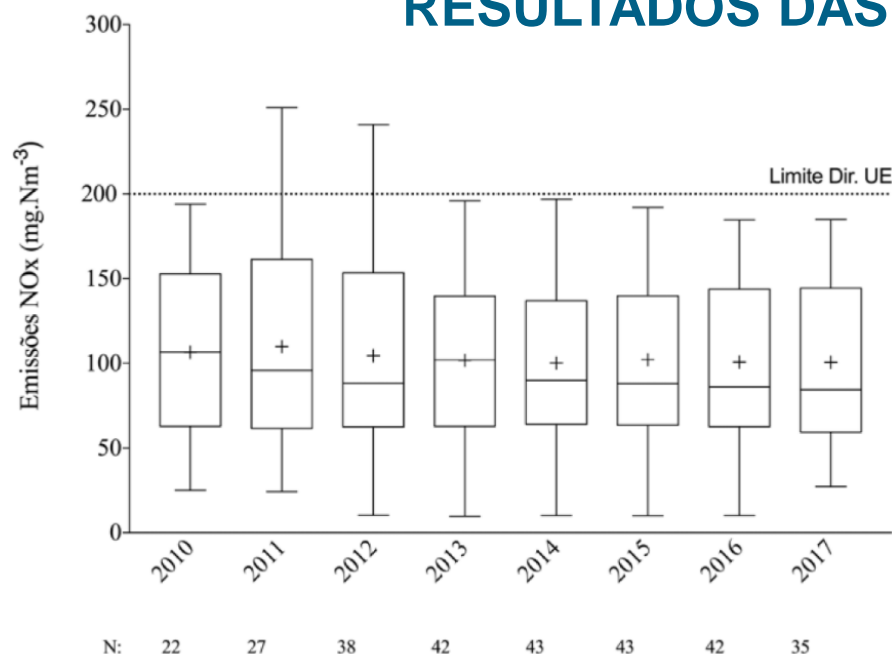
RESULTADOS DAS ANÁLISES

Fonte: Eng. Sanit. Ambient. 26 (1) • Jan-Feb 2021 •

Análise do monitoramento ambiental da incineração de RSU na Europa e a necessidade de alterações na Legislação Brasileira

Autores: Cardozo, Mannarino e Ferreira – DOI: [0.1590/S1413-415220190040](https://doi.org/10.1590/S1413-415220190040)

RESULTADOS DAS ANÁLISES



EMISSIONES DE NO_x

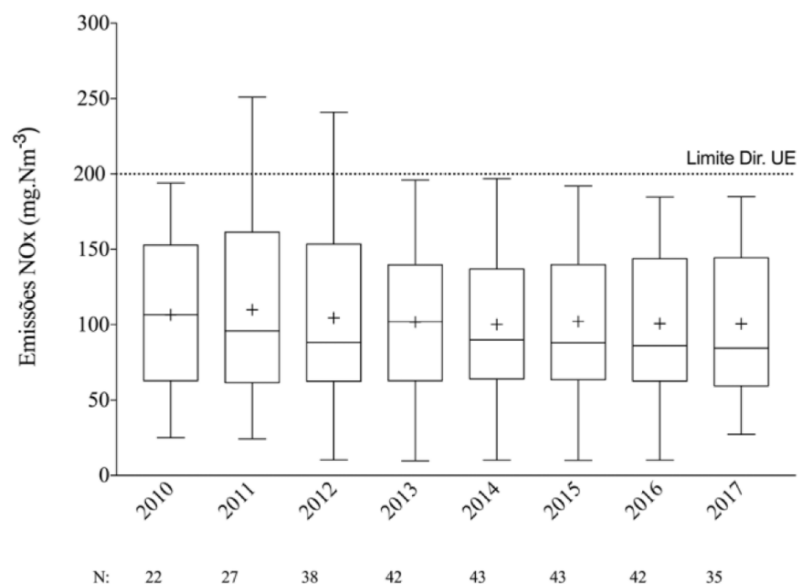
*Número total de incineradores analisados igual a 43; UE: União Europeia.

Fonte: Eng. Sanit. Ambient. 26 (1) • Jan-Feb 2021 •

Análise do monitoramento ambiental da incineração de RSU na Europa e a necessidade de alterações na Legislação Brasileira

Autores: Cardozo, Mannarino e Ferreira – DOI: [0.1590/S1413-415220190040](https://doi.org/10.1590/S1413-415220190040)

RESULTADOS DAS ANÁLISES



*Número total de incineradores analisados igual a 43; UE: União Europeia.

EMISSÕES DE NO_x

CONAMA 316/02

NO_x: 570,0 mg/Nm³

CONAMA 382/06

NO_x: 650,0 mg/Nm³

CONAMA 499/20

Coprocessamento

Cimenteiras

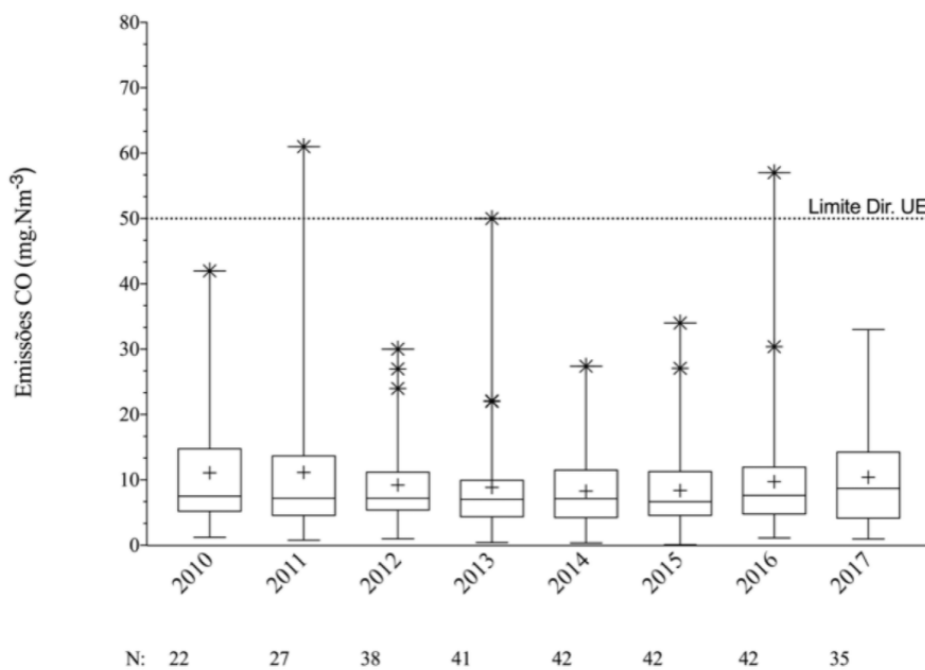
NO_x: 800,0 mg/Nm³

Fonte: Eng. Sanit. Ambient. 26 (1) • Jan-Feb 2021 •

Análise do monitoramento ambiental da incineração de RSU na Europa e a necessidade de alterações na Legislação Brasileira

Autores: Cardozo, Mannarino e Ferreira – DOI: [0.1590/S1413-415220190040](https://doi.org/10.1590/S1413-415220190040)

RESULTADOS DAS ANÁLISES



an-Feb 2021 •

*Número total de incineradores analisados igual a 43; UE: União Europeia.

EMISSIONES DE CO

CONAMA 382/06

CO: 1.300 mg/Nm³ para
bagaço de cana e madeira

CONAMA 316/02

CO: 100 ppm/Nm³
Equivalente a 196 mg/ Nm³
CO = 1,976kg/Nm³

CONAMA 499/20

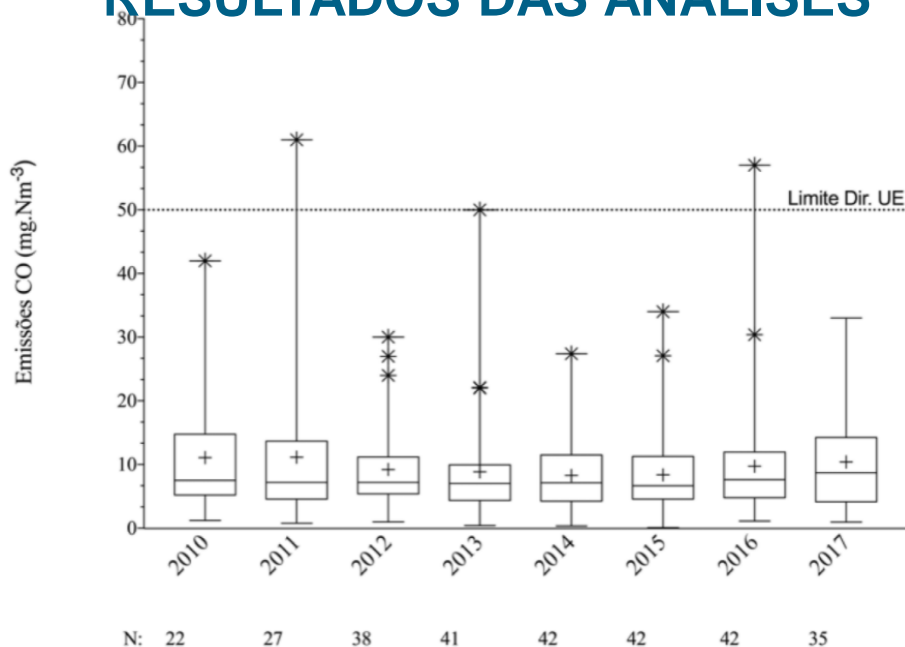
Coprocessamento
Cimenteiras

Não tem limites para CO.

Análise do monitoramento ambiental da incineração de RSU na Europa e a necessidade de alterações na Legislação Brasileira

Autores: Cardozo, Mannarino e Ferreira – DOI: [0.1590/S1413-415220190040](https://doi.org/10.1590/S1413-415220190040)

RESULTADOS DAS ANÁLISES



*Número total de incineradores analisados igual a 43; UE: União Europeia.

Fonte: Eng. Sanit. Ambient. 26 (1) • Jan-Feb 2021 •

EMISSÕES DE CO

CONAMA 382/06

CO: 1.300 mg/Nm³ para
bagaço de cana e madeira

CONAMA 316/02

CO: 100 ppm/Nm³
Equivalente a 196 mg/ Nm³
CO = 1,976kg/Nm³

CONAMA 499/20

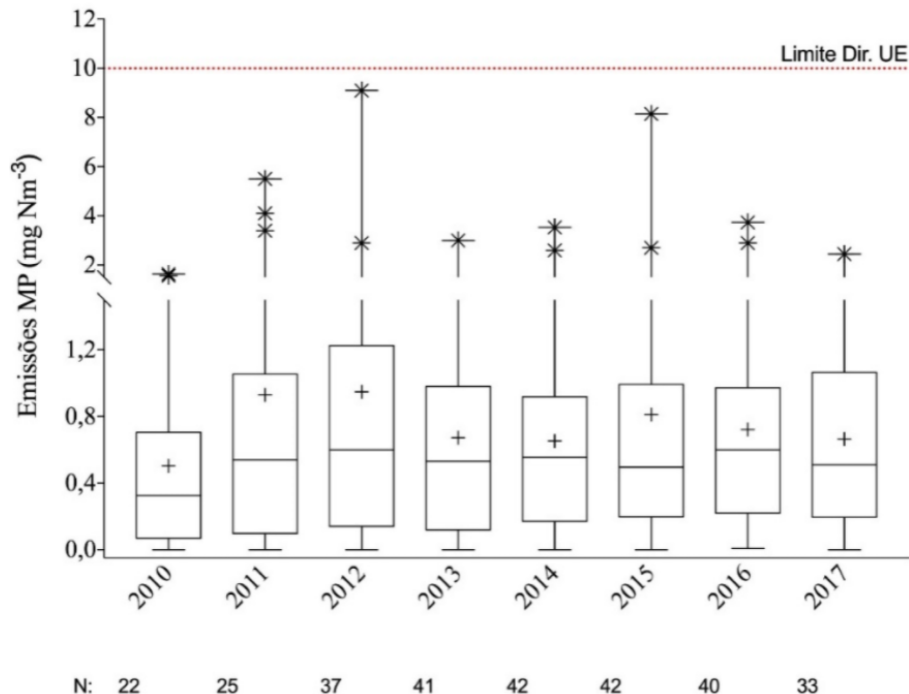
Coprocessamento
Cimenteiras

Não tem limites para CO.

Análise do monitoramento ambiental da incineração de RSU na Europa e a necessidade de alterações na Legislação Brasileira

Autores: Cardozo, Mannarino e Ferreira – DOI: [0.1590/S1413-415220190040](https://doi.org/10.1590/S1413-415220190040)

RESULTADOS DAS ANÁLISES



EMISSIONS DE MP

CONAMA 382/06

MP: 730-130 mg/Nm³ para madeira
280 - 200 mg/Nm³ para bag. cana

CONAMA 316/02

MP: 70 mg/Nm³

CONAMA 499/20

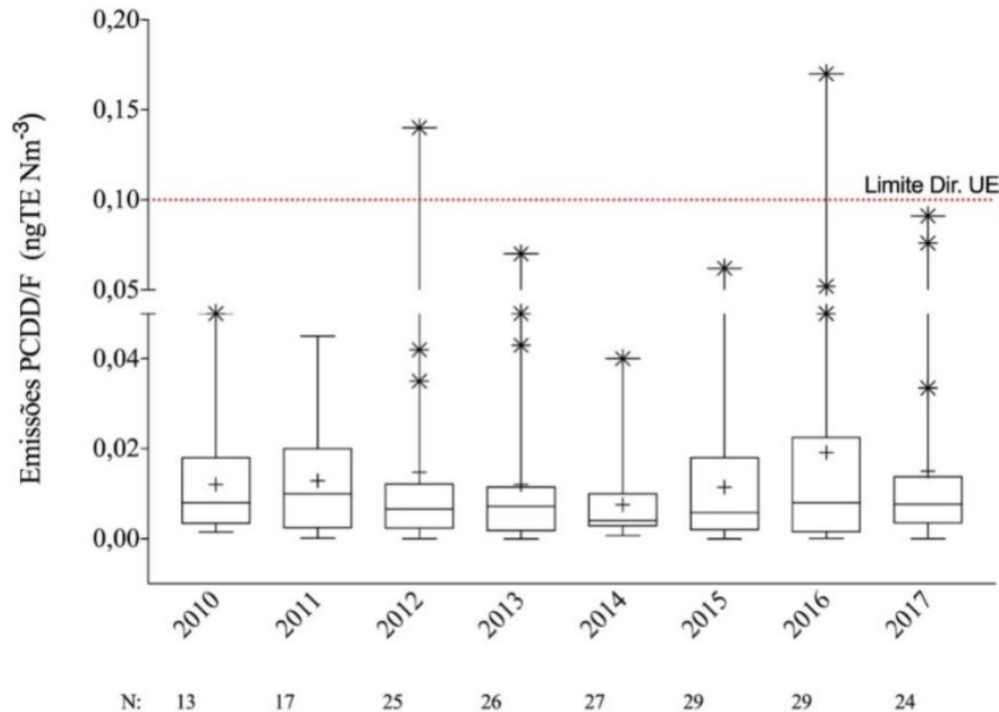
Coprocessamento Cimenteiras
MP: 50 mg/Nm³

Fonte: Eng. Sanit. Ambient. 26 (1) • Jan-Feb 2021 •

Análise do monitoramento ambiental da incineração de RSU na Europa e a necessidade de alterações na Legislação Brasileira

Autores: Cardozo, Mannarino e Ferreira – DOI: [0.1590/S1413-415220190040](https://doi.org/10.1590/S1413-415220190040)

RESULTADOS DAS ANÁLISES



EMISSÕES DE DIOXINAS E FURANOS

CONAMA 382/06

D-F: não tem (cana e madeira)

CONAMA 316/02

D-F: 0,50 ng/Nm³

CONAMA 499/20

Coprocessoamento Cimenteiras

D-F: 0,1 ng/Nm³

Fonte: Eng. Sanit. Ambient. 26 (1) • Jan-Feb 2021 •

Análise do monitoramento ambiental da incineração de RSU na Europa e a necessidade de alterações na Legislação Brasileira

Autores: Cardozo, Mannarino e Ferreira – DOI: [0.1590/S1413-415220190040](https://doi.org/10.1590/S1413-415220190040)

COMPARAÇÃO ENTRE OS LIMITES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS EU-BR

Parâmetro (mg.Nm ⁻³)*	Diretiva 2010/75 (UE)	Resolução CONAMA n° 316/2002	Resolução SEMA 043/2008 (PR)	Resolução SMA 79/2009 (SP)
Óxidos de nitrogênio (NO _x)	200	560	560	200
Material particulado (MP)	10	70	70	10
Monóxido de carbono (CO)	50	100	125	50
Dióxido de enxofre (SO ₂)	50	280	280	50
Carbono orgânico total (COT)	10	-	-	10
Ácido clorídrico (HCl)	10	80	80	10
Ácido fluorídrico (HF)	1	5	5	1
Dioxinas e furanos (PCDD/F) (ngTE.Nm ⁻³)	0,1	0,5	0,5	0,1
mercúrio (Hg)	0,05	0,28	0,28	0,05
cádmio (Cd)	0,05			0,05
tálio (Tl)				
Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V	0,5	-	-	0,5
Sb + Pb + Cr + Cn + Cu + Sn + F + Mn + PT + PD + RH + V	-	7	7	-
As + Co + Ni + Se + Te	-	1,4	1,4	-

SÃO PAULO (Estado).
Resolução SMA nº 79 de 4 de novembro de 2009. Estabelece diretrizes e condições para a operação e licenciamento de resíduos sólidos em usinas de recuperação energética - URE. *Diário Oficial do Estado de São Paulo*, São Paulo, Executivo I, p. 44, 5 nov. 2009.

Fonte: Eng. Sanit. Ambient. 26 (1) • Jan-Feb 2021 •

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

QUAL É A MELHOR SOLUÇÃO PARA O USO DO RSU E DESCARTE DO REJEITO?

- **A SOLUÇÃO PARA CADA LOCALIDADE TEM SER ESTUDADA A PARTIR DA QUANTIDADE E TIPOLOGIA DOS SEUS RSU;**

- **A COLETA SELETIVA TEM UM PAPEL IMPORTANTE NA SELEÇÃO DAS TECNOLOGIAS A SEREM UTILIZADAS;**

- **A SOLUÇÃO DEPENDE DOS RESÍDUOS RECICLÁVEIS: SE PODEM SER COMERCIALIZADOS E A QUE PREÇO.**

- **SOLUÇÕES INTEGRADAS, USANDO OS RSU COMO INSUMO, PODEM INCENTIVAR A PRODUÇÃO DESCENTRALIZADA DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE E BIOCOMBUSTÍVEIS GERANDO EMPREGO E RENDA PARA A POPULAÇÃO LOCAL.**

- O USO SUSTENTÁVEL DO RSU PARA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE E BIOCOMBUSTÍVEIS CONTRIBUIRÁ BASTANTE COM A REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA E COM A SUSTENTABILIDADE DO PLANETA.

1ª MICRO CENTRAL TERMELÉTRICA DE 30 KW a biogás com resíduos alimentares de shopping center no brasil



ANEEL -CELPE Projeto de P&D – Inauguração: 09 de junho de 2019

Projeto da Central: Prof. Dr. Sérgio Peres (UPE/SUSTENTE)

Projeto da Conexão da energia elétrica ao Sistema (GRID) - CGTI

Executores do projeto: SUSTENTE – POLICONSLUT – CGTI – VERSATTUS

**CELPE – Prêmio 2016 ECO AMCHAM – Melhor projeto de
Iniciativa Sustentável para Grandes Empresas no Brasil.**

Inventário da Biomassa Produtora de Biogás de Pernambuco (2016)

E-book:

http://www.celpe.com.br/Sustentabilidade/Documents/Celpe%20-%20Projeto%20Biogas_ebook.pdf





Porto de Galinhas



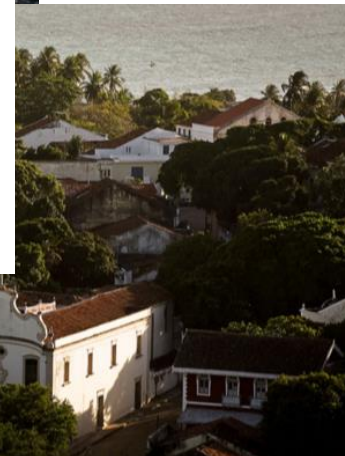
Recife - Olinda



**MUITO
OBRIGADO**



Porto de Galinhas



Recife - Olinda



Contato:

Prof. Sérgio Peres, Ph.D.

Universidade de Pernambuco

Escola Politécnica de Pernambuco

POLICOM – Laboratório de Combustíveis e Energia

Fone: +55 (81) 3184-7502

+ 55 (81) 98823-1380

E-mail: policom@poli.br

sergio.peres@upe.br

sergperes@gmail.com

