

Recuperação Energética: Biodigestão

Esp. Eng. Adv. Christiane Pereira

chrdiasp@tu-bs.de

27.08.2021



- Primeira Universidade Tecnológica na Alemanha – fundada em 1745
- Orçamento de 2020: 380 milhões de euros sendo 30% de origem de terceiros
- 18.566 estudantes, sendo 18 % estrangeiros e 41 % mulheres.
- 3.800 colaboradores
- 330 cooperações internacionais com universidades e centros de pesquisa em 50 países





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.

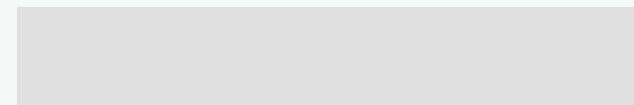
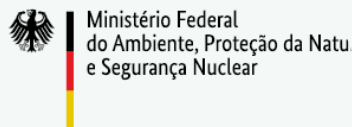
www.protegeer.gov.br
www.teach4waste.com



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA



POR ORDEM DO



- 1. Aspectos gerais**
- 2. Diferenciação tecnológica**
- 3. Desafios operacionais**
- 4. Potencialidade de mercado**
- 5. Contratação tecnológica**
- 6. Considerações finais**



1. ASPECTOS GERAIS



III - **compostagem**: processo de decomposição biológica controlada dos resíduos orgânicos, efetuado por uma população diversificada de organismos, **em condições aeróbias** e termofílicas, resultando em material estabilizado, com propriedades e características completamente diferentes daqueles que lhe deram origem; (CONAMA 481/2017)



Biodigestão
Digestão anaeróbia
Fermentação
Metanização

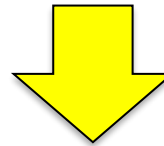
A metanização, ou digestão anaeróbia, é o processo de mineralização da matéria orgânica **em condições de ausência de oxigênio livre** (CHERNICHARO, 1997).

A **CONCESSIONÁRIA** deverá implantar a **unidade de compostagem aeróbica ou anaeróbica** através de processos acelerados da decomposição da matéria orgânica, até o mês 12 do Ano 9 da Concessão. (Anexo II, projeto básico, pág. 14, Minuta de edital Campinas 07.2021)

- Há vários substratos adequados para um processo industrial de biodigestão.
- Os produtos do processo de biodigestão estão diretamente ligados aos substratos.
- Resíduos de rebanhos confinados, dos resíduos agrícolas, dos agroindustriais e dos resíduos orgânicos urbanos – sólidos e líquidos.

Potenciais substratos:





A maior parte da energia é armazenada no produto da decomposição metano.

▪ Origem dos resíduos orgânicos

Influencia direta na qualidade do produto final.

Fontes limpas e livres de contaminantes.



A composição do material irá determinar a velocidade do processo de compostagem, sendo a relação C/N a variável mais importante



Resíduos orgânicos coletados seletivamente tem baixo índice de rejeitos – Ex. Alemanha 0 - 3% de rejeitos (Obrigatório em todo território nacional desde 01.01.2015.)

Resíduos biodegradáveis

100 plantas
2.000.000 t/a



Resíduos biodegradáveis industriais

170 plantas
750.000 t/a

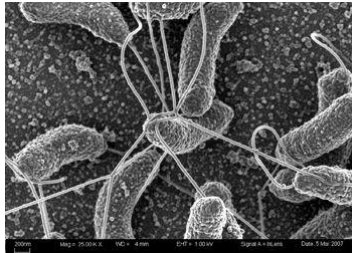


RSU

12 plantas
680.000 t/a



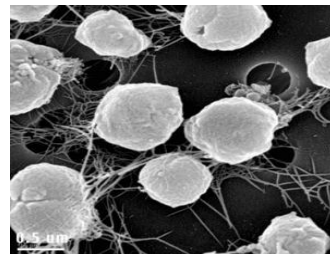
Biodigestão ou digestão anaeróbia: degradação da matéria orgânica na ausência de oxigênio



Desulfovibrio vulgaris -
(Fonte: Chemistrytimes)



Methanosarcina acetivorans
(Methanosarcina Project Information)



Methanococcus jannaschii (Electron microscope lab)

- Processo ocorre na natureza, principalmente em fundos de pântanos, rúmen de animais.
- Processo complexo, realizado por um consórcio de microrganismos (até 2010, 81 espécies descritas).
- Maior parte das reações são catabólicas (baixa formação de biomassa)
- Processo delicado, fases interdependentes
- Influenciado por:
 - Temperatura
 - pH
 - Nutrientes
 - Inibidores

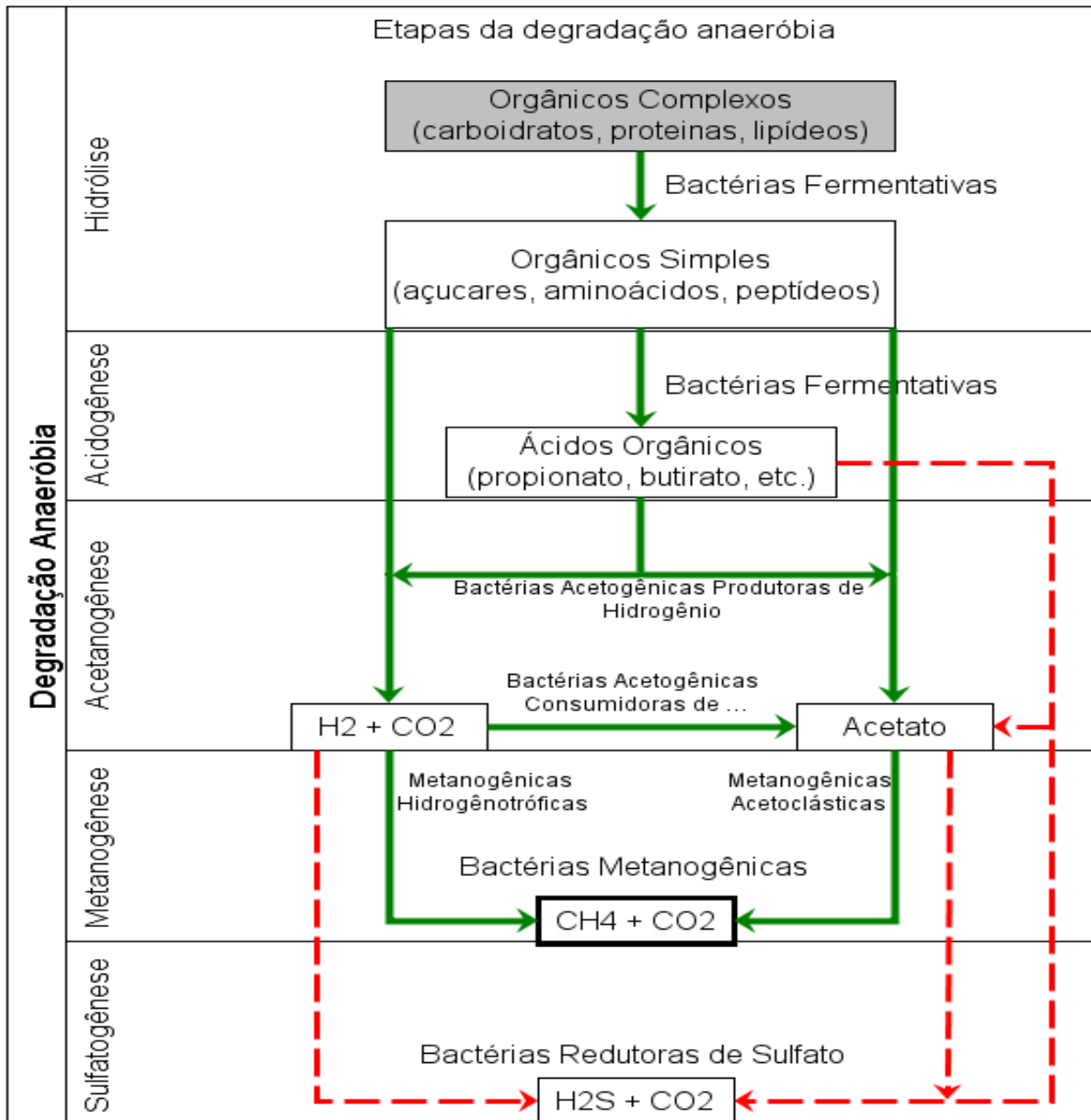


Matéria-prima	Quantidade [m ³ / t orgânico na entrada do fermentador]	CH₄ [vol.-%]
Resíduos biodegradáveis (mistura de resíduos verdes e da cozinha)	75 – 136 (73)	53 - 65
Resíduos biodegradáveis (resíduos de cozinha)	123 – 178 (139)	53 - 68
RSU orgânico (frações finas)	100 - 174	57 - 62

No Brasil:

120 – 210 m³ / t de orgânico

58 – 69 % CH₄



ETAPAS DA DECOMPOSIÇÃO ANAERÓBIA

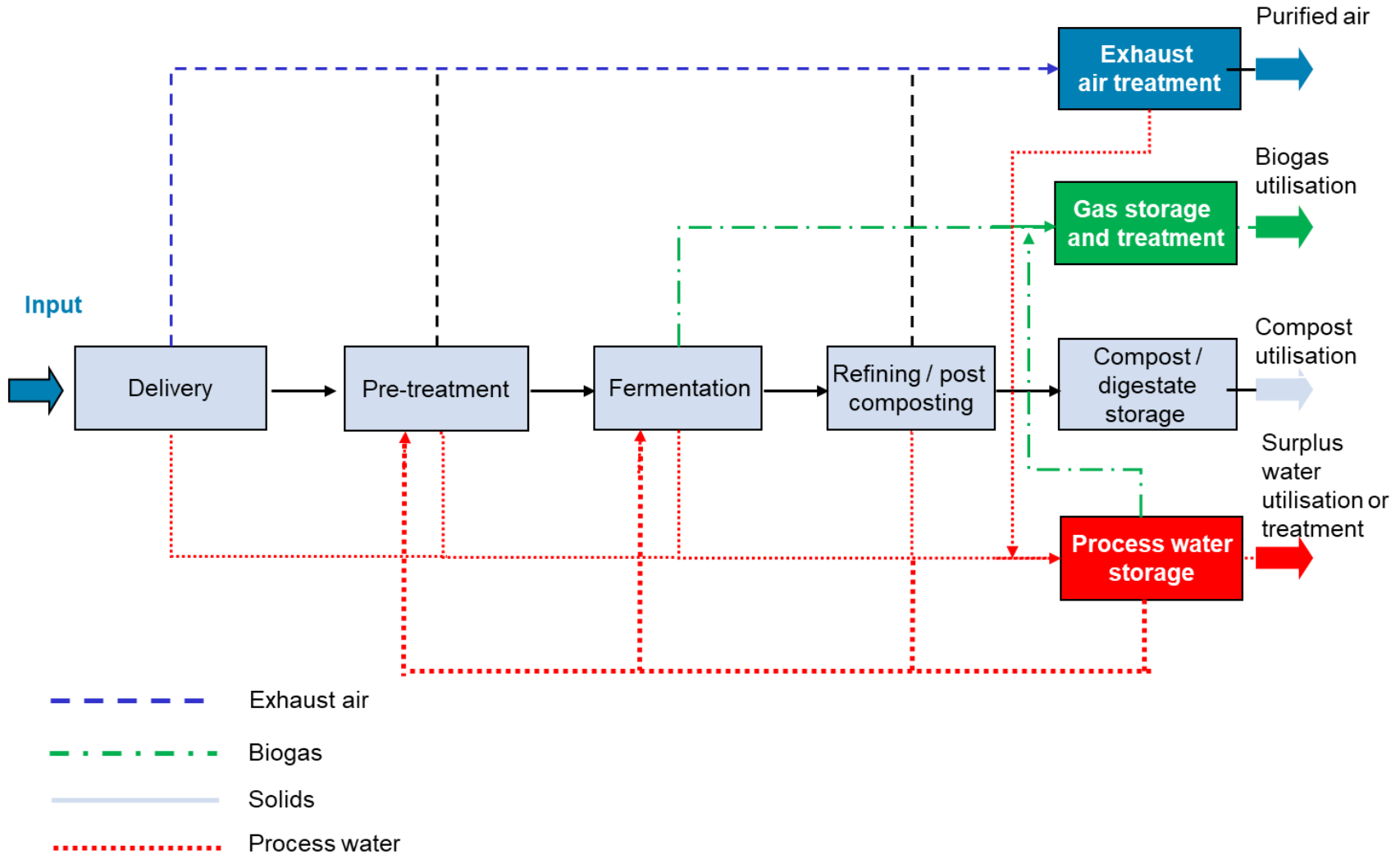
Parâmetros	Hidrólise e acidificação	Metanização
Temperatura	25 - 38°C	Mesofílico: 30 - 37°C Termofílico: 50 - 60 °C
pH-value	5,2 - 6,3	6,7 - 7,5
C/N	10 - 45	20 - 30
Matéria seca	< 40 %	< 30 %
Redox	+400 - -300 mV	< -250 mV
Nutrientes C : N : P : S	500 : 15 : 5 : 3	600 : 15 : 5 : 3
Elementos traço	Sem requerimento especial	essencial: Ni, Co, Mo, Se

Source: According to Weiland 2001 and own data

- Grau de formação de biogás
- Pressão
- Temperatura
- pH valor
- Redox
- Fos/Tac
- NH_3 e NH_4
- CH_4
- H_2S



Resource: DGUV



2. DIFERENCIAÇÃO TECNOLÓGICA

Aspectos	Anaeróbio	Aeróbio
Energia	++	
Emissões Atmosféricas	++	
Emissões líquidas		+
Área requerida	++	
Avaliação Ecológica	++	
Potencial para desenvolvimento futuro	++	
Estabilidade Operacional		+
Custos		+
Processo ambientalmente adequado		+

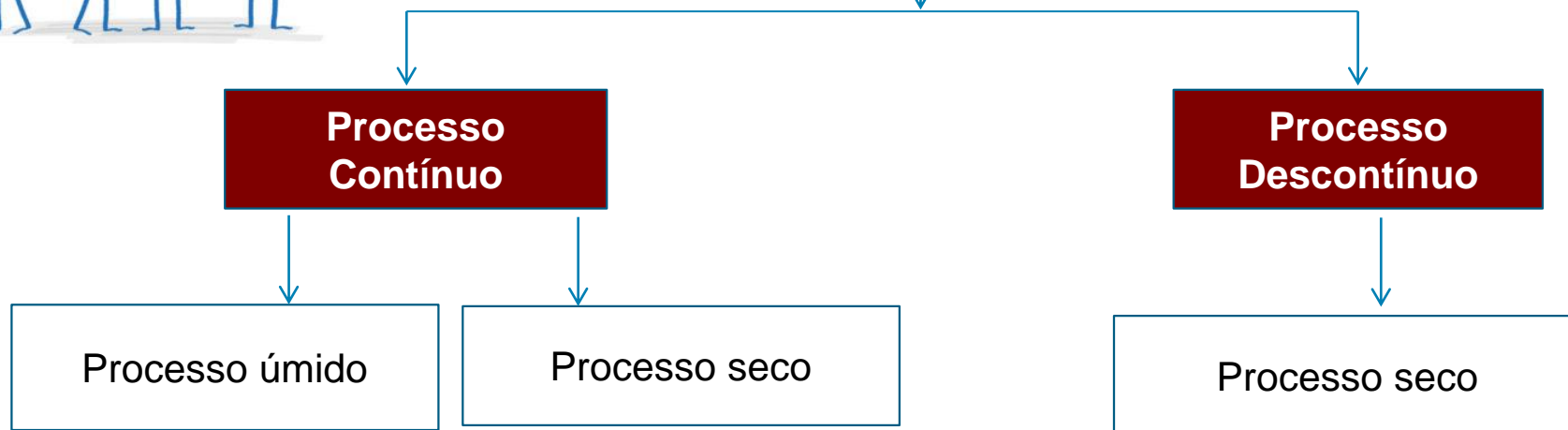


Em contraste com o processo aeróbio, existem várias temperaturas ótimas no processo anaeróbio, devido à presença de tipos específicos de microorganismos

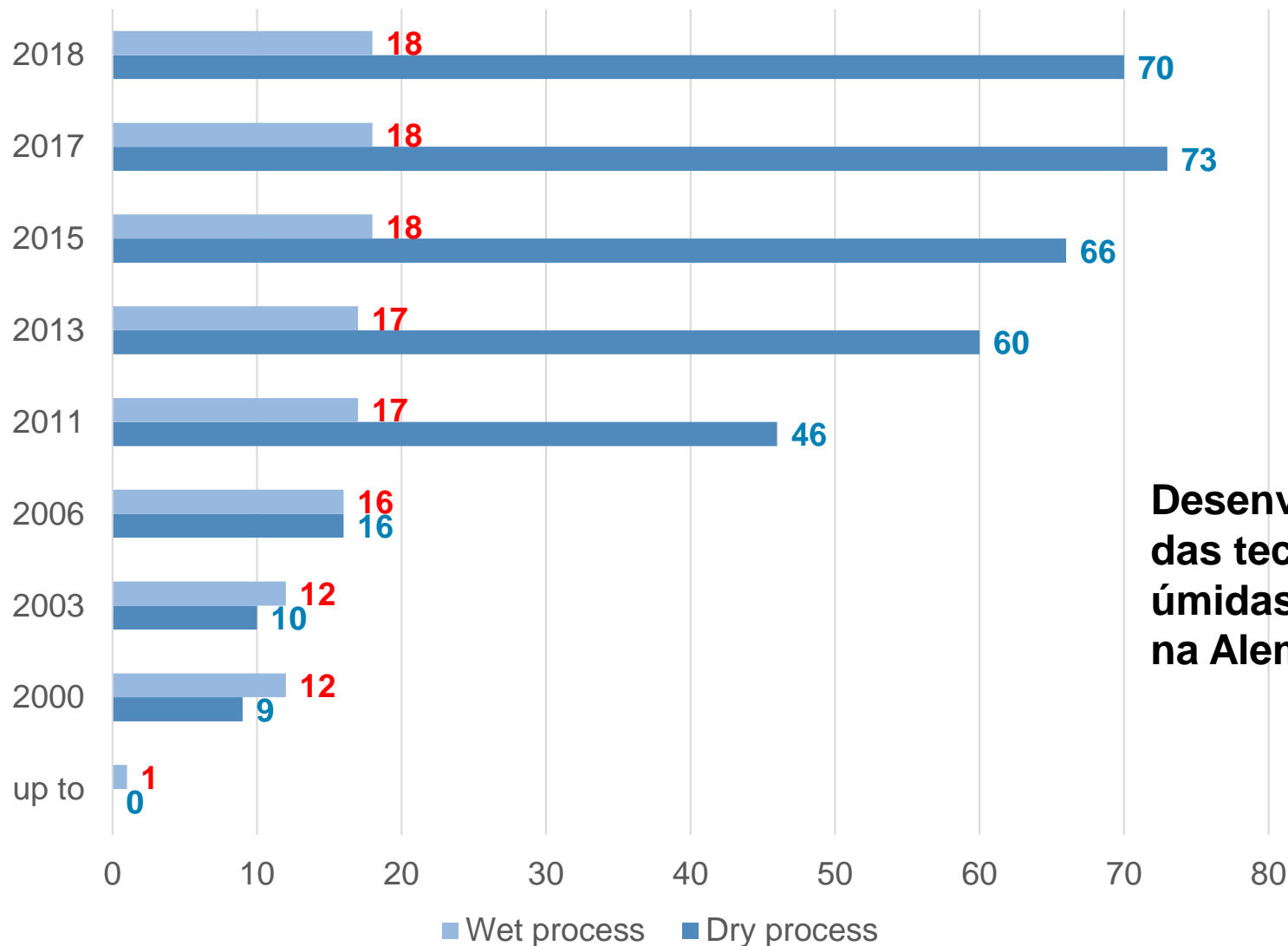
	Temperatura ótimas de performance [°C]	Performance da degradação	Estabilidade do processo
Ambiente mesofílico	30 - 37	+++	+++
Ambiente termofílico	50 - 60	++++	++



DIGESTÃO ANAERÓBIA MESOFÍLICO/TERMOFÍLICO



Basicamente, todos os resíduos orgânicos são adequados para tecnologias de processo úmido e seco.
Contudo, resíduos orgânicos muito úmidos são inadequados para tecnologias de processo seco.



Desenvolvimento das tecnologias úmidas e secas na Alemanha.

Em contraste com o processo aeróbio, devido à presença de tecnologias de processo específicas, o processo anaeróbio está diretamente relacionado com o teor de umidade.

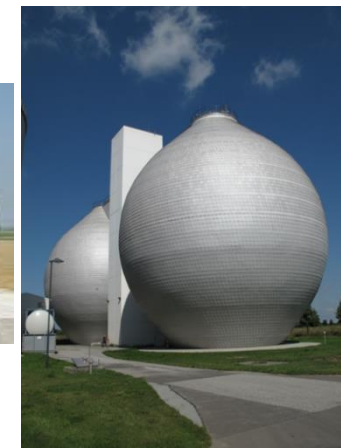
Processo	Teor de umidade [%]	Grau de degradação	Volume do fermentador	Demanda de energia durante o processo
Úmido - Contínuo	1 - 15	+++	+++++	+++++
Seco - Contínuo	25 - 40	+++	++	+++
Seco - Descontínuo	30 - 50	++	++	++



Sistema tipo lagoa coberta
Aplicação: resíduos agrícolas



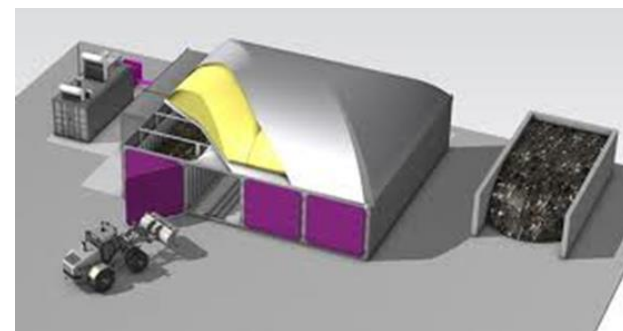
Sistema tipo plug'n flow
Aplicação: Resíduos com alto teor de sólidos



Sistema tipo formato de ovo
Aplicação: lodo de esgoto

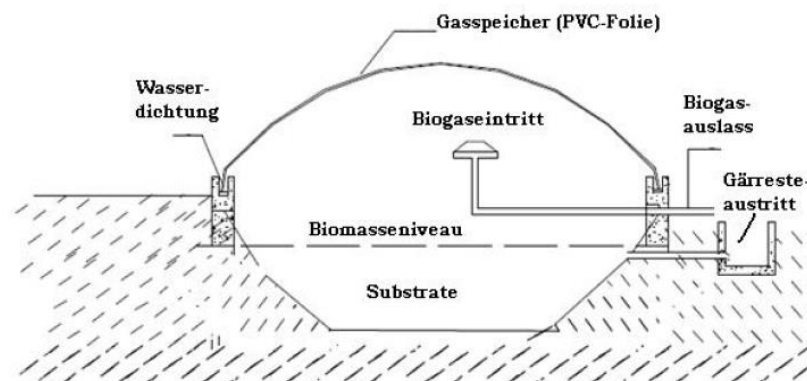


Sistema tipo CSTR
Aplicação: resíduos em geral, agrícolas



Sistema tipo garagem
Aplicação: resíduos em geral, fração orgânica do RSU

- Esterco suíno como monosubstrato, fermentação líquida, biodigestor com lona (modelo canadense)
- Sem aquecimento, temperaturas variam, baixa produtividade de biogás
- Tempo de retenção é curto, processo de digestão instável
- Não tem desulfurização do biogás
- Pouco controle do processo, baixa eficiência



Curso de Capacitação GIZ - 2013

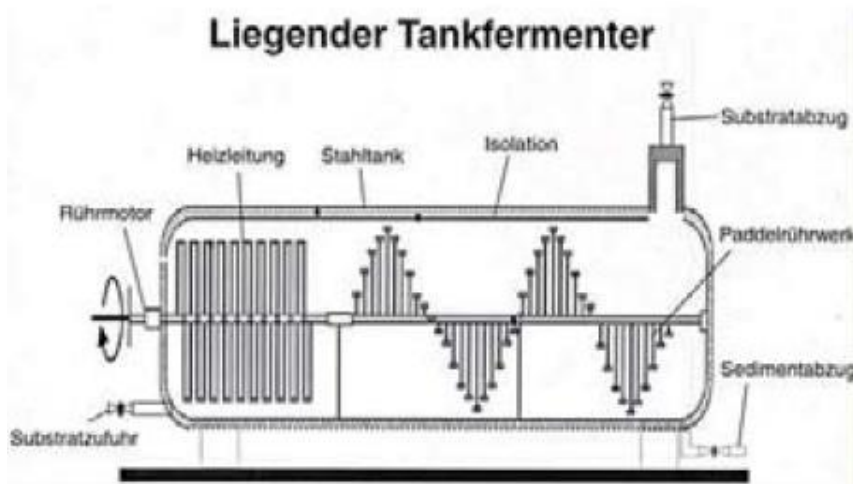


Vantagens

- Construção de baixo custo > 300 m³
- Flexível operação de fluxo contínuo ou armazenamento com fermentador primário e secundário
- Manutenção sem necessidade de esvazear o reator

Desvantagens

- Membrana de teto é cara para grandes reatores
- Correntes de circuito curto podem ocorrer, tempo de retenção inseguro
- Camadas flutuantes ou de sedimentação podem ocorrer

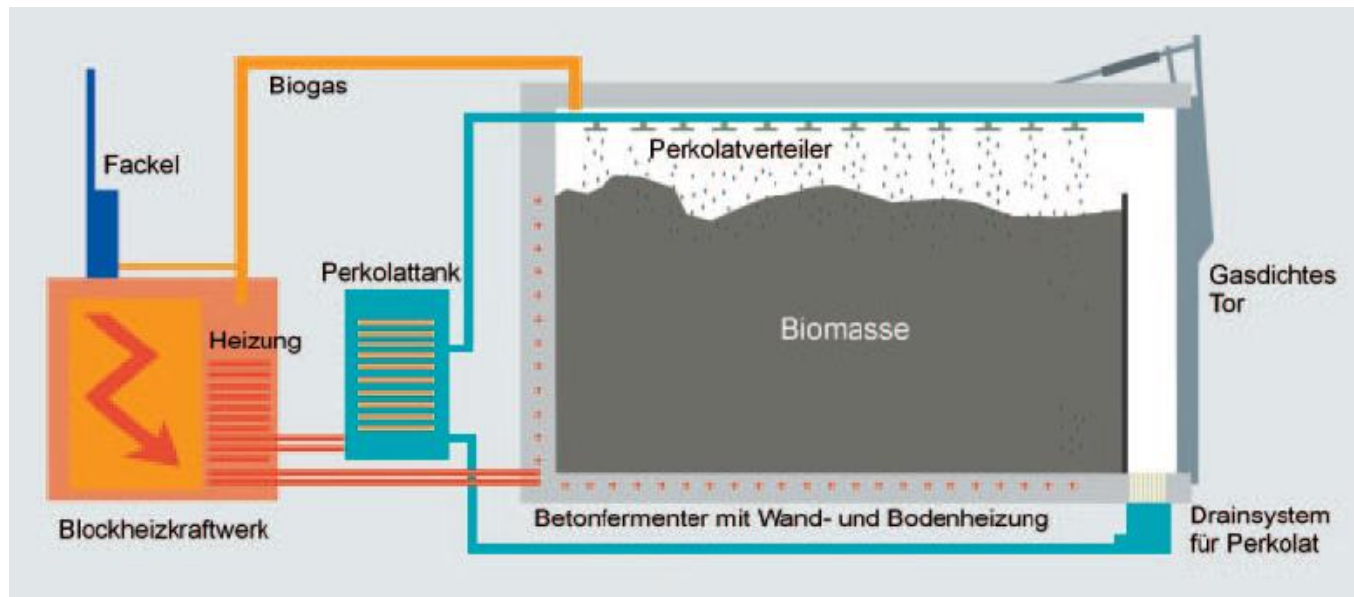


Vantagens

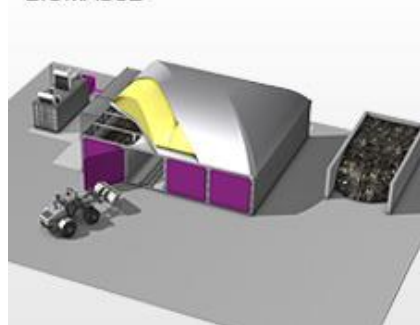
- Construção econômica para plantas menores
- Separação espacial das etapas de biodigestão
- Tempo de retenção hidráulica curta
- Menor risco de zonas mortas, camadas flutuantes e correntes de circuito curto

Desvantagens

- Construção mais adequada para plantas menores
- Manutenção dos equipamentos de agitação requer esvazamento completo do digestor



BIOMASSE



Vantagens

- Utilização de substratos mais sólidos
- Construção modular, adaptação flexível à demanda, investimento reduzido
- Pouca necessidade de equipamento de manejo, baixos custos de manutenção, baixa demanda de energia de processo

Desvantagens

- Mistura incompleta: Podem ocorrer zonas com produção de biogás reduzida
- Instalação de um sistema de segurança mais elaborado
- No caso de algumas tecnologias: grandes quantidades de inoculato necessário



**DRANCO / OWS,
Contínuo**

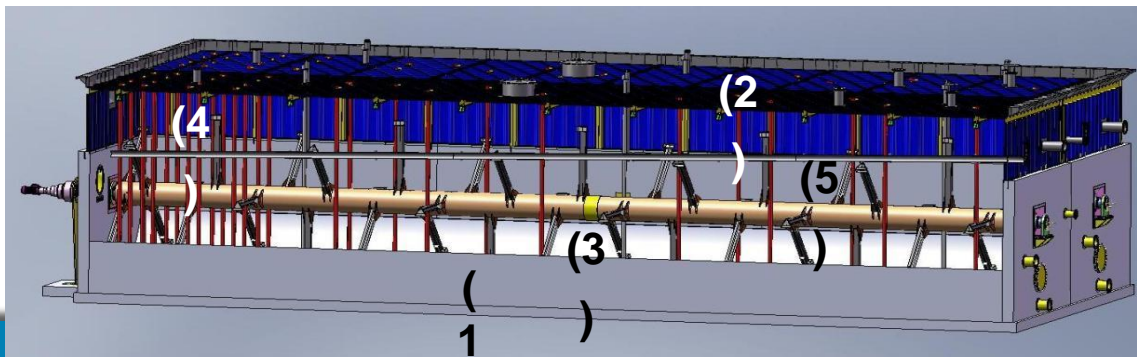
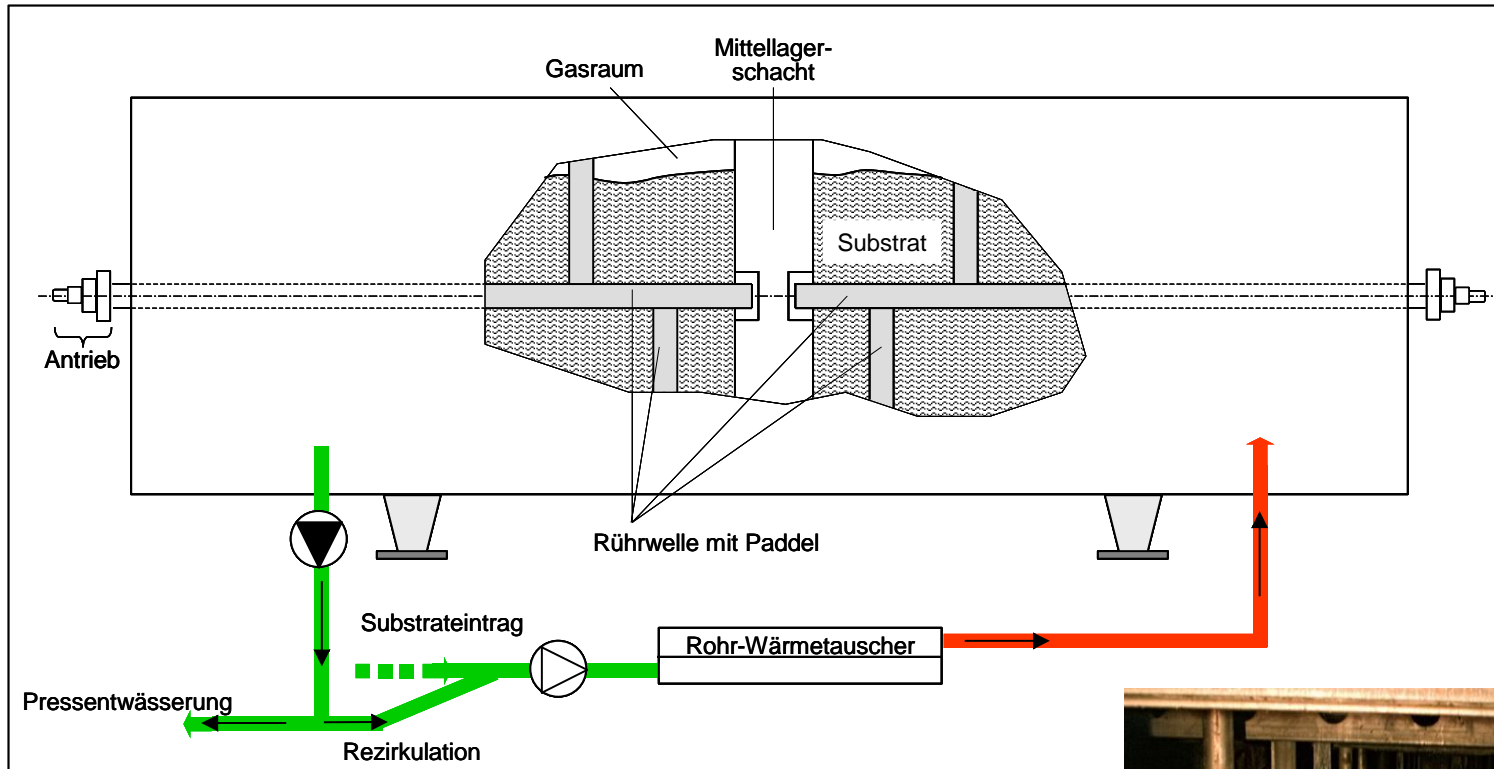


KOMPOGAS / Küttner, Contínuo



**BEKON,
EGGERSMANN
Descontínuo**





Bombeamento



Prensagem

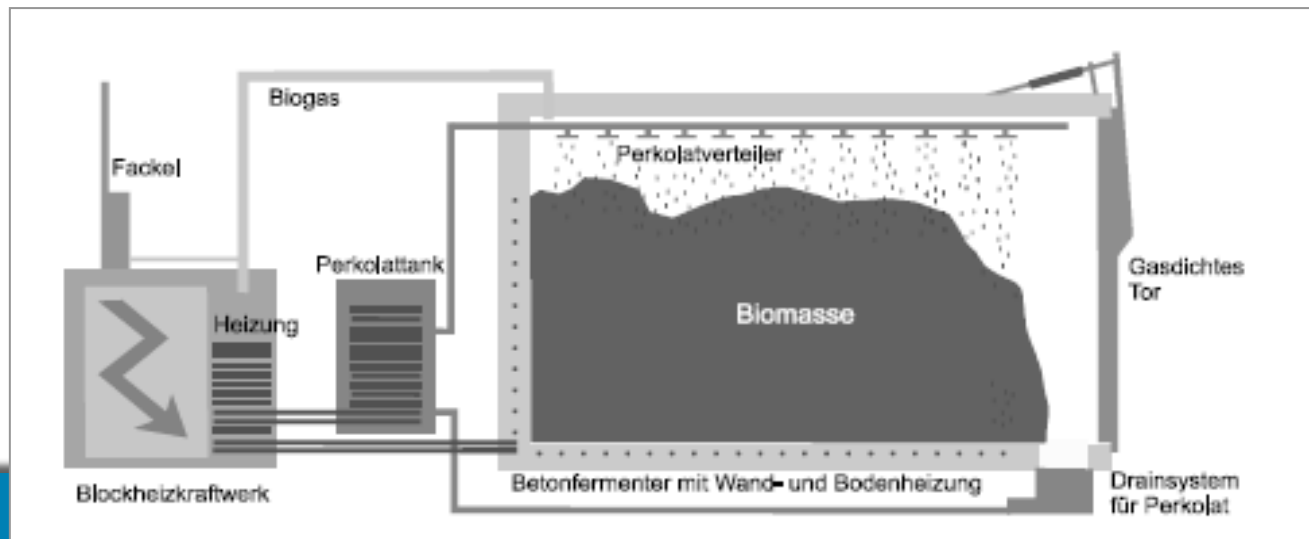


Compostagem

PROCESSO DESCONTÍNUO SECO - BEKON



- Cerca de 50% do material da saída do box de fermentação é necessário para a mistura com o resíduo orgânico fresco de entrada.
- A mistura permanece 4 semanas no box de fermentação.
- Enchimento e esvaziamento só realizado através de carregadoras com rodas.
- Antes da abertura, deve-se purgar o CO₂ do box, a fim de extrair o metano. Essa mistura segue para a planta de energia e é queimada.



PROCESSO DESCONTÍNUO SECO - EGGERSMANN

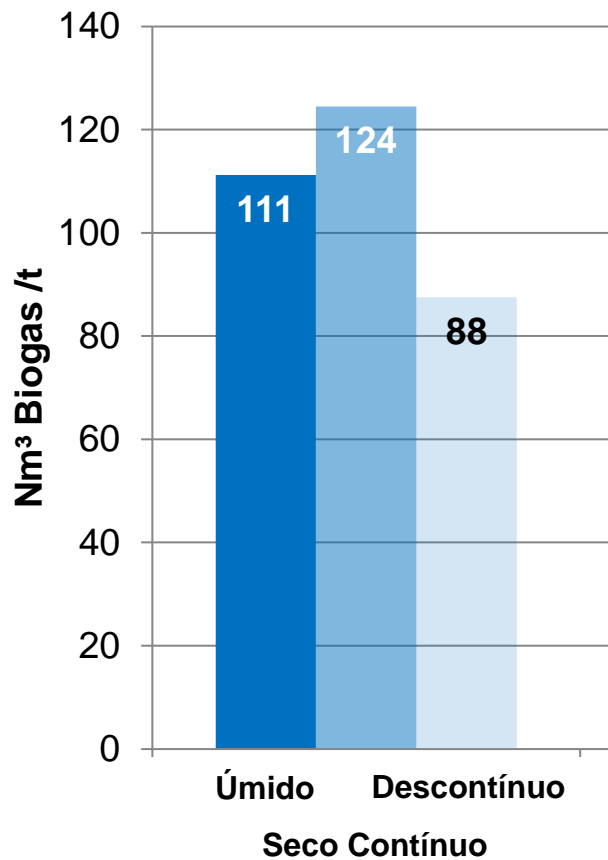
- Opera com frações < 80 mm.
- Inoculação de percolados para ativar a microbiologia.
- A mistura permanece 3 semanas no box de fermentação.
- Enchimento e esvaziamento realizado através de carregadoras com rodas ou automatizado.
- Ao término do processo anaeróbico, fase aerada para redução do CH₄.

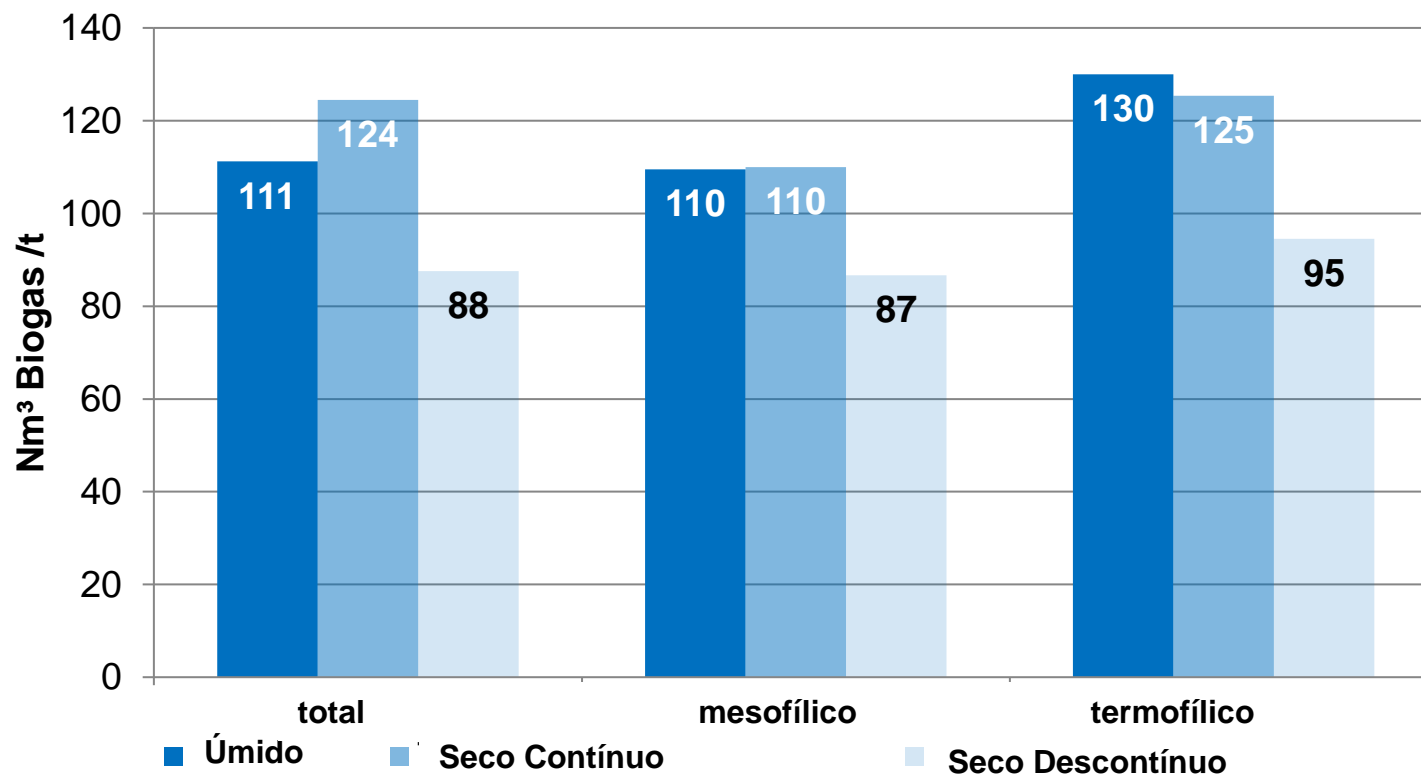


PROCESSO DESCONTÍNUO SECO – MODULAR - EGGERSMANN



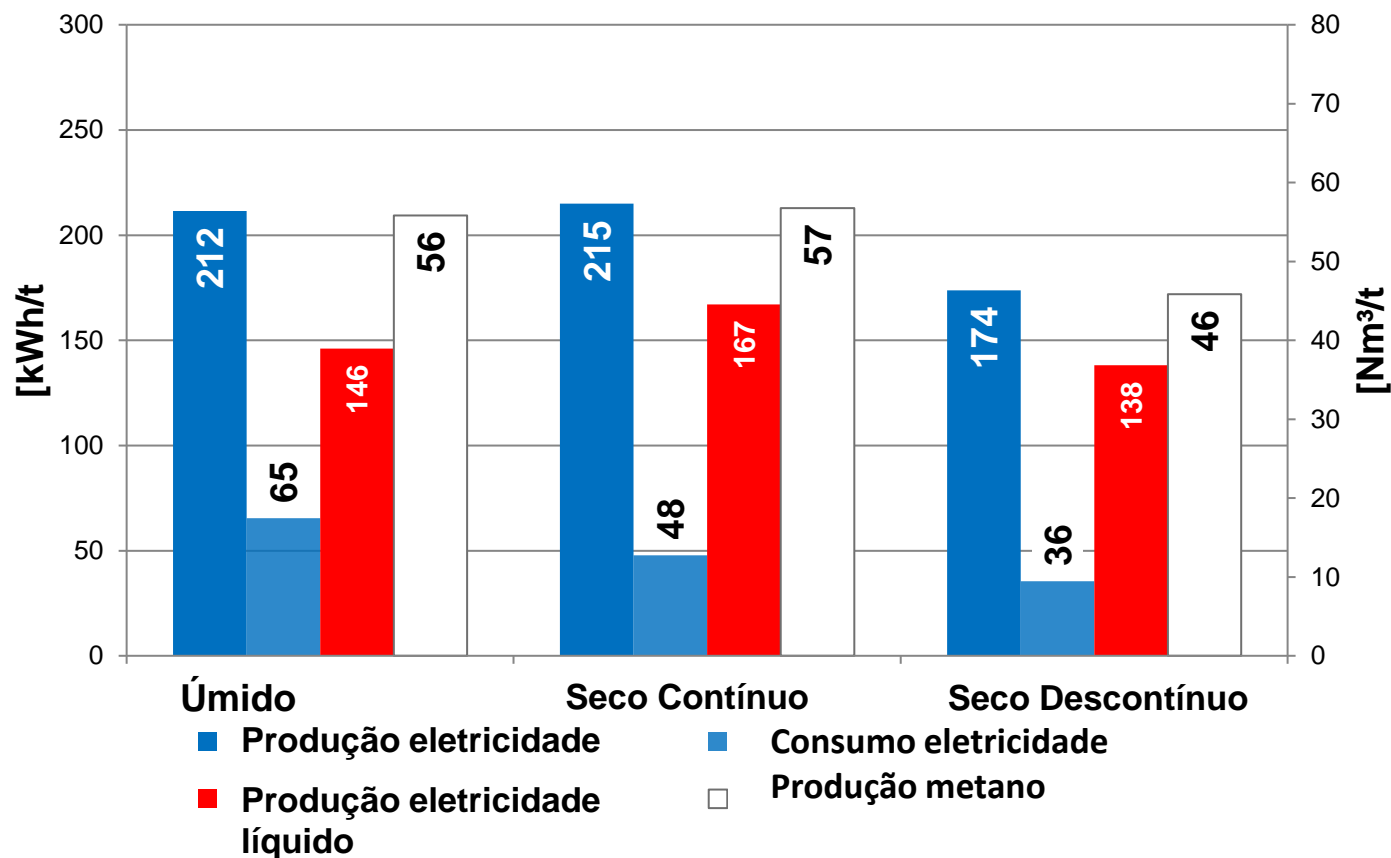
- Opção modular **15 – 30 t/d.**
- Geração de energia – **100 – 200 kW.**



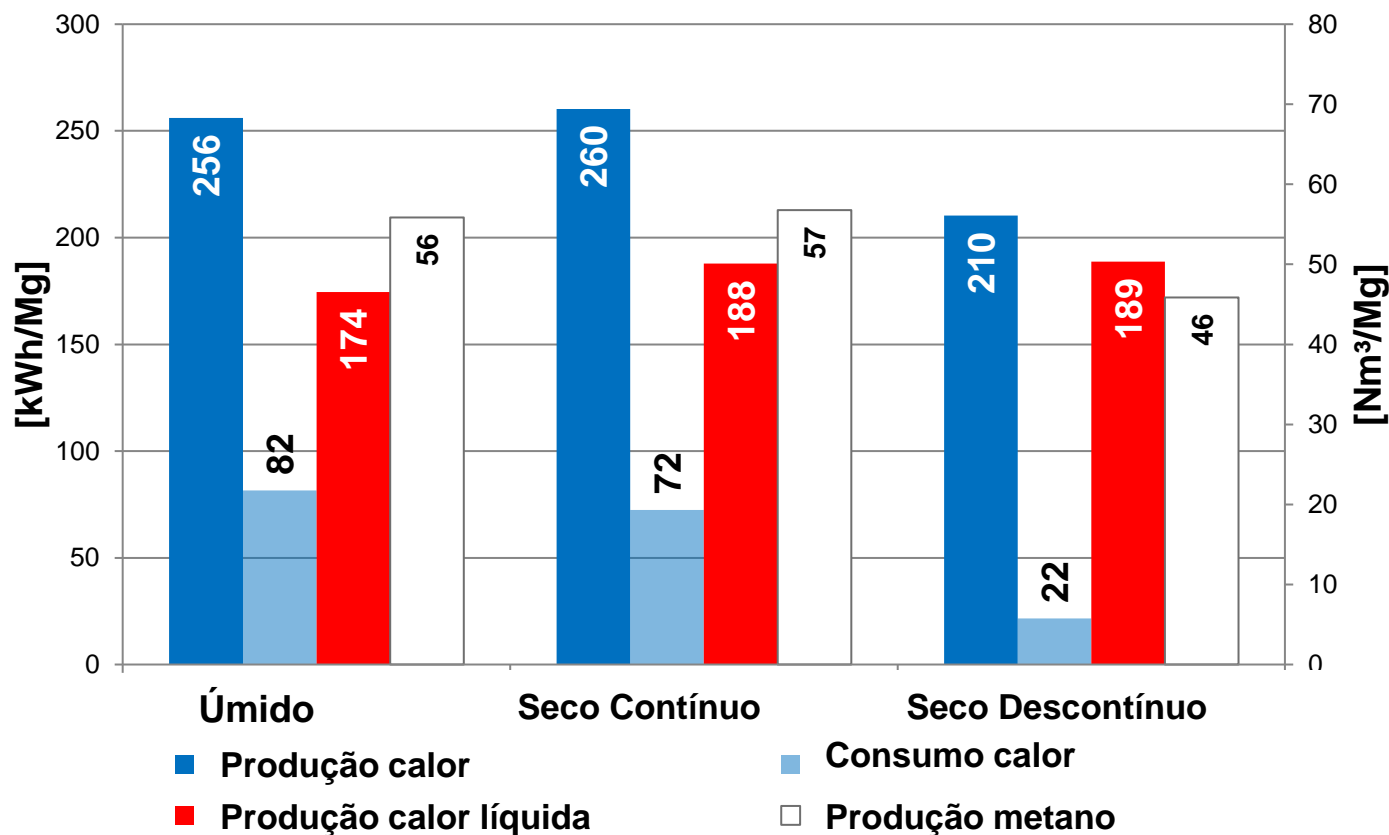


Até 15% mais biogás pelo processo **termofílico** em tempos de retenção iguais

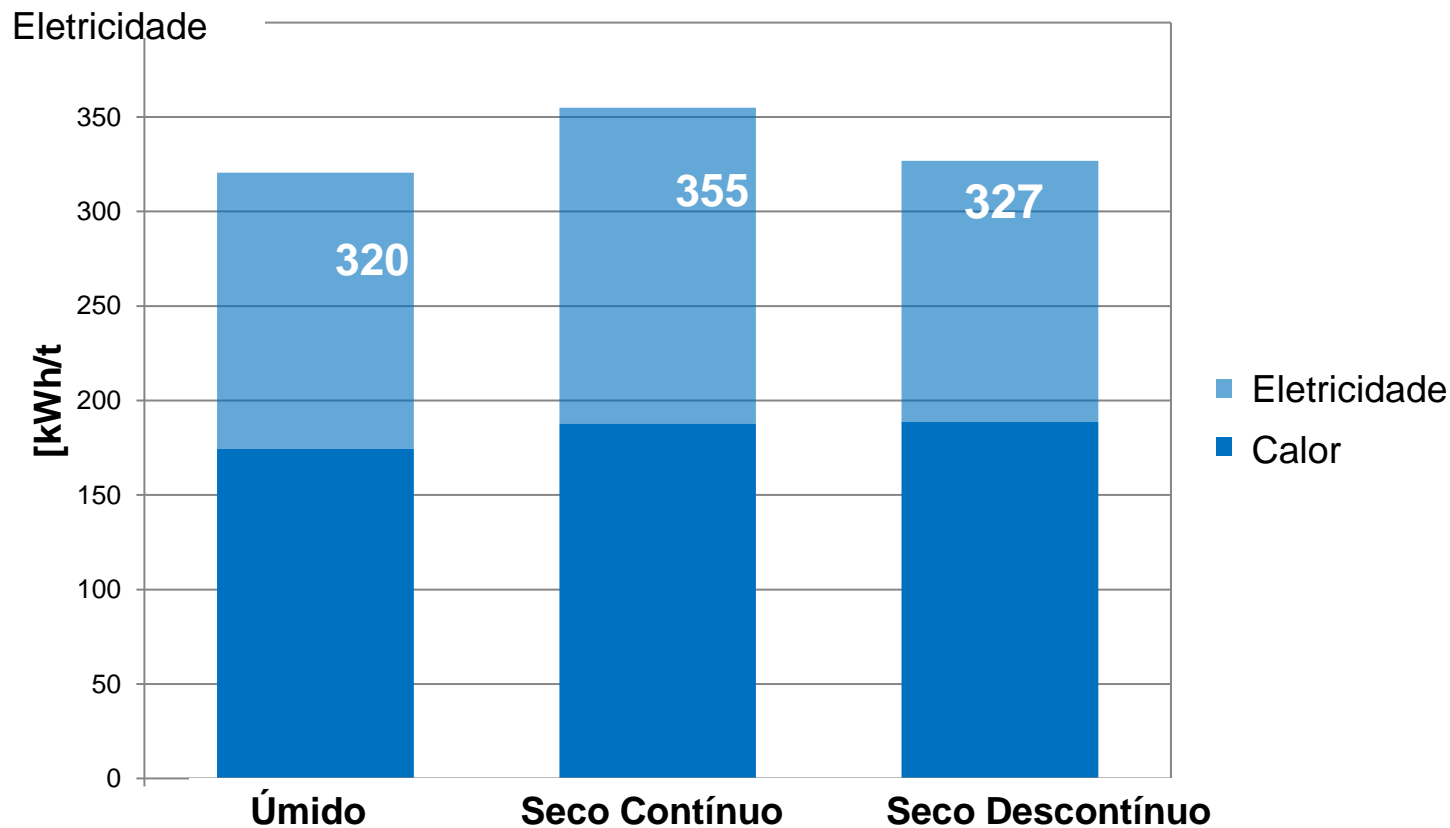
PRODUÇÃO LÍQUIDA DE ELETRICIDADE RELACIONADA AO INPUT DA PLANTA – RESÍDUOS ORGÂNICOS E DE PODA



PRODUÇÃO LÍQUIDA DE CALOR RELACIONADA AO INPUT DA PLANTA – RESÍDUOS ORGÂNICOS E DE PODA

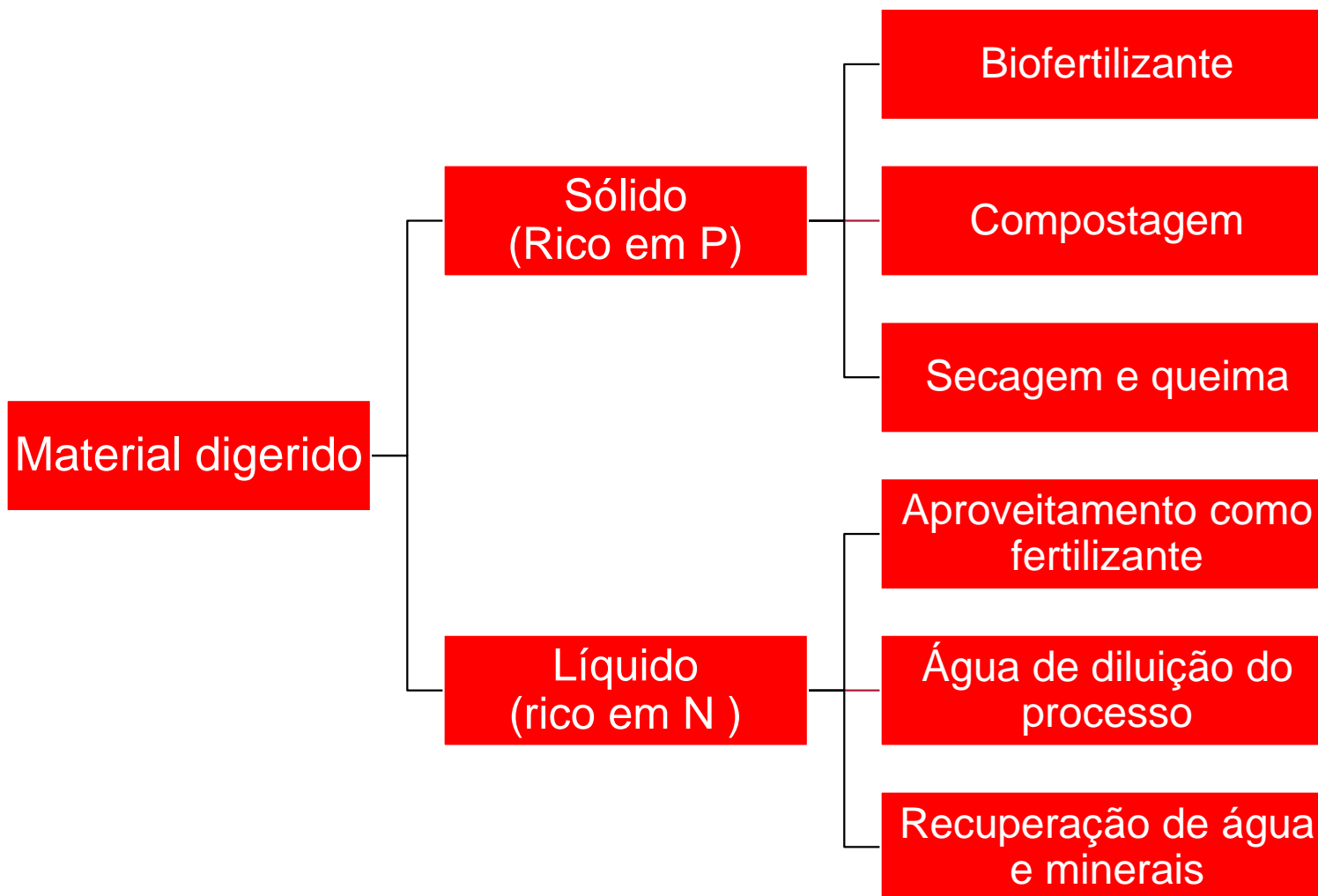


PRODUÇÃO LÍQUIDA DE ENERGIA RELACIONADA COM O INPUT DA PLANTA – RESÍDUOS ORGÂNICOS E DE PODA

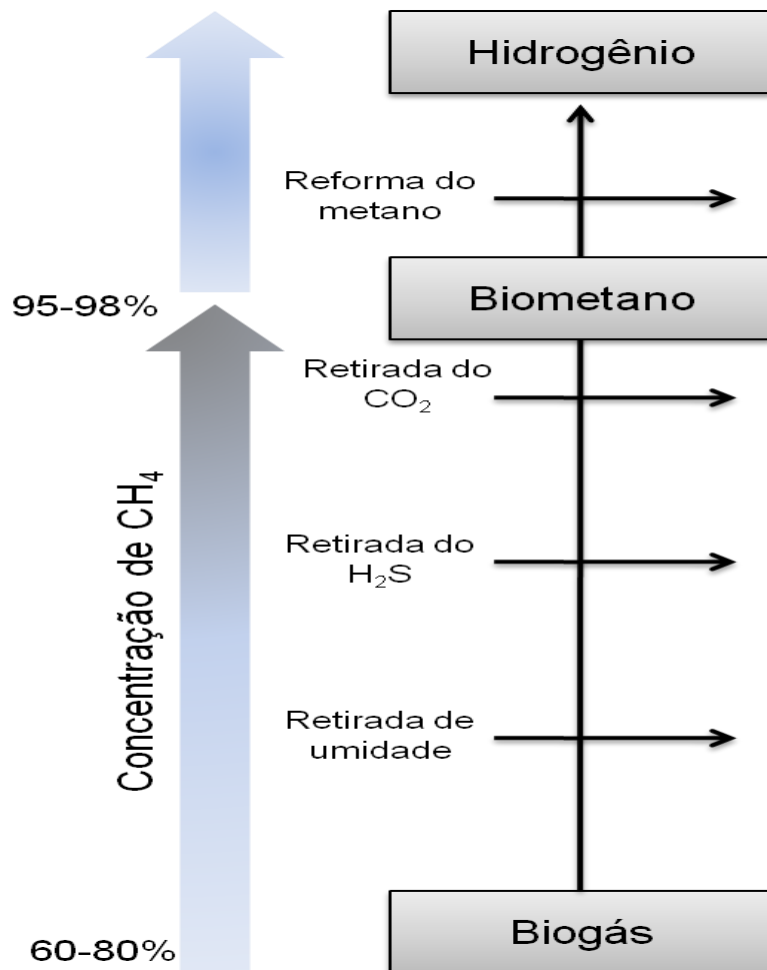


TERMOS TÉCNICOS E OPERACIONAIS PARA AVALIAÇÃO TÉCNICA

Critério	Úmido Contínuo	Seco Contínuo	Seco Descontínuo
Complexidade dos Equipamentos			
- Pré-tratamento	--	0	+
- Fermentação	0	0	0
- Retirada de água	-	0	++
Potencial de desastre no fermentador	0	0	+
Disponibilidade da planta	0	0	+
Desgaste / Manutenção	-	0	+
Excedente descarte de água	-	0	++
Facilidade de utilização	-	0	+
Custos de Investimento	.	0	+
Custos Operacionais (depende da receita com eletricidade)	?	?	?



APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS



Tecnologias e formas de uso

➤ Células combustível
(estacionária, portátil, veicular)

➤ Rede de gás natural
➤ Combustível veicular (GNV)
➤ Uso industrial (GNC e GNL)

➤ Cogeração (turbinas, motores)
➤ Motores de acionamento Direto

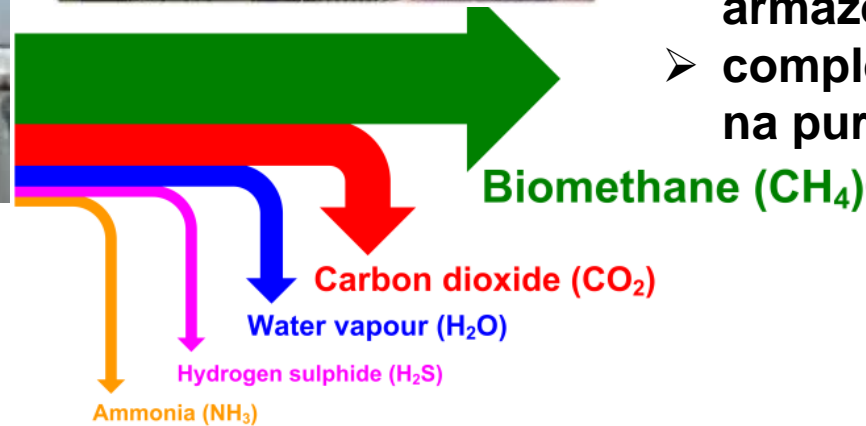
➤ Motores de acionamento direto
➤ Cogeração (turbinas, motores)
➤ Combustão em caldeira



10 % biometano
90 % CHP

Tendência ... biometano:

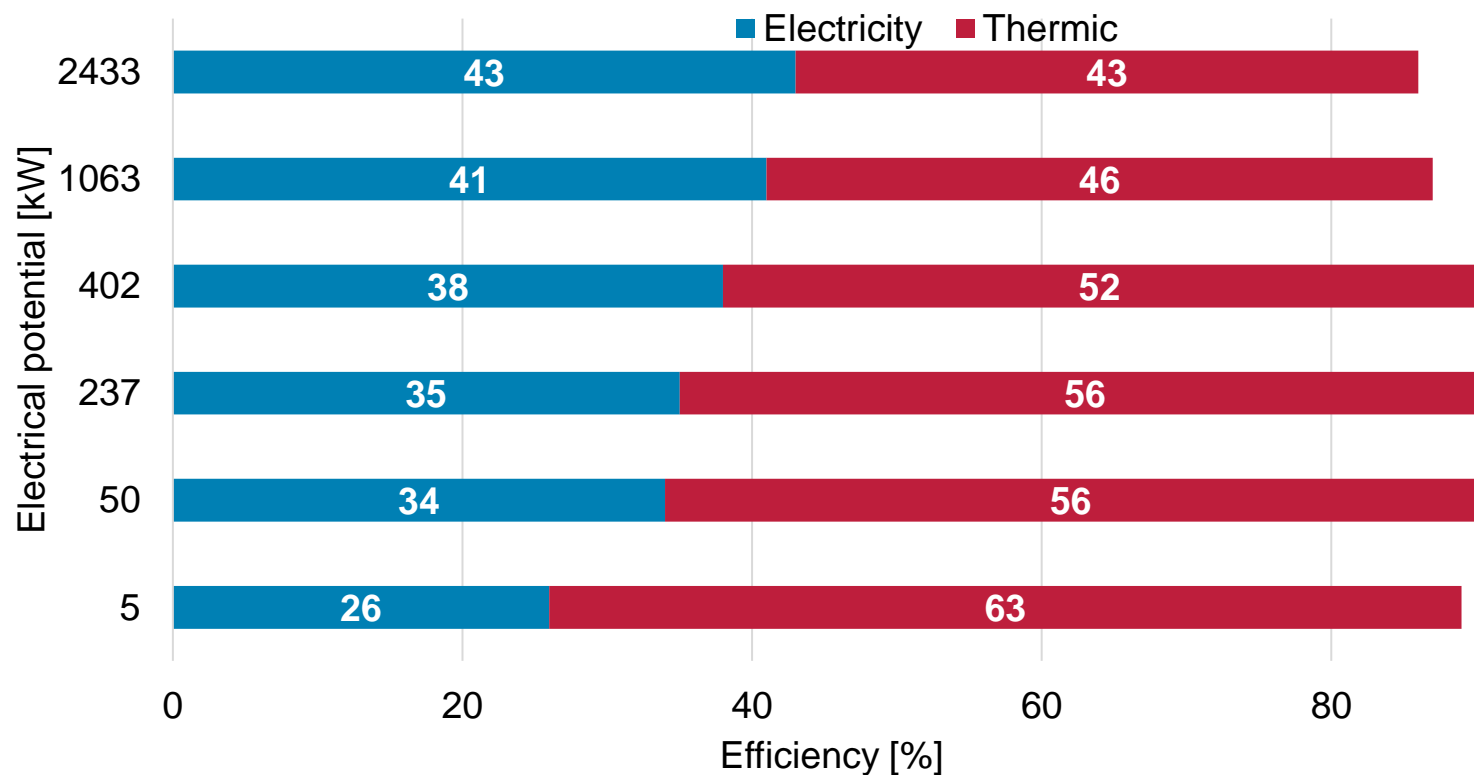
- eficiência energética
- capacidade de armazenagem
- complexidade técnica na purificação



Fotos: BSR Berlin



Performance depende da do motogerador



Source: after ASEU, 2015

3. DESAFIOS OPERACIONAIS



- **Sedimentação no fermentador**
- **Camada sobrenadante no fermentador**
- **Incrustação**
- **Abrasão**
- **Corrosão**
- **Falta de profissionais qualificados em todas os níveis**

Consequências:

- Menor tempo de depreciação
- Maiores custos de manutenção
- Menor disponibilidade e conseqüente menor produção de biogás
- Receitas menores de venda de eletricidade

EXCEDENTE DE ÁGUA – RESÍDUOS ORGÂNICOS E DE PODA



Até 30% do consumo de eletricidade é necessário para o processo de retirada de água



Emprego na agricultura ou tratamento ???

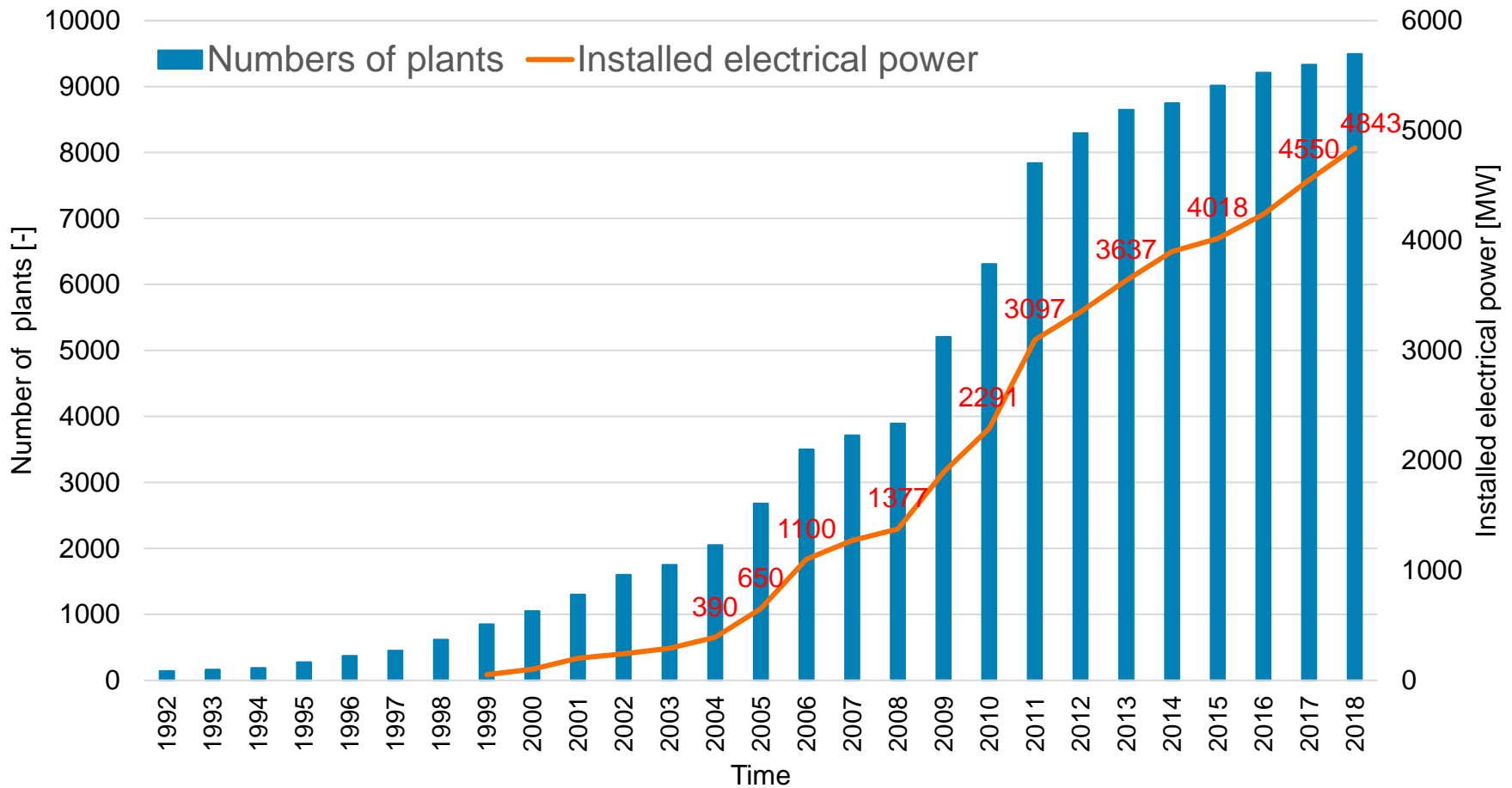
Resíduos coletados de forma mista

- menor valor de comercialização
- maior complexidade tecnológica para segregação
- larga escala

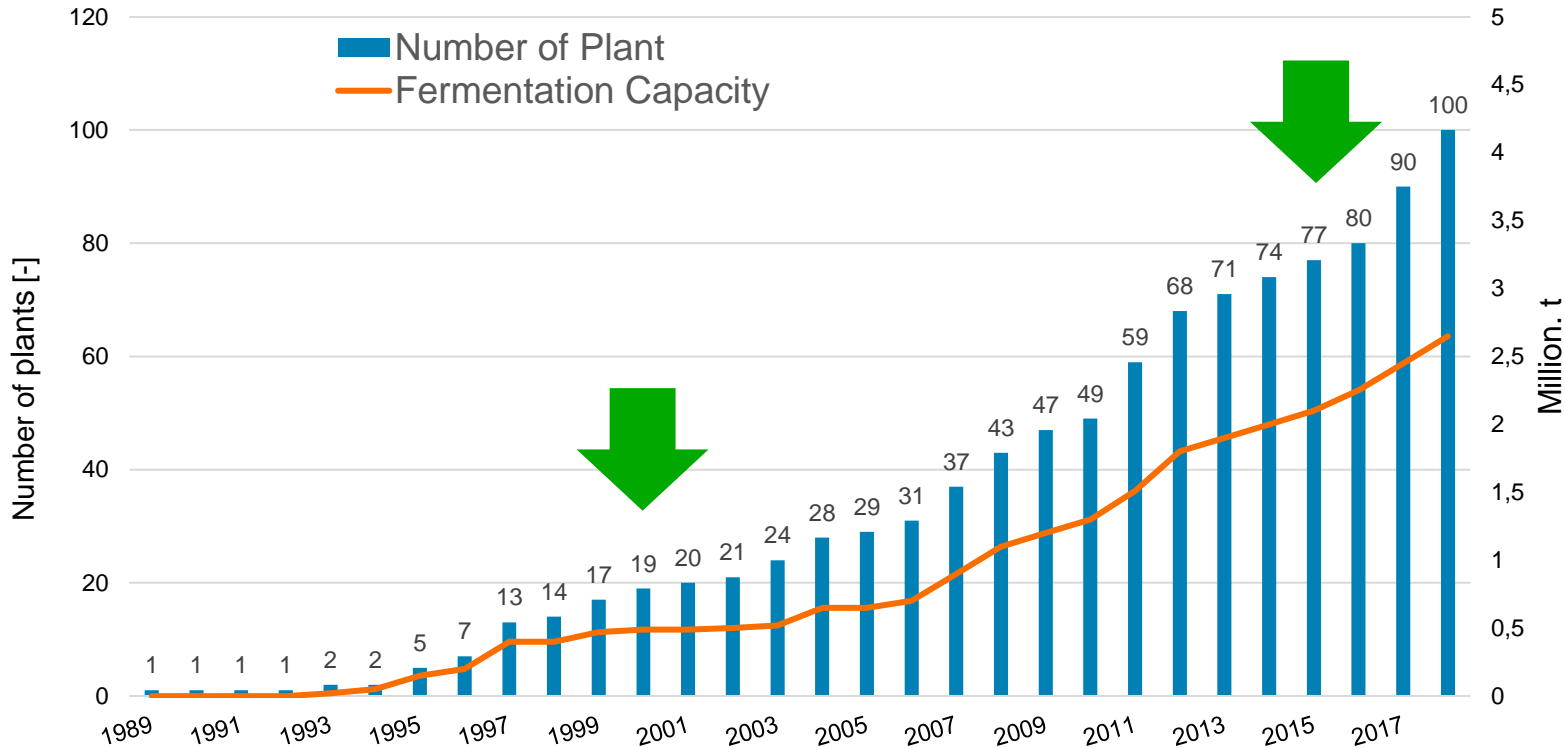
Resíduos coletados seletivamente

- maior valor agregado no mercado
- sistemas simplificados de triagem e beneficiamento
- escala limitada

4. POTENCIALIDADE DE MERCADO



Source: Fachverband Biogas, 2018, 2018 data based on forecasts



Push effects:

- Renewable Energy Act (2000) and further amendments, funding instrument of renewable energies
- KrWG (2012): Mandatory of separate collection of biowaste from the 1st. Of January 2014

Source: Fachverband Biogas, 2018, 2018 data based on forecasts

PLANARES	2028	2040
Recuperação energética de fonte biológica em plantas de biodigestão	24 MW	69 MW 4 % da massa total de resíduos

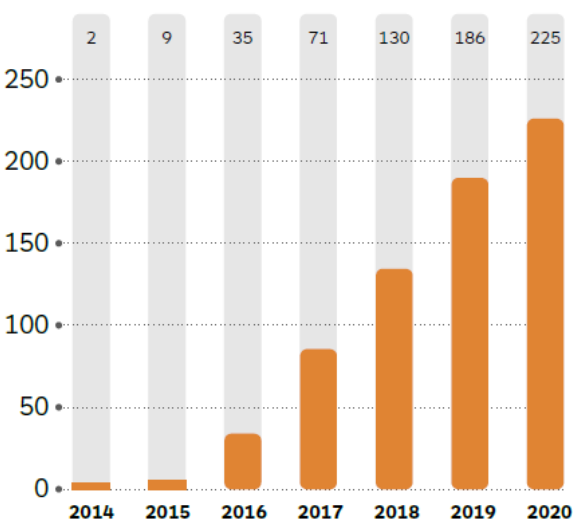


Na Alemanha atualmente a biodigestão de orgânicos urbanos representa 5 % do fluxo tecnológico.

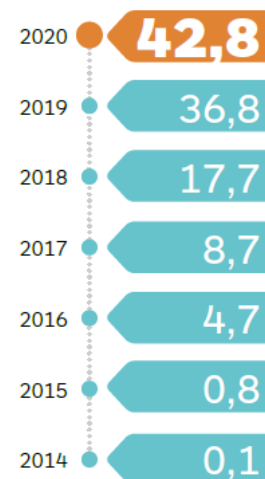
Apesar da reconhecida vocação agropecuária e das aglomerações urbanas, o Brasil pouco tem aproveitado do potencial dos substratos orgânicos disponíveis.



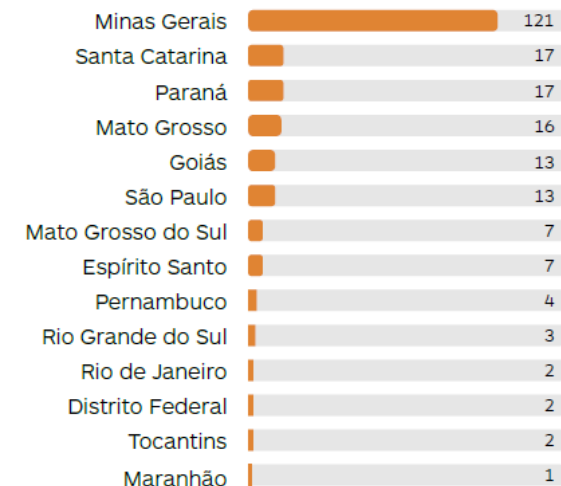
Número de Plantas



Potência Instalada (MW)



Número de Plantas por Estado



6 % da geração em razão do saneamento
(6,1 milhões de Nm³/d)

Fonte : Abiogás, 2021.

Valoração de fontes alternativas na pauta de todos os setores econômicos.

R\$ 175,60 / MWh

Enquadrado como térmica a biomassa.

Fonte: Leilão 03/2018.



R\$ 639,00 / MWh (preço inicial)

Disponibilidade a partir da recuperação energética de RSU

Leilão A-5 (a ser realizado em 30.09.2021)



- Redução de GEE
- Fonte armazenável
- Flexível: energia elétrica e combustível
- Produção de biofertilizantes
- Geração descentralizada regional
- Energia renovável não intermitente
- Mobilidade e descarbonização
- Suprir demanda de gás natural
- Interiorização de metano
- Interiorizar um ativo energético

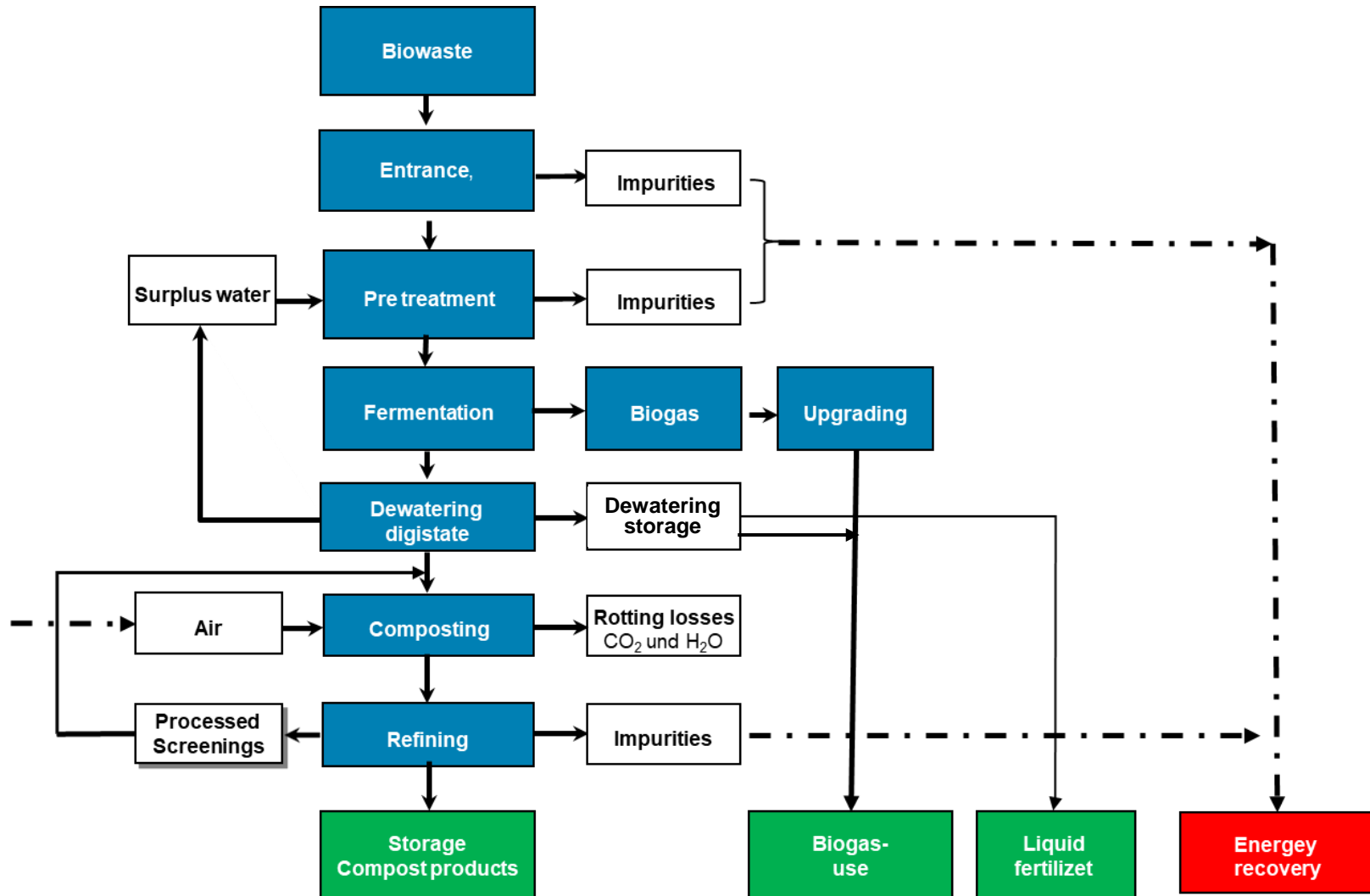
Fonte : Abiogás, 2021.

5. CONTRATAÇÃO TECNOLÓGICA



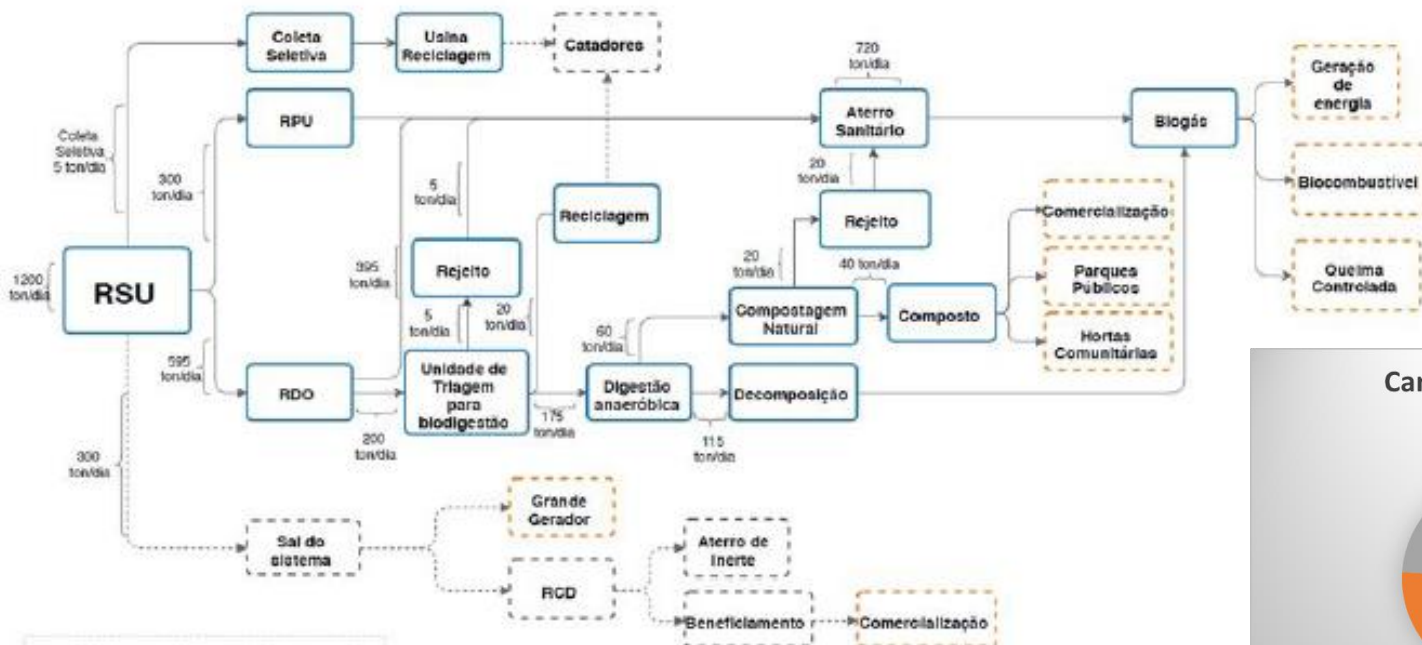
O tratamento anaeróbio não dispensa: tratamento mecânico e provavelmente aeróbio, bem como, a purificação do biogás (complexidade a depender do uso) e a reservas para despesas com tratamento dos líquidos (a depender da tecnologia escolhida).

Apenas se justifica a biodigestão quando há recuperação energética do biogás seja na forma de eletricidade seja como biometano. Caso contrário o tratamento aeróbio é menos custoso, reduz mais massa e tem complexidade operacional baixa.





- Rendimento médio de biogás. Ex. **80 Nm³/t** de material que foi alimentado no biodigestor – para técnicas secas descontínuas.
- Alternativamente garante na média mensal uma parte de **70%** do rendimento do gás que o processo obtém em comparação ao resíduo de fermentação conforme VDI 4630 após uma permanência de **21 dias** no digestor.
- Além disso, o biogás gerado deve apresentar na média mensal um teor de pelo menos **50%** de metano.
- Garante-se o grau de eficiência elétrica de **38%** do CHP. Será garantida uma disponibilidade de **90%**.



Balanco de massa comprometido, baixa intervenção mecânica para captação das frações orgânicas, performance tecnológica errônea, custos de investimento e operação subestimados, sem previsão de custos de reinvestimento, purificação do biogás e CHP.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS





- 1. Aposte em escalonamento tecnológico:
aprenda a operar sistemas biológicos**
- 2. Não dispense performance tecnológica**
- 3. Exija demonstração de expertise técnica**
- 4. Contemple reinvestimento**



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

Development of new expertise
German-Brazilian Virtual Network
International Academic Cooperation for the promotion
of Sustainable Solid Waste Management

Virtual Lecture
Waste to Energy

Speaker: Prof. Dr. Sergio Peres
(Universidade de Pernambuco)



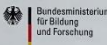


Dr. Peres is Associate Professor IV-G and founder and director of the Fuels and Energy Laboratory at the University of Pernambuco-Recife- Brazil. He has a double major B.Sc.in Industrial Chemistry(2006) and in Mechanical Engineering (1981) at the Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), a M.Sc. in Applied Mechanics (1987) and a Specialization (1990) in Gas Turbine at the CRANFIELD INSTITUTE OF TECHNOLOGY- UK. and earned a Ph.D. in Mechanical Engineering (Sugar Cane Bagasse gasification) at the UNIVERSITY OF FLORIDA (1997). Has experience in both Mechanical Engineering and Chemistry, focusing on Thermal Engineering, acting on the following areas: biomass, waste to energy projects, cogeneration, biodiesel , glycerin and biogas

Date: 08/31/2021
Time: 11h to 13h
Platform: [MS Teams](#)


The lessons will be recorded and later published on **teach4waste**

The German-Brazilian Virtual Network is formed by the universities:
UFC, UNB, UFRJ, UERJ, UFF, UFSC, UEL 
UFPA, UFPE, UPE, PUC-Rio, UFT and NUTEC.
Technical University of Braunschweig 




Lectures will also be available at ProteGEEr's Youtube Channel

Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos Urbanos - transferência de experiência entre a Alemanha e o Brasil



Klaus Fricke, Christiane Pereira, Aguinaldo Leite, Marius Bagnati

EPUB -

<https://drive.google.com/file/d/0B5vLOUqm4ITFZfVHV0RLVExWbFk/view?usp=sharing>

MOBI -

<https://drive.google.com/file/d/0B5vLOUqm4ITFR2ZuUGxuTFR6dDQ/view?usp=sharing>

Prof.Dr.-Eng. Klaus Fricke
Diretor do departamento de
gestão de resíduos e recursos
klaus.fricke@tu-bs.de



Esp. Enga. Civil e Advogada
Coordenadora da componente
acadêmica do ProteGEEr
chrdiasp@tu-braunschweig.de
Whats app 005512982355000

Obrigada !!!

