



BIOMETANO

OBTENÇÃO APROVEITAMENTO

Prof^a. Dilcemara C. Zenatti



ENERGIA

- Energia, ar e água são ingredientes essenciais à vida humana.
- O ser humano necessita de energia para tudo que faz, desde impulsionar o sangue para todas as partes de seu corpo, até fazer com que uma lâmpada se acenda ou que um automóvel se locomova.



ENERGIA

- Nas sociedades primitivas seu custo era praticamente zero.

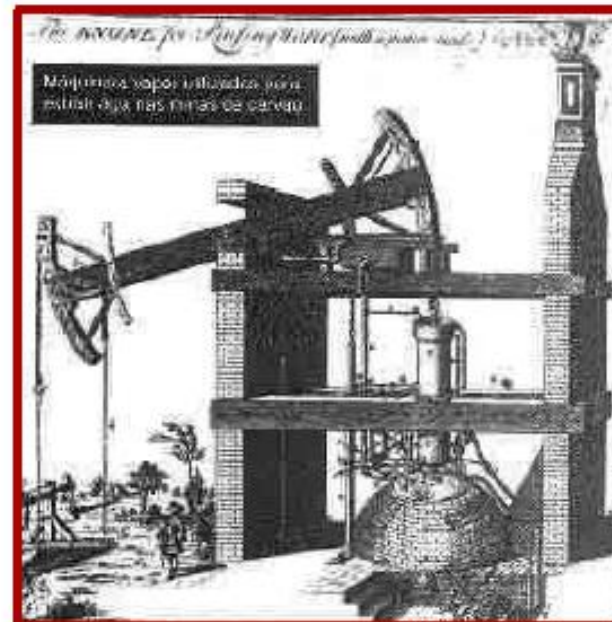
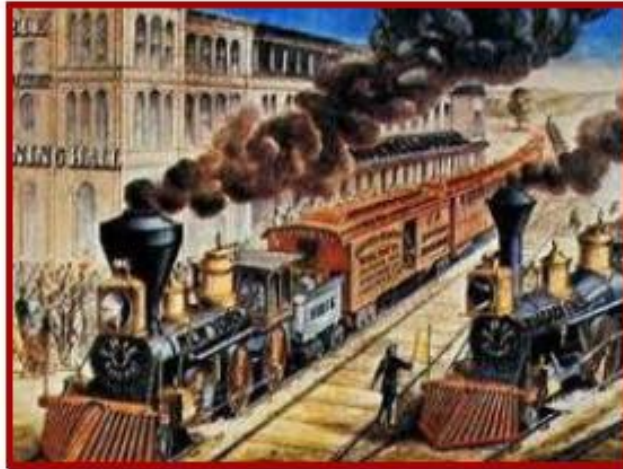


- Durante a **Idade Média**, as energias da água e dos ventos foram utilizadas, mas em quantidades insuficientes para suprir as necessidades de populações crescentes.



ENERGIA

- Após a Revolução Industrial, foi preciso usar mais carvão, petróleo e gás.



HOMEM, O SER ENERGÍVORO

COMO FUNCIONA A ENERGIA DO CORPO HUMANO?

Ela chega ao nosso organismo com a alimentação, ou seja, um conjunto de compostos químicos – glicose (carboidratos), ácidos graxos (gordura) e proteínas – que é quebrado durante o processo de digestão.

MUITOS ANIMAIS HIBERNAM PARA POUPAR ENERGIA DURANTE O INVERNO, POIS NESTA ESTAÇÃO A COMIDA É ESCASSA.

A hibernação é um estado letárgico pelo qual muitos animais passam durante o inverno, principalmente em regiões temperadas e árticas. Eles mergulham num estado de sonolência e inatividade, em que as funções vitais do organismo são reduzidas ao absolutamente necessário à sobrevivência. A temperatura do corpo cai, a respiração quase cessa e os batimentos do coração se tornam quase imperceptíveis. Durante esse período, que varia de espécie para espécie, o animal consome a gordura acumulada em seu corpo ou acorda por tempos em tempos para comer alimentos armazenados no ninho.

LEÃO	URSO	MARMOTA	MORCEGO
16 A 20 HORAS	6 MESES	9 MESES	5 A 6 MESES

DE FORA PARA DENTRO

Quando comemos, mastigamos e digerimos o alimento. Depois, ele é quebrado em moléculas menores.

TRANSPORTE

Essas moléculas são transferidas para o ATP (trifosfato de adenosina).

GASTAMOS SEM ECONOMIZAR

Mesmo sem fazer muito esforço, o ser humano gasta elevada quantidade de energia todos os dias. Um adulto, de estatura mediana, que fique o dia inteiro em repouso, num ambiente que não esteja frio, consome ao redor de 1.000 kcal (aproximadamente 4.200 J). Mantendo atividades que se consideram "médias", sem exercício físico, sem estar exposto ao frio e a outros fatores, esse indivíduo deve consumir ao redor de 2.500 kcal (10.400 J). Nessas condições, a potência dissipada é ao redor de 100 watts (equivalente a uma lâmpada incandescente ou a um ventilador). Quando o corpo de dedica a outras atividades, como dormir, comer, correr, estudar, malhar, dançar, dar risada etc, mais energia é demandada – assim, maior quantidade de alimento deve ser ingerida.

LIBERADOS

A partir da quebra do ATP, os diversos mecanismos celulares que dependem de energia são abastecidos.

MAS ESSA ENERGIA NÃO É SUFICIENTE. QUEREMOS MAIS!

Aprendemos a criar mais energia partindo dos elementos que a natureza nos dá. Ou seja, domesticamos o sol, a força da água e os ventos para suprir nossas necessidades. Imensos complexos energéticos foram criados para gerar cada vez mais – hidrelétricas, termelétricas, parques eólicos etc. A roupa que usamos, o relógio no pulso, o smartphone que está no bolso, o batom que está no necessaire... Tudo demandou energia na fase de produção. Além disso, a maioria dos objetos que nos rodeia, também usa energia quando está em nossas mãos: carros, aviões, trens, computadores, ar-condicionado, chuveiro, eletrodomésticos, eletrônicos... Não há pausa no consumo. Somos insaciáveis.

QUANTO PRODUZIMOS E CONSUMIMOS?

Dados oficiais do The World Bank mostram quem são os maiores produtores e consumidores de energia



→ PRODUTORES

CHINA	2.433 mil
EUA *	1.812 mil
RÚSSIA	1.315 mil
ARÁBIA SAUDITA	602 mil
CANADÁ	420 mil
...BRASIL	249 mil



→ CONSUMIDORES

CHINA	2.728 mil
EUA *	2.132 mil
ÍNDIA	749 mil
RÚSSIA	731 mil
ALEMANHA	307 mil
...BRASIL	270 mil

VALORES REFERENTES À PRODUÇÃO DE ENERGIA E ELETRICIDADE PRIMÁRIAS CONVERTIDAS EM KT OIL EQUIVALENT EM 2011. * 2012



HOMEM, O SER ENERGÍVORO



QUANTO PRODUZIMOS E CONSUMIMOS?

Dados oficiais do The World Bank mostram quem são os maiores produtores e consumidores de energia



→ PRODUTORES

CHINA	2.433 mi
EUA *	1.812 mi
RÚSSIA	1.315 mil
ARÁBIA SAUDITA	602 mil
CANADÁ	420 mil
...BRASIL	249 mil

→ CONSUMIDORES

CHINA	2.728 mi
EUA *	2.132 mi
ÍNDIA	749 mil
RÚSSIA	731 mil
ALEMANHA	307 mil
...BRASIL	270 mil

VALORES REFERENTES À PRODUÇÃO DE ENERGIA E ELETRICIDADE PRIMÁRIAS CONVERTIDAS EM KT OIL EQUIVALENT EM 2011.

* 2012

IZAR

humano gasta elevada quantidade de energia todos os dias. que o dia inteiro em repouso, num ambiente que 100 kcal (aproximadamente 4.200 J). Mantendo atividades físico, sem estar exposto ao frio e a outros fatores, fe 2.500 kcal (10.400 J). Nessas condições, a potência ralente a uma lâmpada incandescente ou a um ventilador]. dades, como dormir, comer, correr, estudar, malhar, dançar, da – assim, maior quantidade de alimento deve ser ingerida.



ERGIA NÃO É QUEREMOS MAIS!



Os fatores chave que levaram à busca de novas fontes de energia

Segurança de abastecimento

DESENVOLVIMENTO
ECONÔMICO E
INDUSTRIAL

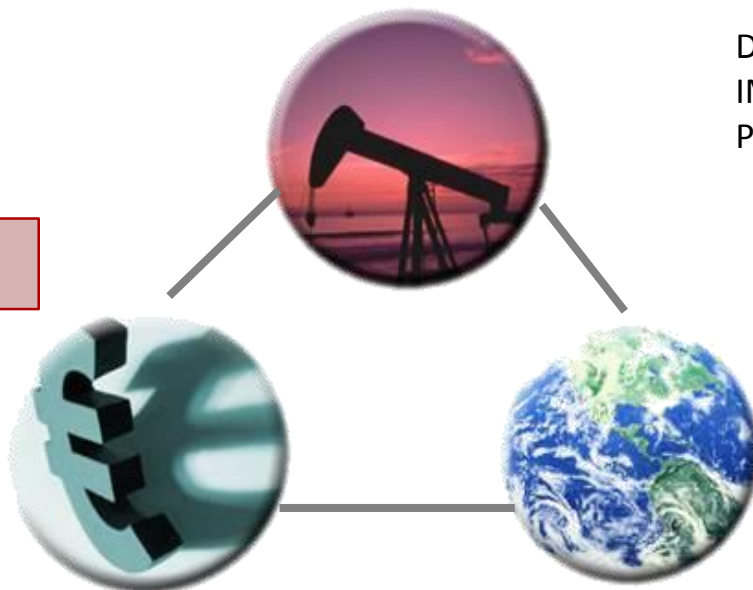
DEPENDÊNCIA DAS
IMPORTAÇÕES DE
PETRÓLEO E GÁS

Competitividade

Alterações
climáticas

CUSTO TOTAL DA ENERGIA

EMISSÕES DE CO₂





ENERGIAS RENOVÁVEIS

ENERGIAS RENOVÁVEIS

- “São fontes naturais que se renovam **continuamente** na natureza, sendo, portanto inesgotáveis.”

ENERGIAS RENOVÁVEIS



DEFINIÇÃO

BIOENERGIA

- Bioenergia é um termo amplo que se refere a qualquer forma de **energia renovável** produzida a partir de materiais derivados de **fontes biológicas**. Este engloba não só os biocombustíveis líquidos para os transportes, mas também a biomassa sólida e o biogás.

BIOMASSA

É toda **matéria orgânica**, excetuando-se os combustíveis fósseis, ou seja, todo material proveniente de colheitas agrícolas e florestais, produtos animais, massa de células microbianas, resíduos e produtos renováveis em bases anuais (Hiler & Stout, 1985)

BIOMASSA



Processos de conversão da biomassa

Devido à variabilidade de materiais que podem ser considerados biomassa, existem diversos processos onde se transforma a biomassa em energia, eles são divididos em três tipos:

- **combustão direta,**
- **processos químicos e termoquímicos,**
- **processos biológicos**

BIODIGESTÃO ANAERÓBIA E BIOGÁS

BIOGÁS X GÁS NATURAL

- O biogás e o gás natural têm o mesmo processo de formação, por meio da decomposição anaeróbia da matéria orgânica.
- A diferença entre eles é que o gás natural não é formado pela circulação do material orgânico presente na superfície terrestre.
- Na queima do **gás natural**, o carbono retorna para seu ciclo na atmosfera e, quando o material orgânico é convertido em **biogás**, não há liberação adicional de dióxido de carbono, e sim, o aproveitamento do potencial de energia que está armazenado na matéria orgânica.

O BIODIGESTOR E A BIODIGESTÃO

- A produção de Biogás vem de milhões de anos antes de Cristo. Os povos antigos essencialmente agrícolas como no caso dos Hindus , Chineses e Japoneses, foram os povos que trouxeram esta tecnologia rudimentar até os dias de hoje.

O BIODIGESTOR E A BIODIGESTÃO

- O interesse pela biodigestão anaeróbia surgiu com a questão sanitária, era necessário tratar os efluentes reduzindo o consumo de energia e a quantidade de lodo gerado.
- O processo de anaerobiose era utilizado apenas como tratamento secundário na ETE

O BIODIGESTOR E A BIODIGESTÃO

- Na segunda metade da década de 1900, China e Índia começaram a aproveitar o processo de digestão anaeróbica para geração de biogás com foco nos lodos de esgoto.
- Apenas no final do século XIX e início do século XX que iniciou-se a exploração da técnica de como utilizar o gás produzido a partir do processo de digestão anaeróbia (sem oxigênio).

O BIODIGESTOR E A BIODIGESTÃO

- A China e a Índia foram os primeiros países a produzir biogás e a utilizá-lo como fonte de energia.
- A matéria-prima era oriunda de restos de comidas e dejetos em geral, sendo o biogás produzido utilizado para iluminação e cocção.
- Em 1890, em Exeter, na Inglaterra, o gás produzido em fossa sépticas era usado para iluminação pública.

O BIODIGESTOR E A BIODIGESTÃO

- Outro marco no uso de biodigestores foi a deflagração da crise energética mundial:
 - Na Crise do Petróleo de 1973, as nações que participavam da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) formaram o mais forte cartel já visto na história, elevando os preços do petróleo bruto nos mercados internacionais.

O BIODIGESTOR E A BIODIGESTÃO

- O Brasil mostrava-se extremamente dependente, pois **80% do óleo bruto** consumido no país eram de **fonte externa**.
- Estratégias para contornar a crise:
 - ✓ Descoberta da presença de petróleo na Bacia de Campos (Rio de Janeiro)
 - ✓ Implantação do Proálcool
 - ✓ Em 1977, surgiu o Projeto de Difusão do Biogás da Empresa Brasileira de Tecnologia e Extensão Rural (EMATER), executado no Estado de São Paulo e no Distrito Federal

O BIODIGESTOR E A BIODIGESTÃO

- O que levou a descontinuidade do processo?
 - Custo elevado;
 - Falta de equipamentos para uso do biogás;
 - Erros grosseiros de dimensionamento;

O BIODIGESTOR E A BIODIGESTÃO

- O retorno:
 - Novas tecnologias :
 - Geomembranas e mantas;
 - Filtros;
 - Equipamentos adaptados;
 - Enriquecimento do biogás;
 - Novos destinos:
 - **Reforma de biogás para produção de hidrogênio**
 - **Geração Distribuída de Energia**

O BIODIGESTOR E A BIODIGESTÃO

- **O que é um biodigestor?**

- Reator onde ocorrem bioprocessos para realizar transformação de biomassa;
- Dentro do biodigestor ocorre a degradação anaeróbia (ausência de oxigênio) da matéria orgânica pela ação microrganismos decompositores.

Modelos hidráulicos

- ✘ Os biodigestores podem ser enquadrados em diferentes tipos de modelos hidráulicos;
- ✘ Procuram explicar a forma de movimentação da biomassa (das moléculas) dentro do biodigestor;
- ✘ Afetam:
 - + a maior ou menor retenção dos microrganismos ativos;
 - + a velocidade das reações nos biodigestores;

Modelos hidráulicos

- Dentre os biodigestores encontrados no Brasil são comuns vários modelos hidráulicos que podem ser agrupados em 2 grupos:
- **Biodigestores de fluxo hidráulico descontínuo;**
 - ✘ ex. biodigestor batelada, muito utilizado em pesquisas.
- **Biodigestores de fluxo hidráulico contínuo;**
 - ✘ **Maioria dos biodigestores no Brasil se enquadram neste grupo, ex. os biodigestores: tubular, indiano, chinês, UASB, leito fixo, etc.**

FLUXO HIDRÁULICO DESCONTÍNUO

MODELOS DE BIODIGESTORES

Fluxo hidráulico descontínuo

- ✘ O processo de Batelada consiste de um reator onde **ocorrem todas as etapas do tratamento em um único local.**
- ✘ Isto é conseguido através do estabelecimento de ciclos de operação com durações definidas.
- ✘ A massa biológica permanece no reator durante todos os ciclos.

Fluxo hidráulico descontínuo

✘ Os ciclos normais de tratamento são:

- + **Enchimento** : alimentação do reator é feita apenas uma vez, no início do processo.
- + **Reação** : mistura da biomassa contida no reator, e período que o mesmo fica sem receber novo substrato até a biodigestão se completar (TDH – Tempo de Detenção Hidráulica – pré-estabelecido no início do processo)
- + **Sedimentação** : separação dos sólidos em suspensão do resíduo tratado.
- + **Esvaziamento** : retirada do efluente tratado
- + **Repouso** : ajuste de ciclos e remoção do lodo excedente

Fluxo hidráulico descontínuo

- ✘ A duração de cada ciclo pode ser alterada em função das variações da vazão, das necessidades do tratamento e das características do material a ser tratado.
- ✘ Muito utilizado para **materiais semi-sólidos e mesmo sólidos (*dry fermentation*)**;

Fluxo hidráulico descontínuo

- Com a adição adequada de **inóculo** → **pouco risco de colapso** (não há adição de material para desequilibrar o processo);
- Dos primeiros tipos de biodigestores utilizados, pois é **simples** e pode utilizar **diferentes tipos de substratos**.

Fluxo hidráulico descontínuo

VANTAGENS

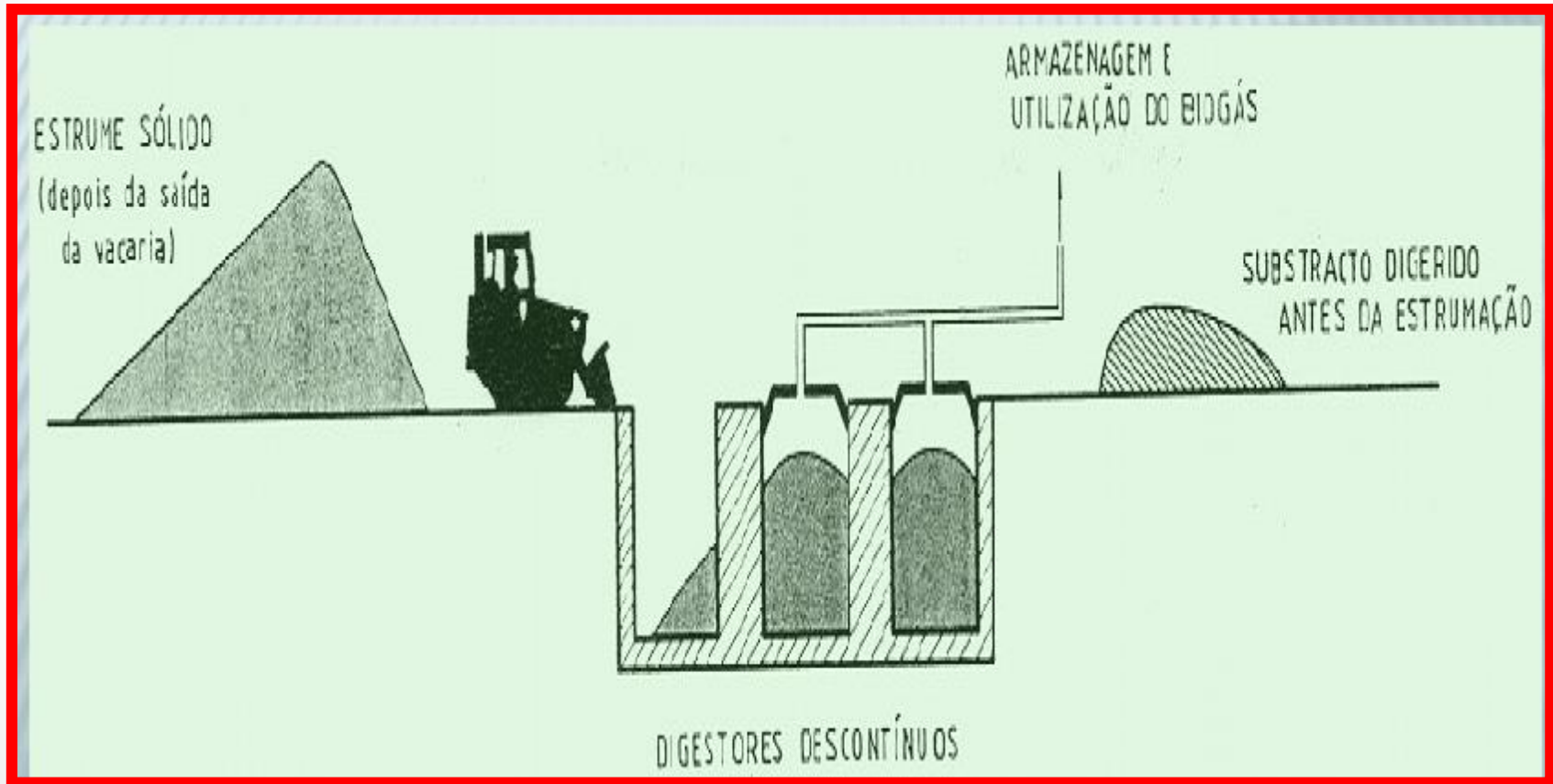
- ✘ É simples, barato e fácil de instalar e operar;
- ✘ Pode ser mantido facilmente em condições ideais de funcionamento, incluindo controle de temperatura;
- ✘ Facilidade de avaliação de potencial de produção.

Fluxo hidráulico descontínuo

DESVANTAGENS

- ✘ Sua produção não é uniforme;
- ✘ Seu uso para produção regular de biogás necessita do uso de uma bateria de biodigestores;
- ✘ Na nova recarga se é necessário a permanência de parte do inóculo.

Fluxo hidráulico descontínuo



FLUXO HIDRÁULICO CONTÍNUO

MODELOS DE BIODIGESTORES

Fluxo hidráulico contínuo

- **Alimentação de forma contínua, ou de forma intermitente (a cada alimentação quantidade equivalente de substrato é retirado do mesmo);**
- **produção de gás também de forma contínua;**
- **a movimentação do substrato pelo biodigestor pode ocorrer de diferentes formas, até a saída no final do processo;**

Fluxo hidráulico contínuo

CLASSIFICAÇÃO

✘ Fluxo tubular (*plug flow, em inglês*):

✚ o substrato segue um fluxo como dentro de um tubo, sem misturas longitudinais;

✘ Mistura completa:

✚ o substrato é misturado continuamente, diluindo totalmente o material alimentado na biomassa em digestão.

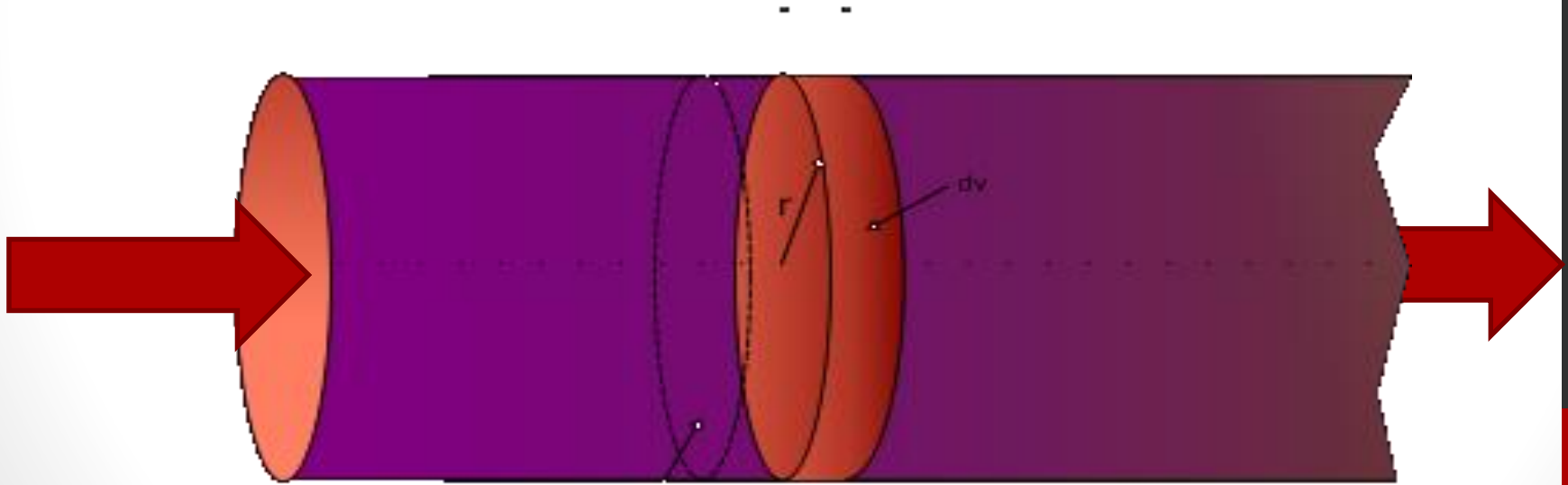
Fluxo hidráulico contínuo

FLUXO TUBULAR

- ✗ Não ocorre mistura do material;
- ✗ A movimentação ocorre como num **rio ou como num tubo**, por isso é chamado fluxo tubular;
- ✗ Percentual de material não digerido → **max. na entrada e min. na saída.**

Flujo hidráulico contínuo

FLUXO TUBULAR



Fluxo hidráulico contínuo

MISTURA COMPLETA

- ✘ Por **agitador** o material alimentado é imediatamente **diluído e disperso** no meio da massa em digestão;
- ✘ Concentração próximo a entrada e saída é muito parecida;
- ✘ Eficiência menor que do reator tubular.
- ✘ Apresenta baixa susceptibilidade a choques de carga (materiais rapidamente diluídos);

BIODIGESTORES NATURAIS



BIODIGESTORES NATURAIS



Dependendo da alimentação e do tamanho do animal, uma vaca adulta poderá produzir 1200 litros de gases por dia, dos quais 250 a 300 são metano

O INTA desenvolveu um dispositivo experimental, que canaliza os gases diretamente do rúmen para um reservatório. É composto por um sistema de válvulas, bombas e tubos ligados a uma mochila de plástico, que está presa no dorso do animal. O tubo de ligação ao rúmen implicou uma incisão de apenas dois milímetros, com anestesia, e a mochila não pesa mais de 500 gramas.

BIODIGESTORES NATURAIS

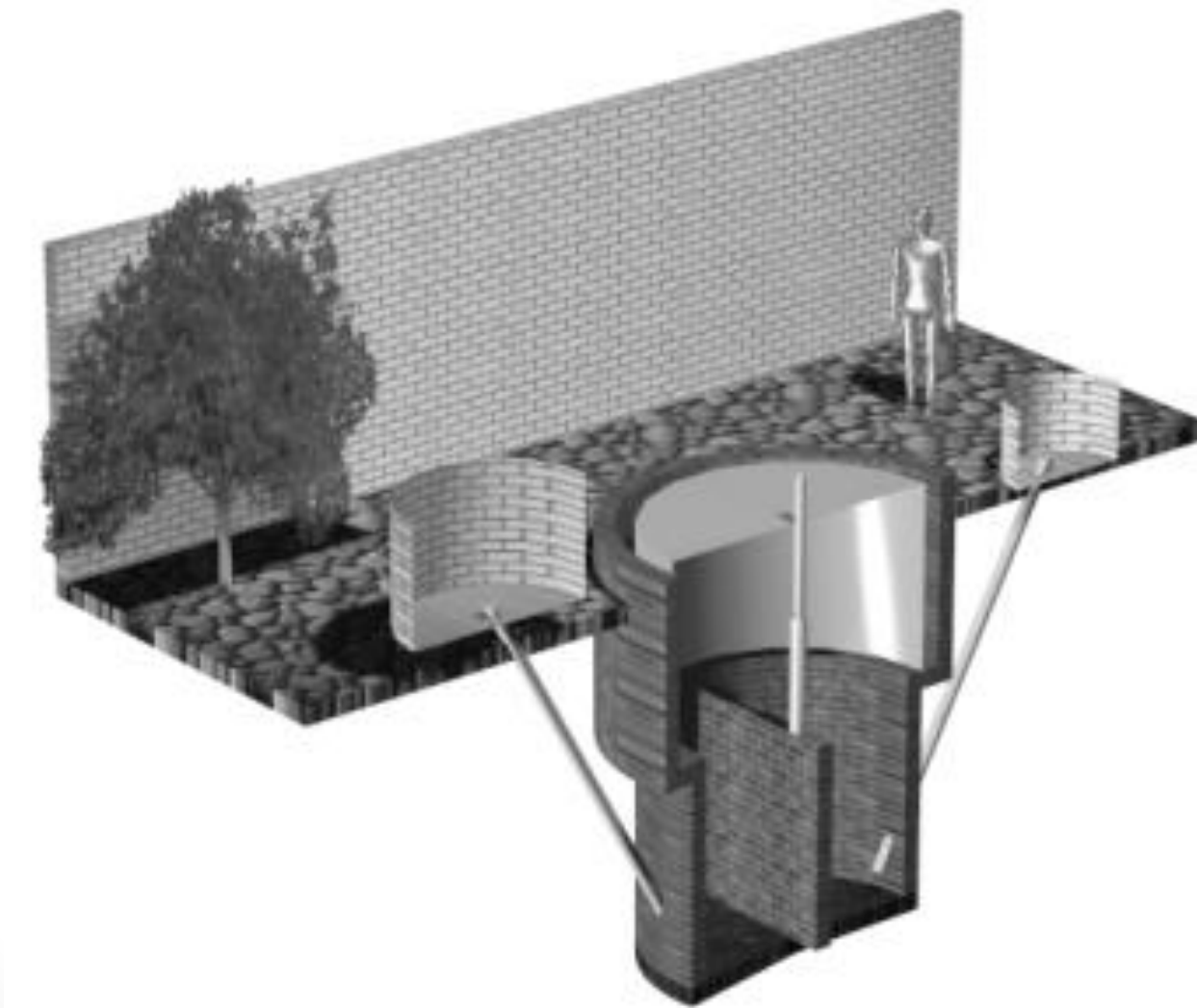


Relatório das Nações Unidas aponta "emissões baratas" mais perigosas na planeta do que emissões de CO2 dos carros... Sabido???

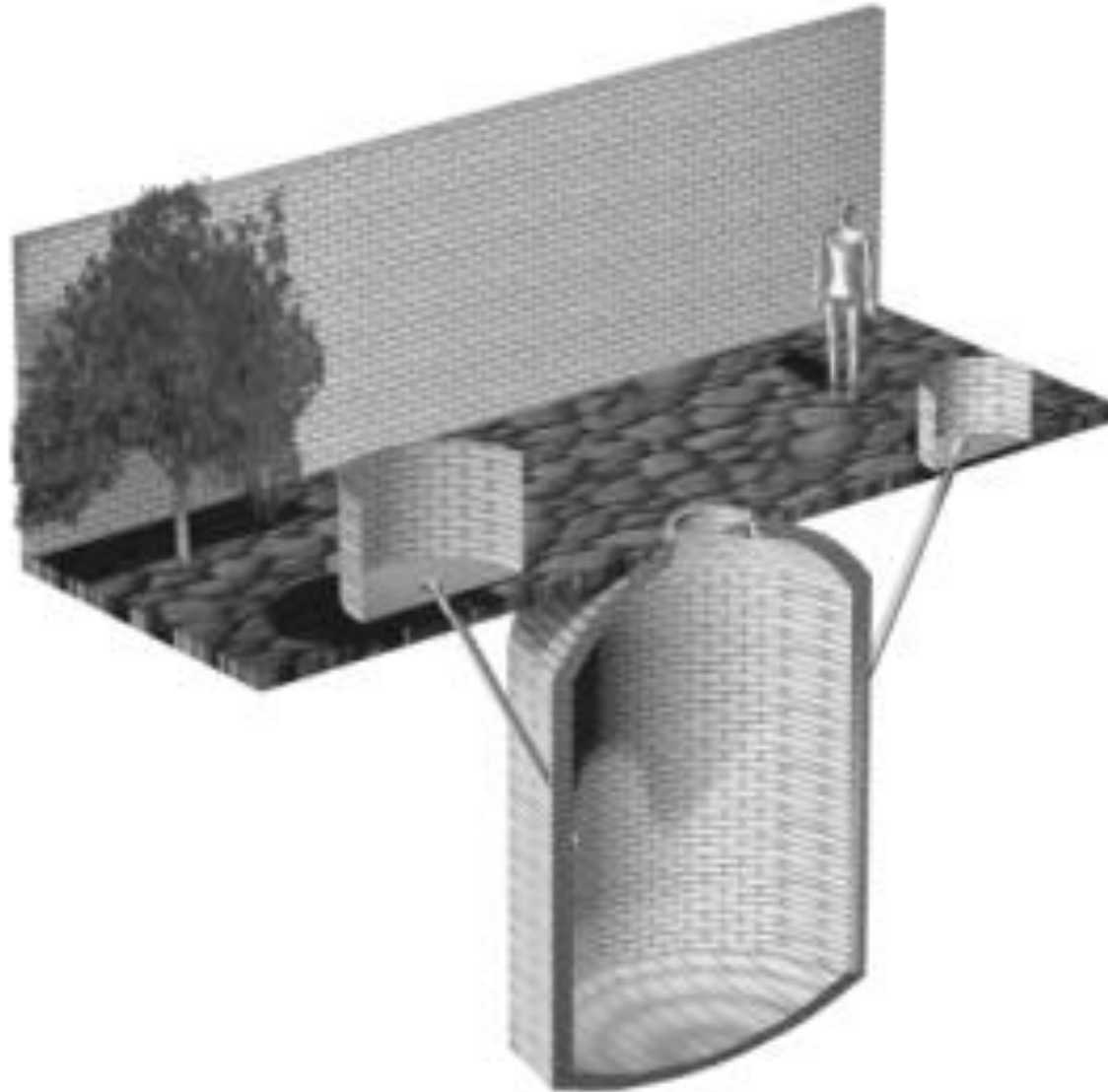
9,4 milhões de ton CH₄/ano, ou seja 2,5% de todo gás produzido mundialmente



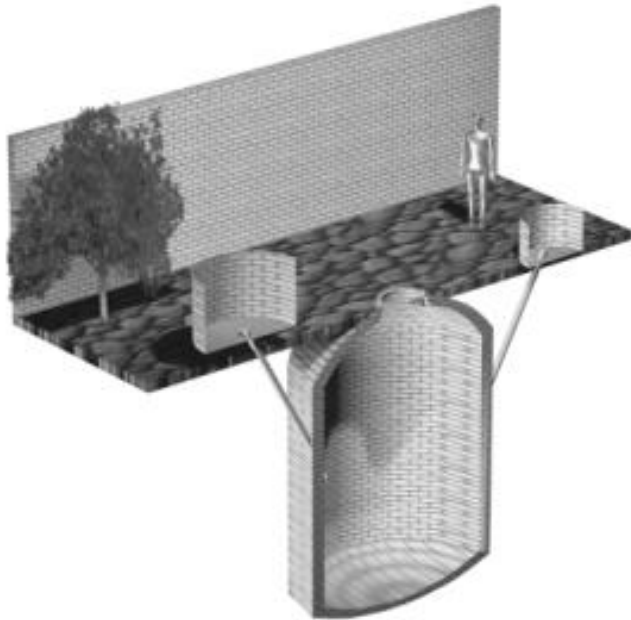
BIODIGESTOR INDIANO



BIODIGESTOR CHINÊS



BIODIGESTOR CHINÊS X INDIANO



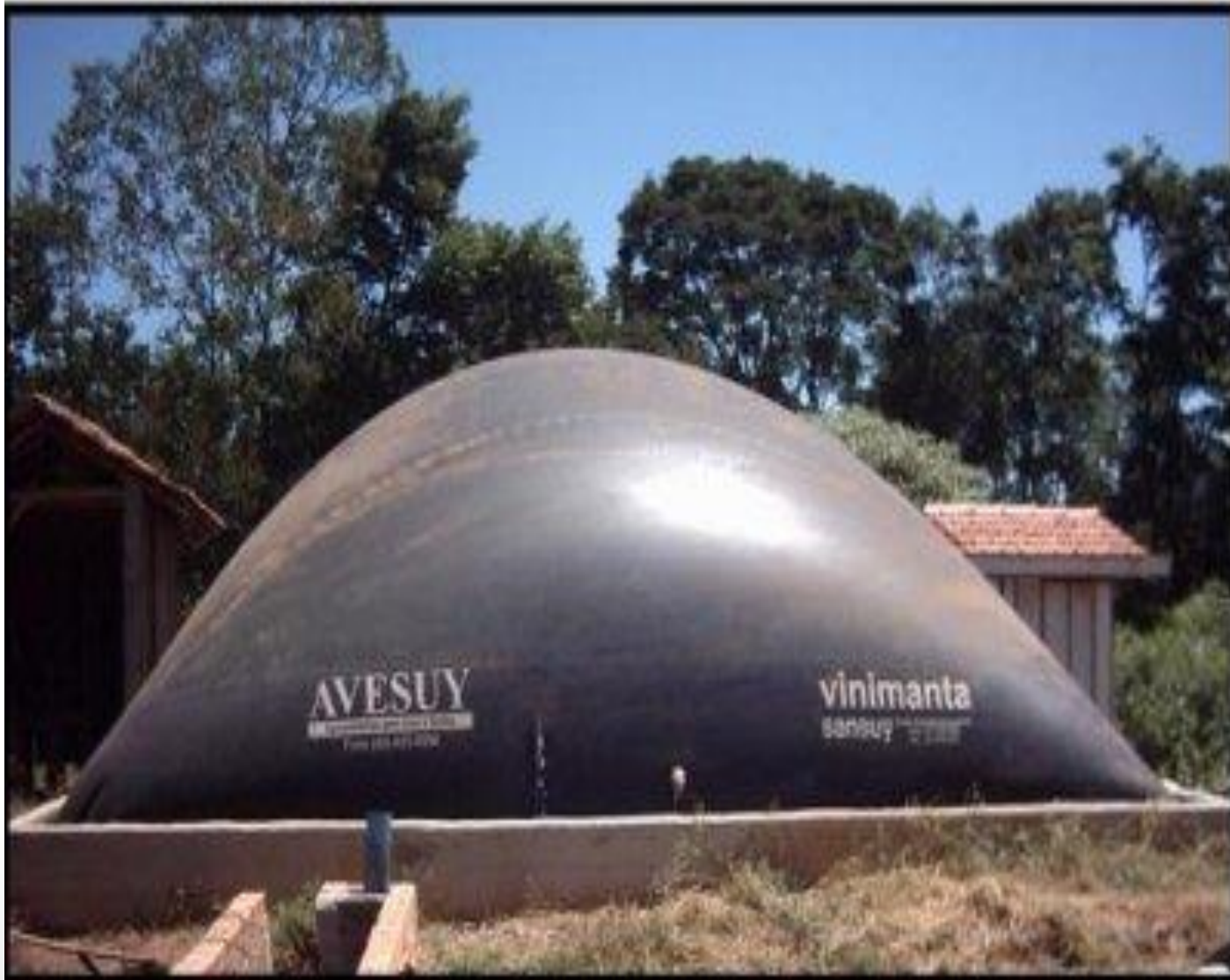
• Modelo Chinês

- Difere do indiano por não dispor de um gasômetro;
- Gás é produzido a uma pressão variável;
- O gás é armazenado no corpo do reator;
- Enterrado no solo com teto em forma de abóboda.

Modelo Indiano

- Possui uma campânula flutuante com gasômetro – pressão constante;
- O reservatório de fermentação possui duas câmaras;

BIODIGESTOR CANADENSE



BIODIGESTOR CANADENSE

A biomassa tem entrada contínua em uma das extremidades do biodigestor, passa através do mesmo e é descarregada na outra extremidade, na mesma sequência em que entrou;

- As partículas mantêm sua identidade e permanecem no tanque por um período igual ao **tempo de retenção/detenção hidráulica**;
- Elevada relação comprimento-largura, na qual a dispersão longitudinal é mínima - possuem uma relação largura:comprimento igual ou superior a 1:5;
- operam com tempos de retenção de mais de 15 dias;
- teores de sólidos entre 11 e 13%;
- São reatores de baixa carga orgânica volumétrica (COV);
- O mais difundido no Brasil.



6 9:49

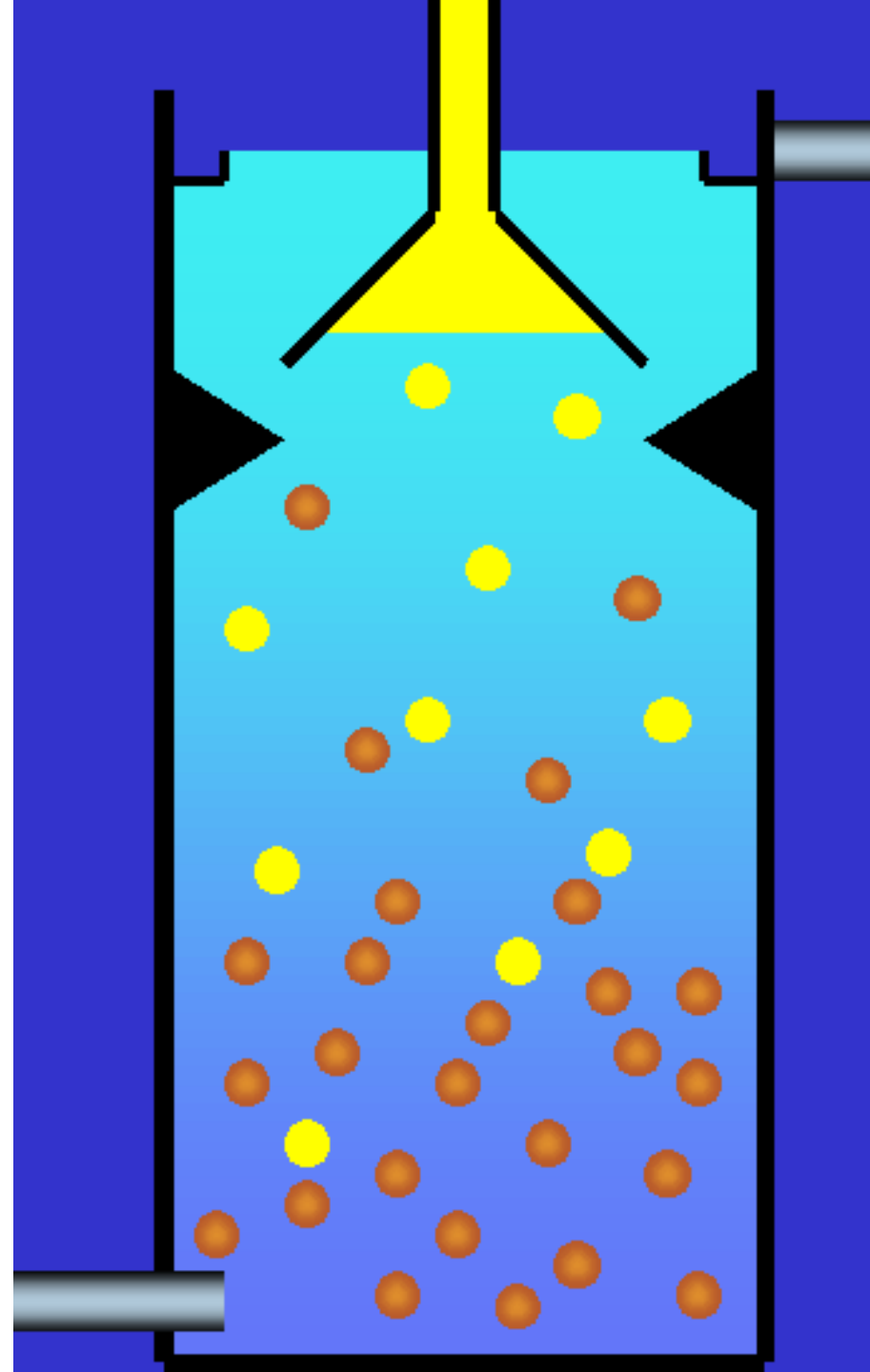




Modelo canadense

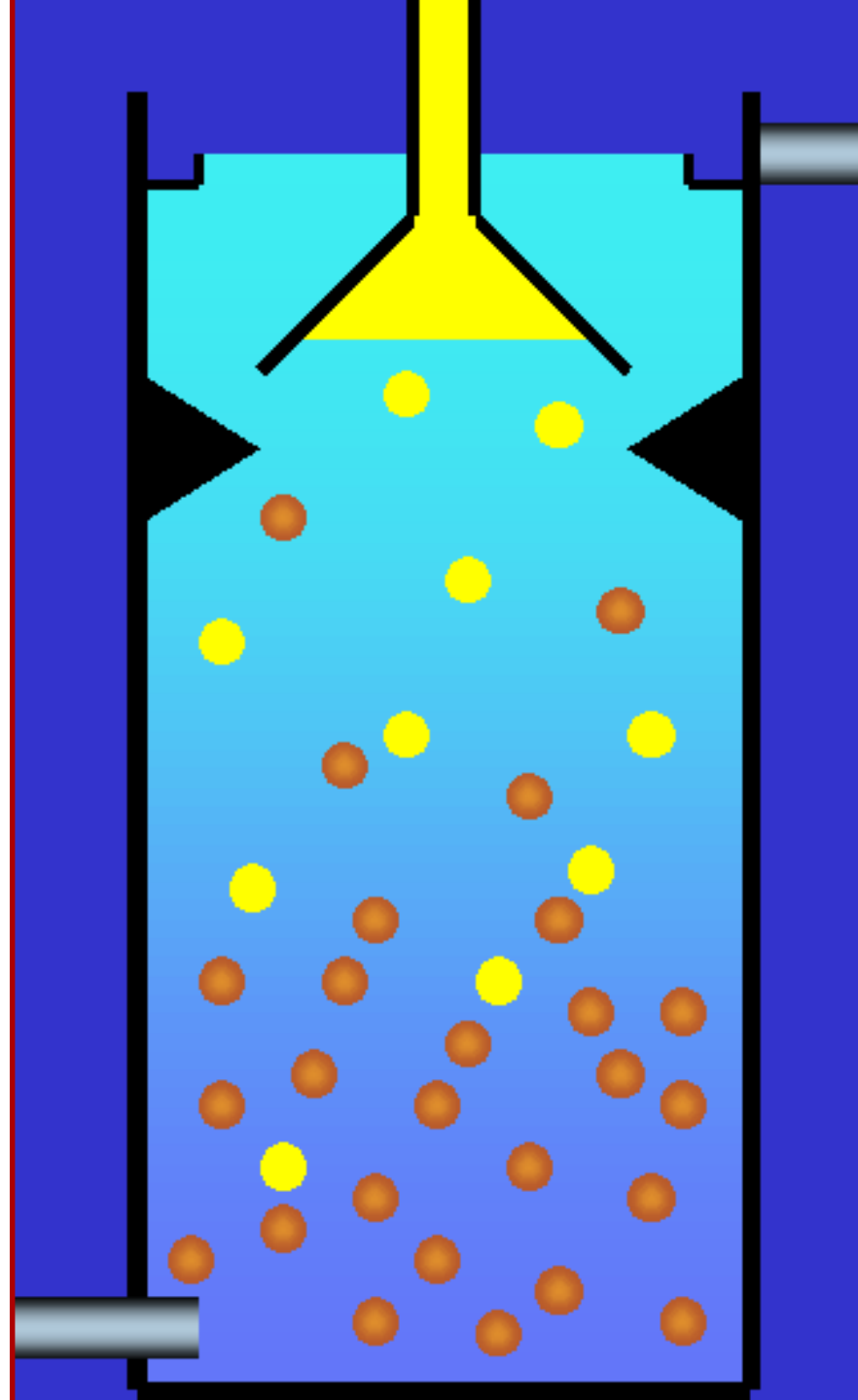


UASB



O processo utilizado visa a segregação dos gases, sólidos e líquidos;

- têm como principais parâmetros o controle dos tempos de detenção de sólidos e hidráulico, as cargas volumétricas orgânicas e hidráulicas, bem como a velocidade ascensional;
- lodo formado é sedimentado e fica concentrado na parte inferior do reator, sendo mantido em suspensão pela ação ascendente dos efluentes sanitários;
- ação dos micro-organismos anaeróbios da “Manta de Lodo” sobre a matéria orgânica nos efluentes;
- Após esta passagem pela manta de lodo, o líquido se direciona para uma zona de decantação existente na parte superior do reator:



FUNDAMENTOS DA DIGESTÃO ANAERÓBIA

Despejos passíveis de tratamento

Todos os compostos orgânicos podem ser degradados pela via anaeróbia, sendo que o processo se mostra mais eficiente e mais econômico quando os dejetos (M.O.) são facilmente biodegradáveis (**DQO/DBO « 0,3**).

Características favoráveis

- Tolerância a elevadas cargas orgânicas
- Baixa produção de sólidos
- Baixo consumo de energia
- Baixo custo de implantação e operação (*)
- Operação com elevados TRC e baixos TDH
- Baixa demanda de área
- Aplicabilidade em pequena e grande escala

Características desfavoráveis

- Remoção de N, P e patógenos insatisfatória
- Efluente com qualidade insuficiente para atender os padrões ambientais
- Bioquímica e microbiologia complexa (passíveis de estudos)
- Start up lento
- Possibilidade de geração de maus odores e de problemas de corrosão

Introdução

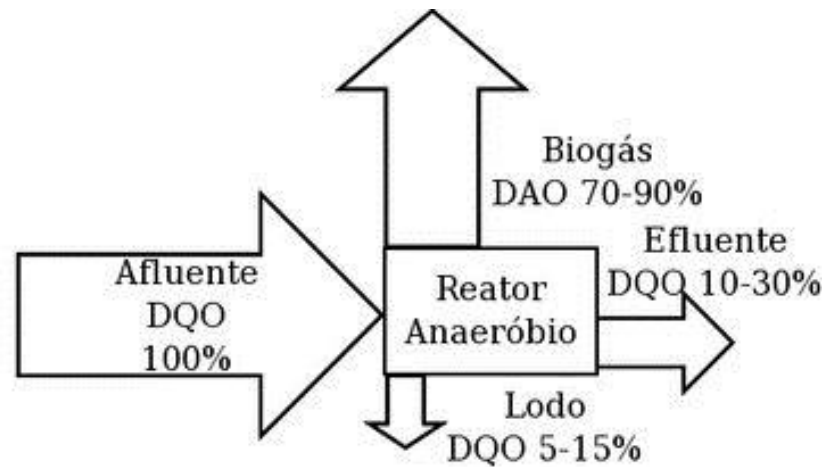
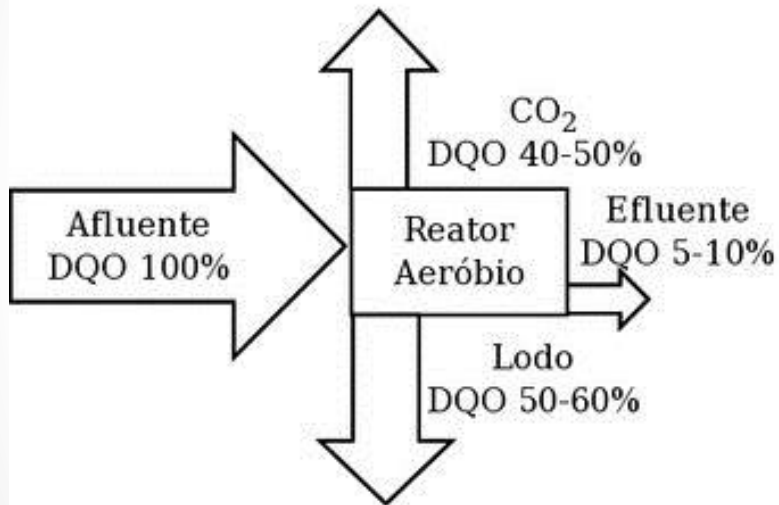
- Processos Metabólicos : a fermentação da matéria orgânica em sistemas anaeróbios ocorre por **fermentação** e por **respiração**.

Processos Metabólicos

Fermentação: a oxidação da matéria orgânica é feita na ausência de um acceptor final de elétrons.

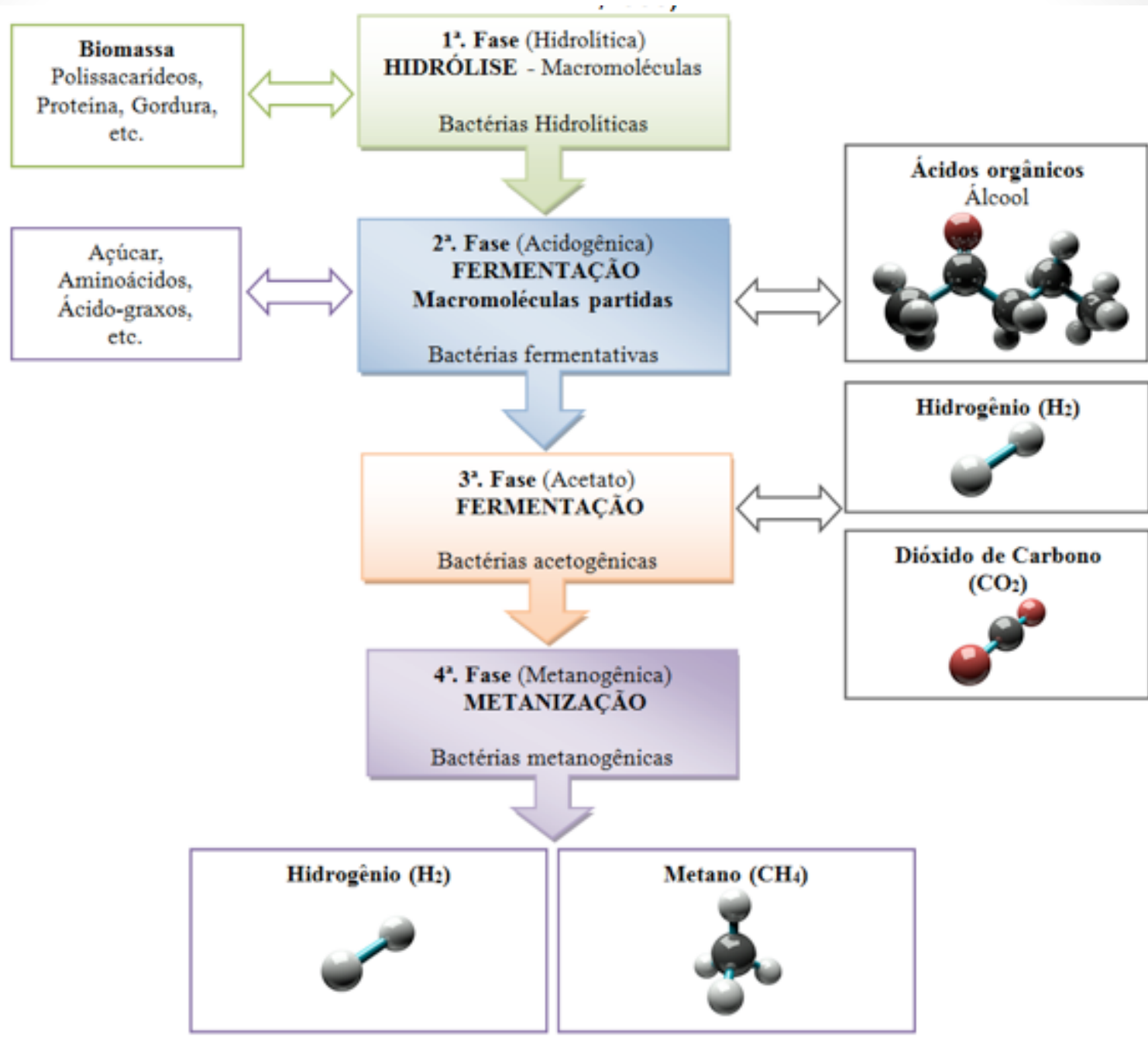
Respiração: são utilizados aceptores de elétrons inorgânicos como o nitrato, sulfato e o gás carbônico (processos aeróbios).

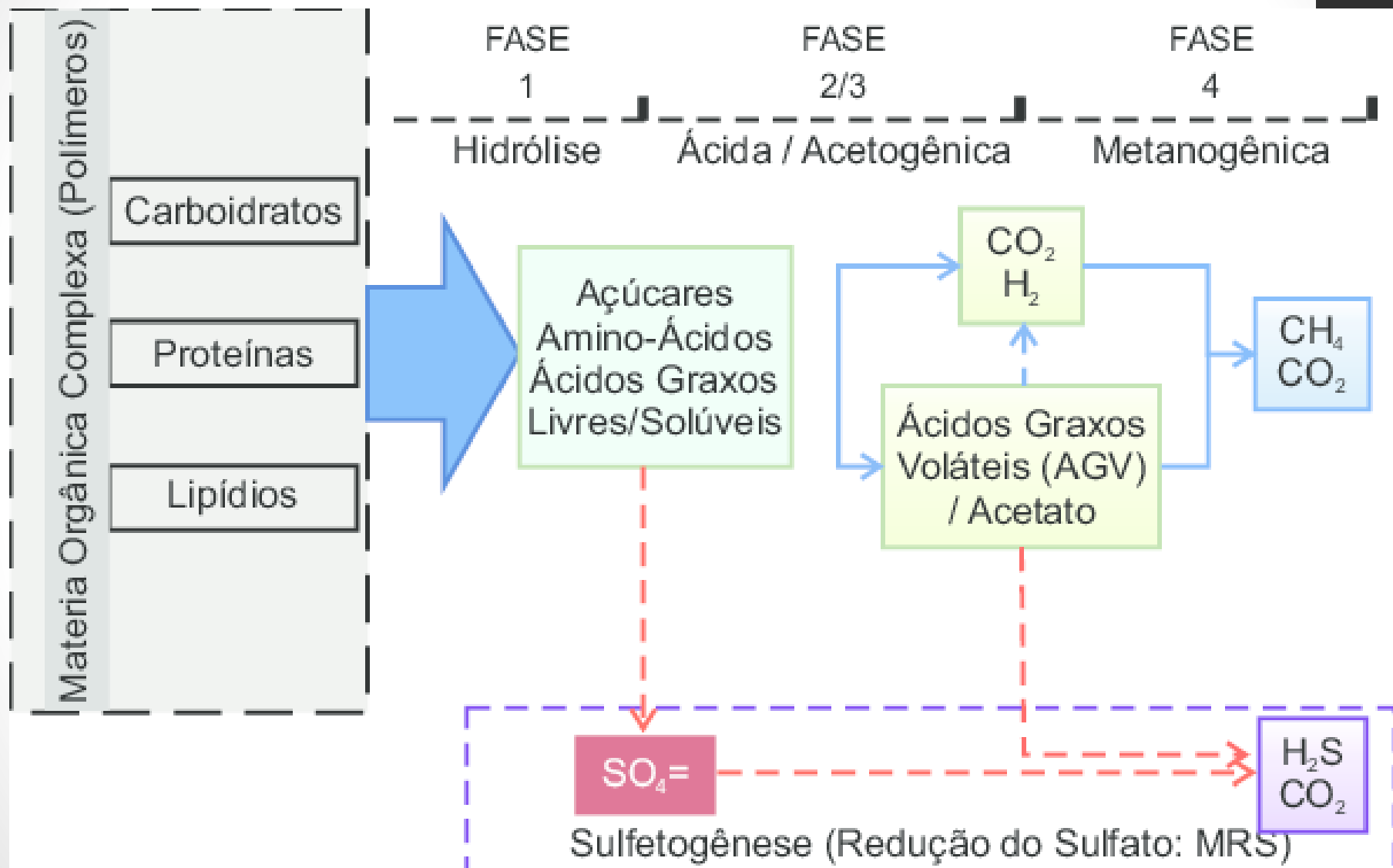
BALANÇO MÁSSICO DQO



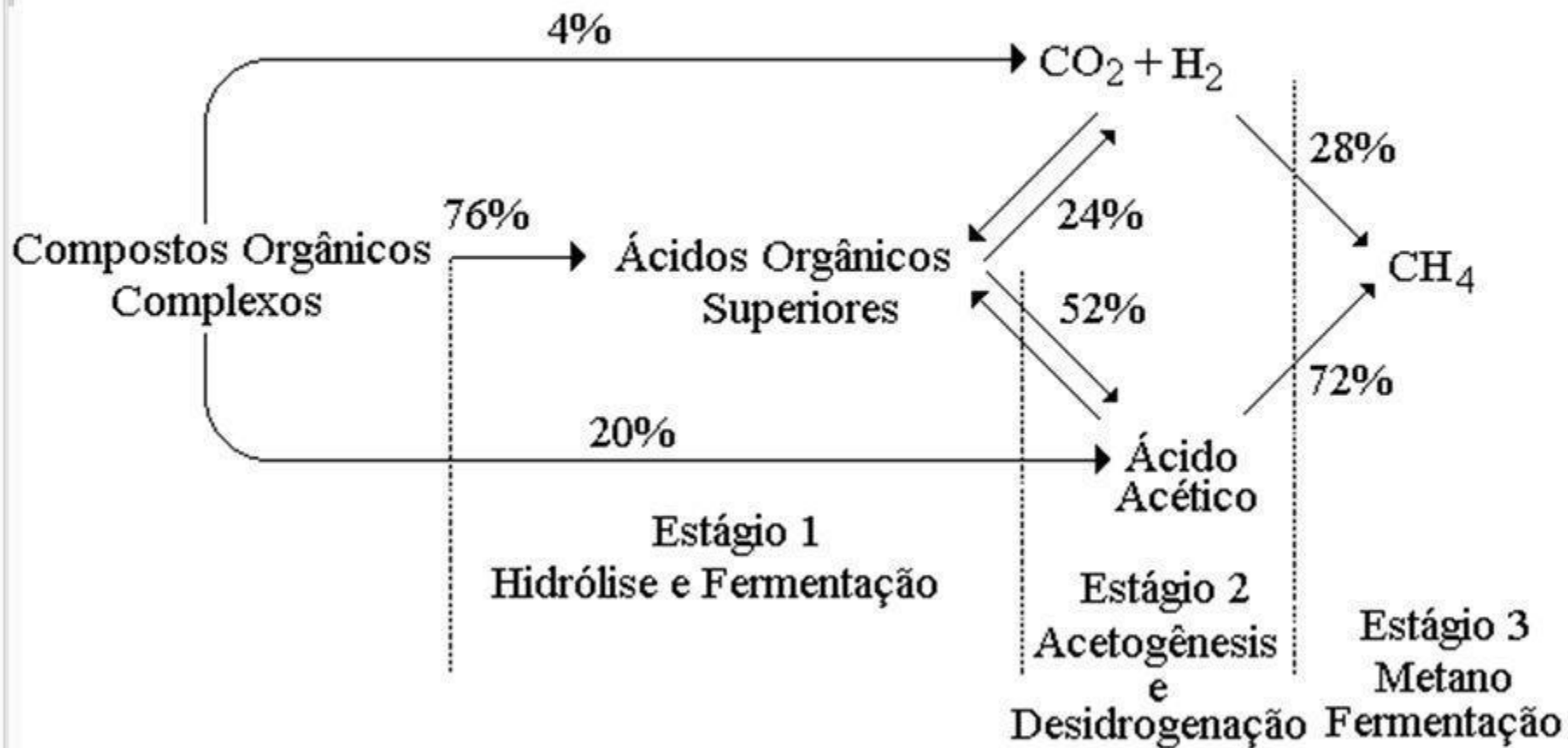
Digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia pode ser definida como um ecossistema onde diversos grupos de microrganismos trabalham interativamente na conversão da matéria orgânica complexa em **metano (CH_4)**, **gás carbônico (CO_2)**, **água (H_2O)**, **gás sulfídrico (H_2S)** e **amônia (NH_3)**, além de novas **células bacterianas**.





Etapas do processo de Digestão Anaeróbica com Fluxo de Energia



Reações importantes nos processos anaeróbios:



Oxidações (doadoras elétrons)		ΔG_0 , kJ
Propionato → acetato	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^- + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + \text{HCO}_3^- + \text{H}_2$	+ 76,1
Butirato → acetato	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COO}^- + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2 \text{H}_2$	+ 48,1
Etanol → acetato	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2 \text{H}_2$	+ 9,6
Lactato → acetato	$\text{CH}_3\text{CHOHCOO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{HCO}_3^- + \text{H} + 2 \text{H}_2$	- 4,2
Acetato → metano	$\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{CH}_4$	- 31
Reduções (recebe elétrons)		
HCO_3^- → acetato	$2 \text{HCO}_3^- + 4 \text{H}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + 4 \text{H}_2\text{O}$	- 104,6
HCO_3^- → metano	$\text{HCO}_3^- + 4 \text{H}_2 + \text{H} \rightarrow \text{CH}_4 + 3 \text{H}_2\text{O}$	-135,6
Sulfato → sulfeto	$\text{SO}_4^{2-} + 4 \text{H}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{HS}^- + 4 \text{H}_2\text{O}$	-151,9
Sulfato → sulfeto	$\text{SO}_4^{2-} + \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ \rightarrow 2 \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{S}$	-59,9
Nitrato → amônia	$\text{NO}_3^- + 4 \text{H}_2 + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{NH}_4^+ + 3 \text{H}_2\text{O}$	-559,9
Nitrato → amônia	$\text{NO}_3^- + 4 \text{H}_2 + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{NH}_4^+ + 3 \text{H}_2\text{O}$	-511,4
Nitrato → nitrogênio	$2 \text{NO}_3^- + 5 \text{H}_2 + 2 \text{H}^+ \rightarrow \text{N}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$	-1120,5

Hidrólise

- O material orgânico particulado >> em compostos dissolvidos de menor peso molecular.
- O processo efetuado pela ação das exoenzimas excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas.
- A hidrólise dos polímeros ocorre de forma lenta, sendo esta uma etapa limitante para o processo.

Acidogênese

- Nesta etapa, os produtos oriundos da hidrólise são metabolizados no interior das células, através do metabolismo fermentativo.
- Após a acidogênese, são excretadas substâncias orgânicas simples como ácidos graxos voláteis (AGV), alcóois, ácido láctico e compostos minerais (dióxido de carbono, hidrogênio, amônia, etc)

Acetogênese

- Na acetogênese ocorre a conversão dos produtos da acidogênese em compostos que formam os substratos para a produção de metano: acetato, hidrogênio e dióxido de carbono.

Acetogênese

- A produção de acetato é termodinamicamente inibida pela presença de hidrogênio dissolvido e acetato, portanto a acetogênese só poderá ocorrer se a concentração desses produtos for mantida baixa.

Acetogênese: sintrofia

- Sintrofia é uma relação metabólica específica entre dois microrganismos que viabiliza o crescimento do conjunto em substratos que não viabilizariam o crescimento separado dos organismos do consórcio em cultura pura;

Metanogênese

- Etapa final do processo global da conversão anaeróbia de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono por microrganismos metanogênicos.

Fatores que influenciam na formação do biogás

- **Impermeabilidade ao ar**: os microrganismos metanogênicos são essencialmente anaeróbias. A decomposição de matéria orgânica na presença de ar (oxigênio) irá produzir apenas dióxido de carbono (CO_2).

Fatores que influenciam na formação do biogás

- **Natureza do substrato**: os substratos nutritivos devem prover as fontes de alimento aos microrganismos, elementos químicos constituindo o material celular e os necessários às atividades enzimáticas, particularmente os oligo-elementos, como o **cálcio, magnésio, potássio, sódio, zinco, ferro, cobalto, cobre, molibdênio e manganês**.

Fatores que influenciam na formação do biogás

- **Composição dos resíduos**: A composição dos substratos tem quantidades diferentes de matéria orgânica e, portanto, a energia contida no material difere, ou seja, a quantidade de biogás a ser produzida e o teor de metano presente serão diferentes dependendo do substrato.

Fatores que influenciam na formação do biogás

- **Composição dos resíduos:** quanto maior a porcentagem de material orgânico no resíduo, maior o potencial de geração de metano e vazão de biogás. Uma relação específica de carbono para nitrogênio deve ser mantida entre 20:1 e 30:1.

Fatores que influenciam na formação do biogás

- **Composição dos resíduos:**

- **Materiais ricos em carboidratos:**

- Açúcares simples e dissacarídeos são degradados de maneira fácil e rápida, o que pode levar a problemas ► acidificação do reator.

- **Para obter um bom equilíbrio no processo**, os materiais com elevado teor de açúcar devem ser misturados com um material que contenha compostos mais recalcitrantes e de preferência, nitrogênio.

Fatores que influenciam na formação do biogás

- **Composição dos resíduos:**

- **Materiais ricos em carboidratos:**

- Polissacarídeos são compostos pouco solúveis e a sua composição e estrutura variam, tendo velocidades de degradação diferentes em um processo de biogás. O **amido** é o polissacarídeo mais comum nos produtos alimentares, consistindo em cadeias lineares ou ramificadas de glicose que são rompidas com facilidade durante o processo. Substratos com amido em excesso **provocam um cheiro azedo** durante o processo.

Fatores que influenciam na formação do biogás

- **Composição dos resíduos:**
 - **Materiais ricos em carboidratos:**
 - Em materiais ricos em celulose, como palha ou silagem, o tratamento de pré-hidrólise determina a velocidade do processo.

Fatores que influenciam na formação do biogás

- **Composição dos resíduos:**

- **Materiais ricos em gordura:**

- As gorduras são compostas principalmente por ácidos graxos e glicerol. O tipo de gordura depende da composição. Elas dividem-se em saturadas, monoinsaturadas e polinsaturadas, dependendo do tipo de ácido que as formam.

Fatores que influenciam na formação do biogás

- **Composição dos resíduos:**

- **Materiais ricos em gordura:**

- Gorduras saturadas têm um ponto de fusão mais elevado do que a gordura insaturada, tornando-o menos disponível para a biodegradação. Um pré-tratamento térmico pode aumentar a biodegradabilidade dessas gorduras.

OBS: Um aspecto da gordura é que os ácidos graxos têm propriedades tensoativas e, portanto, concentrações de espuma são formadas facilmente.

Fatores que influenciam na formação do biogás

- **Composição dos resíduos:**
 - **Dejetos animais:** a maioria dos estercos de animais possuem baixa relação C/N e devem ser corrigidos com resíduos vegetais como palhas, sabugos, serragem, para atingir o ponto ideal.

Fatores que influenciam na formação do biogás

- Composição dos resíduos:

Algumas matérias primas – fontes de resíduo
Fezes de suínos
Papel e jornais
Sobras de comida
Fezes de aves
Soro de queijo
Resíduos de grãos
Capins
Resíduos de cervejaria
Fezes de bovinos
Resíduos de abatedouro
Fezes de coelho
Lixo urbano, esgoto

Fatores que influenciam na formação do biogás

- Composição dos resíduos (biodegradabilidade):

Indústria	Principais Poluentes	DBO5	DQO
Abatedouro	Sólidos em suspensão e Proteínas	2 600	4 150
Cervejaria	Carboidratos e Proteínas	550	
Destilarias	Sólidos em Suspensão, Proteínas e Carboidratos	7 000	10 000
Lavanderias	Sólidos em suspensão, Proteínas e Carboidratos	1 600	2 700
Refinarias	Fenol, hidrocarbonetos e Compostos Sulfurosos	840	1 500
Amido	Sólidos em Suspensão Carboidratos e Proteínas	12 000	17 150

Fatores que influenciam na formação do biogás

- *Composição dos resíduos*: afeta o TDH no reator.

Tempo de Detenção Hidraulica (TDH)

Fatores que influenciam na formação do biogás

- **Temperatura**: a atividade enzimática das bactérias depende estritamente da temperatura, visto que é conhecido que alterações bruscas de temperatura causam desequilíbrio nas culturas envolvidas, principalmente nas bactérias formadoras de metano.

Fatores que influenciam na formação do biogás

- O **pH** no biodigestor é um fator importante, ele deve estar em torno da neutralidade, entretanto, as variáveis que controlam o pH do biodigestor são a Acidez Volátil e a Alcalinidade Total.

Fatores que influenciam na formação do biogás

- A **alcalinidade** de uma solução é a medida da sua capacidade de neutralizar ácidos, resistindo às mudanças de pH ou tamponando o sistema. Os principais íons responsáveis pela alcalinidade em meios aquosos sob tratamento anaeróbico são: **HCO_3^-** , **CO_3^{2-}** e **OH^-** , cujas concentrações são funções do pH. Geralmente, o valor da alcalinidade é expresso em mg CaCO_3/L (usado para padronizar ácidos).

Fatores que influenciam na formação do biogás

- Os **ácidos** presentes no biodigestor são em geral ácidos orgânicos fracos (**ácido acético, lático, butírico, carbônico**, dentre outros) formados na etapa denominada de acidogênese. Devido a esta característica estes ácidos são tamponados pelos carbonatos da alcalinidade.

Fatores que influenciam na formação do biogás

- **pH**: A concentração em íons H^+ no meio exterior tem uma grande influência sobre o crescimento dos microrganismos. Na digestão anaeróbia, observam-se duas fases sucessivas: a primeira se caracteriza por uma diminuição do pH em patamares próximos de 5,0 e a segunda por um aumento do pH e sua estabilização em valores próximos da neutralidade.

Fatores que influenciam na formação do biogás

- **AGITAÇÃO:**
- melhor aproveitamento dos micro-organismos ao substrato, e manter a estabilidade do processo
- eliminar os gases produzidos;
- misturar o substrato aos micro-organismos;
- prevenir a formação de crosta e sedimento interno;
- evitar gradientes pronunciados de temperatura dentro do biodigestor;
- prevenir a formação de espaços inativos que possam reduzir o volume de fermentação.

Fatores que influenciam na formação do biogás

- **INIBIÇÃO**

- diminuição da temperatura;
- grandes concentrações do íon amônia ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) que podem estar na faixa de 5000 a 7000 mg.L^{-1} ;
- concentrações de amônia (NH_3) maior que 200 – 300 mg.L^{-1} ;
- relações C/N distantes da faixa ótima de concentração de 8 – 20;
- presença de metais pesados;
- antibióticos;
- detergentes.

PARÂMETROS DE PROJETO

- **Carga orgânica volumétrica:**
- É a quantidade de matéria orgânica (massa) aplicada diariamente ao reator, por unidade de seu volume.

$$V = \frac{Q \times S}{COV}$$

$$COV = \frac{Q \times S}{V} \quad (1)$$

onde:

COV = carga orgânica volumétrica (kgDQO/m³.d);

Q = vazão (m³/d);

S = concentração de substrato afluente (kgDQO/m³);

V = volume total do reator (m³).

PARÂMETROS DE PROJETO

- **Carga hidráulica volumétrica:**

Volume de efluente introduzido diariamente no reator por unidade de seu volume.

- **Dimensionamento do volume do reator**

$$V = Q \times TDH$$

$$TDH = \frac{V}{Q}$$

onde:

TDH = tempo de detenção hidráulica (d);

V = volume total do reator (m³)

Q = vazão (m³/d).

$$CHV = \frac{Q}{V}$$

Onde:

CHV = carga hidráulica volumétrica (m³/m³.d).

ou

$$CHV = \frac{1}{TDH}$$



CARACTERÍSTICAS E APROVEITAMENTO DO BIOGÁS

Características do Biogás

- O biogás é uma mistura gasosa produzida a partir da decomposição anaeróbica de materiais orgânicos, composta primariamente de **metano** (CH_4) e **dióxido de carbono** (CO_2), com pequenas quantidades de **ácido sulfídrico** (H_2S) e **amônia** (NH_3).
- Traços de hidrogênio, nitrogênio, monóxido de carbono, carboidratos saturados ou halogenados e oxigênio estão ocasionalmente presentes no biogás. Geralmente, a mistura gasosa é saturada com **vapor d'água** e pode conter material particulado e compostos orgânicos com silício (siloxanas).

Características do Biogás

Gás	Concentração típica	Densidade (kg. m⁻³)	Poder Calorífico (kJ .m⁻³)	Solubilidade em água (g.l⁻¹)	Propriedades gerais
CH ₄	45 -60 %	0,717	35.600	0,0645	Incolor, inodoro, asfixiante Inflamável
CO ₂	35 -50 %	1,977	---	1,688	Incolor, inodoro, asfixiante
N ₂	0 -10 %	1,250	---	0,019	Incolor, inodoro,
O ₂	0 – 4 %	1,429	---	0,043	Incolor, inodoro,
CO	< 0,1 %	1,250	12,640	0,028	Incolor, inodoro, inflamável, tóxico
H ₂	< 0,1%	0,090	10.760	0,001	Incolor, inodoro, inflamável
H ₂ S	0 - 70 ppm	1,539	---	3,846	Incolor, tóxico

Fonte: MACIEL (2003)

Características do Biogás

- **EQUIVALÊNCIAS ENERGÉTICAS**

Combustível	Quantidades equivalentes
Carvão	1,5 m ³
Gás Natural	1,5 m ³
Óleo cru	0,72 L
Gasolina	0,98 L
Álcool	1,34 L
Eletricidade	2,21 kWh

Fonte: FARRET (1999)

- O poder calorífico do biogás é de aproximadamente 21.600 kJ/m³
- Ou 6,0 kWh/m³.

Purificação do Biogás

- A purificação do biogás provindo dos biodigestores consiste, normalmente, na remoção de componentes que comprometam sua utilização;
- Remoção de H_2S , CO_2 e Umidade;
- combustível em motores geradores, os principais componentes a serem removidos são aqueles corrosivos, em especial o ácido sulfídrico e a umidade;
- Para utilização veicular tem-se que remover o CO_2 e o H_2S ;
- O poder calorífico do biogás varia de 5000 a 7000 Kcal/m³.
- O biogás altamente purificado pode alcançar até 12000 Kcal/m³.

Purificação do Biogás

Os processos de purificação podem ser divididos em várias etapas.

- ✓ A sua limpeza é inevitável para se poder atingir um biogás livre de CO_2 e de impurezas, aproximando-se a sua composição da apresentada pelo gás natural.
- ✓ Para proceder a este tipo de separação, poderão ser utilizados diversos métodos, como os que serão apresentados a seguir:

Purificação do Biogás

Purificação por membrana

Membranas de separação são barreiras finas que permitem a permeabilidade seletiva de determinados gases; são confeccionadas predominantemente polímeros.

- O princípio é que alguns componentes do biogás podem ser transportados através de uma membrana fina (<1mm) enquanto outros ficam retidos.
- O transporte de cada componente acontece por diferença de pressão parcial e pela dependência do componente à permeabilidade do material da membrana.

Purificação do Biogás

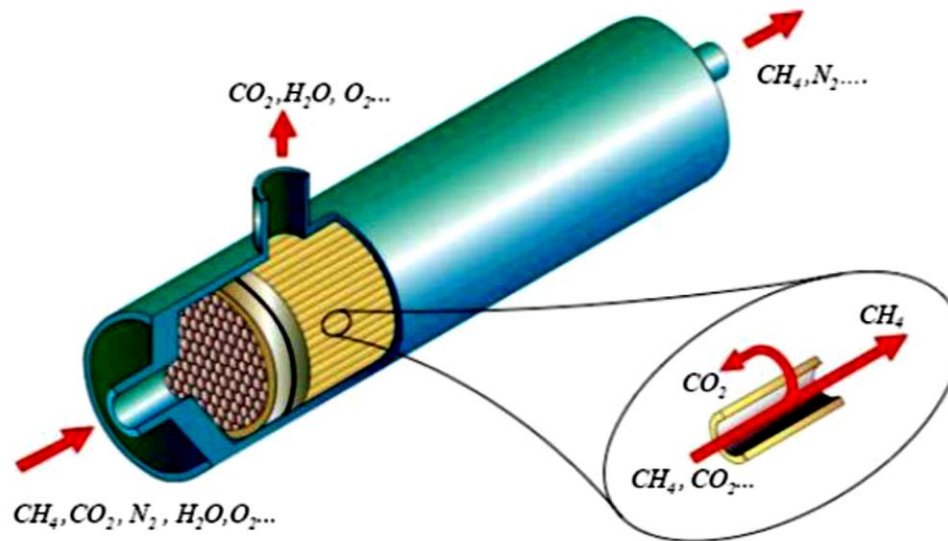
Purificação por membrana

- Para o caso do metano com alta pureza a permeabilidade deve ser elevada.
- Uma membrana sólida construída de polímeros de acetato–celulose é de 20 e 60 vezes mais permeável para o CO_2 e H_2S , respectivamente, do que para o CH_4 .
- A pressão requerida pelo processo encontra-se entre os 25 e 40 bar.

Purificação do Biogás

Purificação por membrana

- O fluxo de gás que atravessa a membrana aumenta proporcionalmente com a diferença de pressão parcial. Assim, quanto maior a diferença de pressão, menor é a área requerida da membrana. Entretanto, a pressão máxima que a membrana pode suportar deve ser levada em consideração.



Purificação do Biogás

Purificação por membrana



Interior de uma planta de purificação de biogás por membranas.

Purificação do Biogás

Purificação utilizando WS

- O método, Water Scrubbing, é geralmente aplicado e bastante eficiente, até mesmo para baixas produções de biogás.
- A facilidade e o baixo custo deste método envolvem o uso da água pressurizada como absorvente e pouca infraestrutura.
- O biogás é comprimido e alimentado no sentido ascendente da base de uma coluna de absorção e água pressurizada é pulverizada em sentido contrário ao biogás, sentido descendente.
- O processo de absorção é contra corrente. Assim o CO_2 e o H_2S são dissolvidos na água sendo recolhidos no fundo da torre de absorção.
- A água pode ser reciclada e usada para a primeira lavagem do biogás na torre. Sendo este um dos métodos mais simples de lavagem do biogás.

Purificação do Biogás

Purificação utilizando WS

- O método de remoção de CO_2 e H_2S , a partir deste tipo de processo, é bastante conhecido em instalações de produção e purificação de biogás na Suécia, França e EUA.
- Os resultados mostram que de 5-10% de CO_2 permanece após a lavagem.

Purificação do Biogás

Purificação utilizando WS



Purificação do Biogás

Purificação utilizando PSA

- O sistema de PSA, Pressure Swing Adsorption, constitui outro método de limpeza e purificação do biogás.
- Este processo é utilizado para a separação de certos componentes de uma mistura de gases sob pressão, tendo em conta as características moleculares e capacidade de serem captadas pelos materiais de adsorção.

Purificação do Biogás

Purificação utilizando PSA

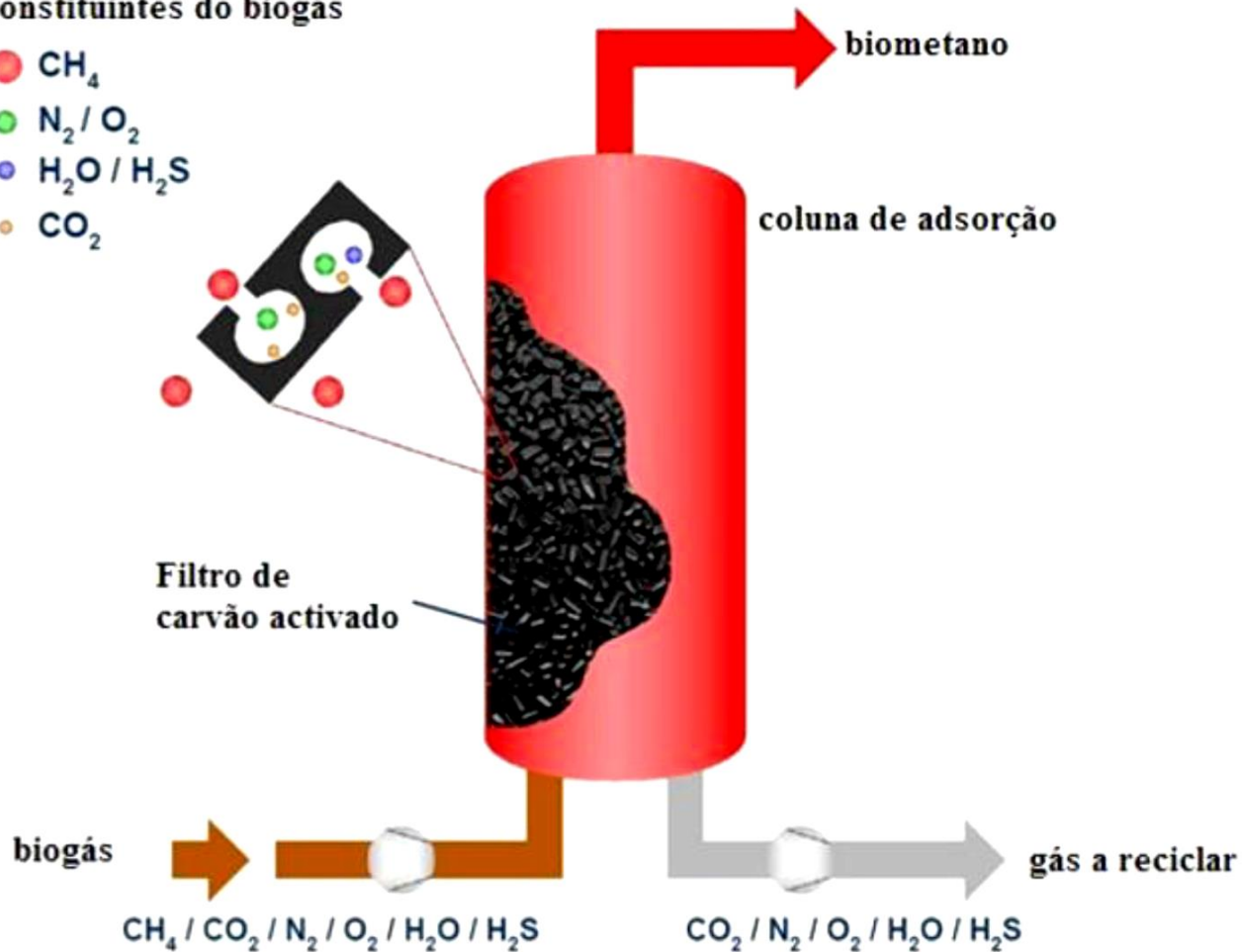
- Neste processo os materiais de adsorção selecionam apenas algumas moléculas do gás.
- Os materiais de adsorção selecionados para o efeito poderão ser: carvão ativado, sílica gel, alumina, etc.
- Estes materiais são utilizados como filtro molecular a altas pressões.

Purificação do Biogás

Purificação utilizando PSA

constituintes do biogás

- CH_4
- N_2 / O_2
- $\text{H}_2\text{O} / \text{H}_2\text{S}$
- CO_2



Esquema de captação de impurezas do biogás PSA

Purificação do Biogás

Purificação utilizando PSA

- O sistema consiste de quatro colunas de adsorção. Durante o processo de adsorção, o biogás é injetado pela base das colunas de adsorção.
- Na coluna de adsorção, o CO_2 , O_2 e N_2 são retidos, fazendo com que à saída das colunas, o gás contenha mais de 97% CH_4 .

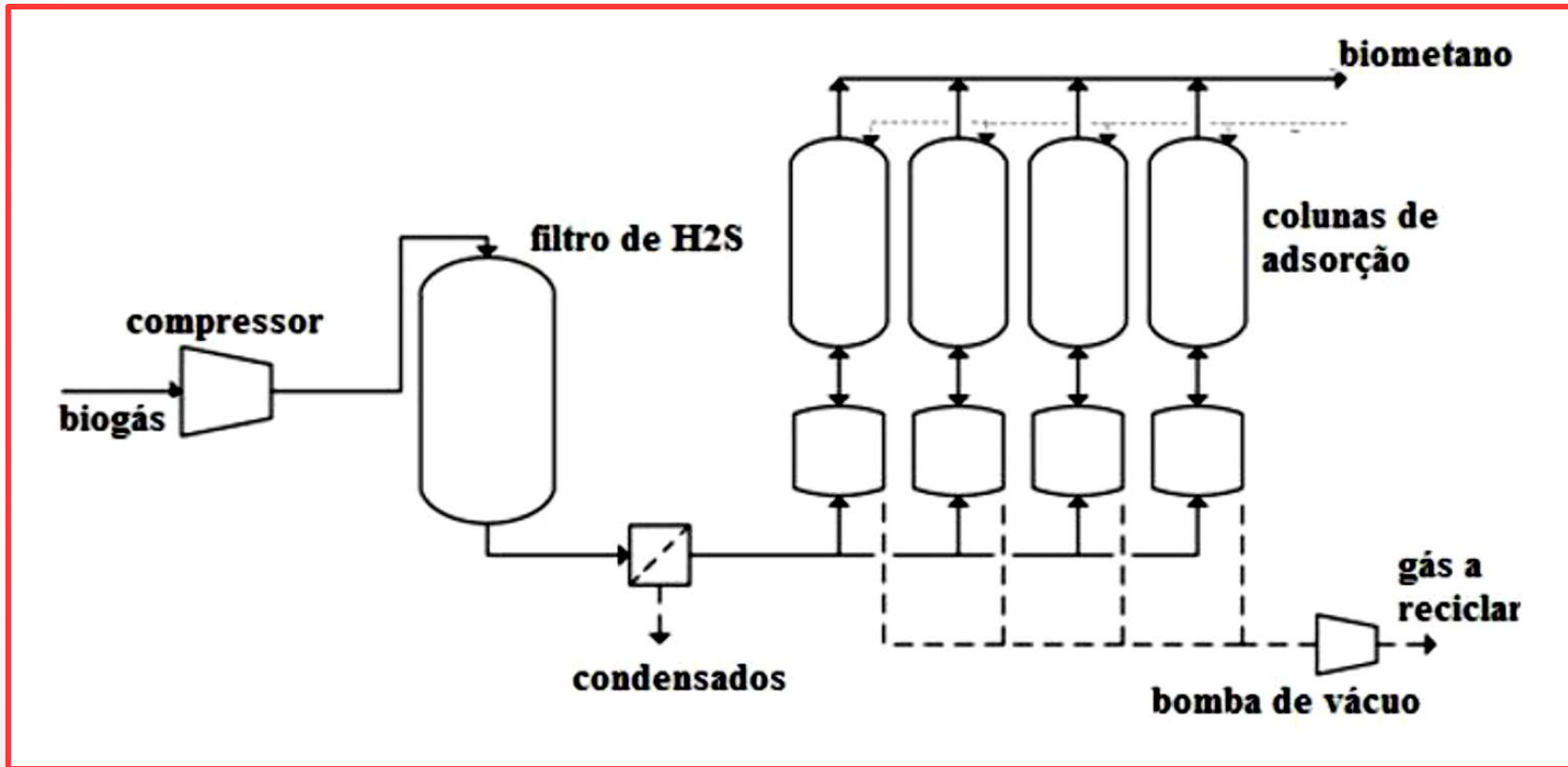
Purificação do Biogás

Purificação utilizando PSA

- O processo de operação é efetuado da seguinte forma:
 - antes da coluna de adsorção estar completamente saturada com impurezas,
 - a fase de adsorção é parada e é passada para outra coluna de adsorção que já tenha sido regenerada, para se assegurar um funcionamento contínuo.
 - A regeneração das colunas de adsorção é efetuada através da sua despressurização até à pressão atmosférica e posteriormente até muito próximo do vácuo.
 - O gás libertado pelas colunas de adsorção nesta fase contém grandes quantidades de CH₄, o qual vai ser reciclado, passando novamente para o biogás a purificar. Antes de se passar novamente à fase de adsorção, cada coluna, é novamente pressurizada até à pressão de adsorção.

Purificação do Biogás

Purificação utilizando PSA



Esquema de purificação PSA.

Purificação do Biogás

Purificação utilizando PSA

- As vantagens do processo de purificação por adsorção são o alto enriquecimento do biogás com mais de 95% (v/v) de CH₄, a demanda de baixa potência e o baixo nível de emissões.
- A principal desvantagem é a etapa de remoção final de impurezas, sendo o passo mais complexo do processo.

Purificação do Biogás

Purificação utilizando tecnologia criogênica

- O método de purificação criogênica do biogás envolve a separação dos constituintes do gás por condensação e destilação fracionária a baixas temperaturas.
- Este processo tem a **vantagem** de recuperar o componente puro na forma líquida e desta forma, transportá-lo convencionalmente.
- Mas possui duas **desvantagens**: alto custo de investimento e operação e baixa eficiência térmica devido a variação de fluxo.

Purificação do Biogás

Purificação utilizando tecnologia criogênica

- Neste processo o biogás é comprimido a aproximadamente 80 bar. O compressor utilizado é de múltiplos estágios com “intercooling”.
- O biogás é refrigerado por chillers e permutadores de calor, acima de $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$, condensado o CO_2 que é removido e separado.
- Posteriormente o CO_2 é processado para recuperar o metano que é reciclado para a entrada de gás.
- Neste processo consegue-se obter 97% de metano puro.

Purificação do Biogás

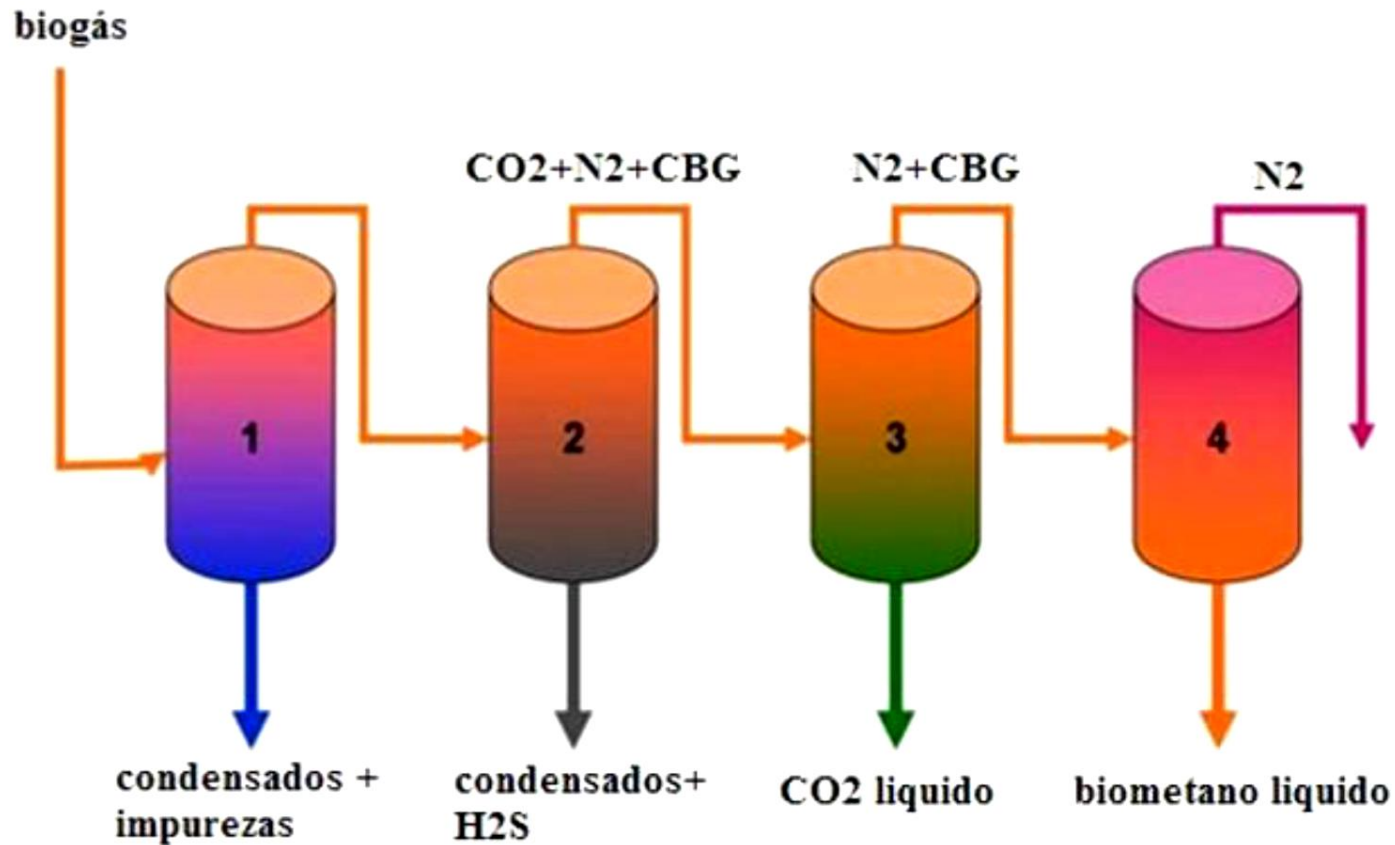
Purificação utilizando tecnologia criogênica

- Este processo assenta na teoria das diferentes temperaturas de condensação apresentadas pelos constituintes do biogás captado,

Composto	Temperatura de condensação (°C)
CO ₂	-78.5
CH ₄	-161
N ₂	-196

Purificação do Biogás

Purificação utilizando tecnologia criogênica



Esquema de purificação (CBG & LBG Cryogenic technology).

Purificação do Biogás

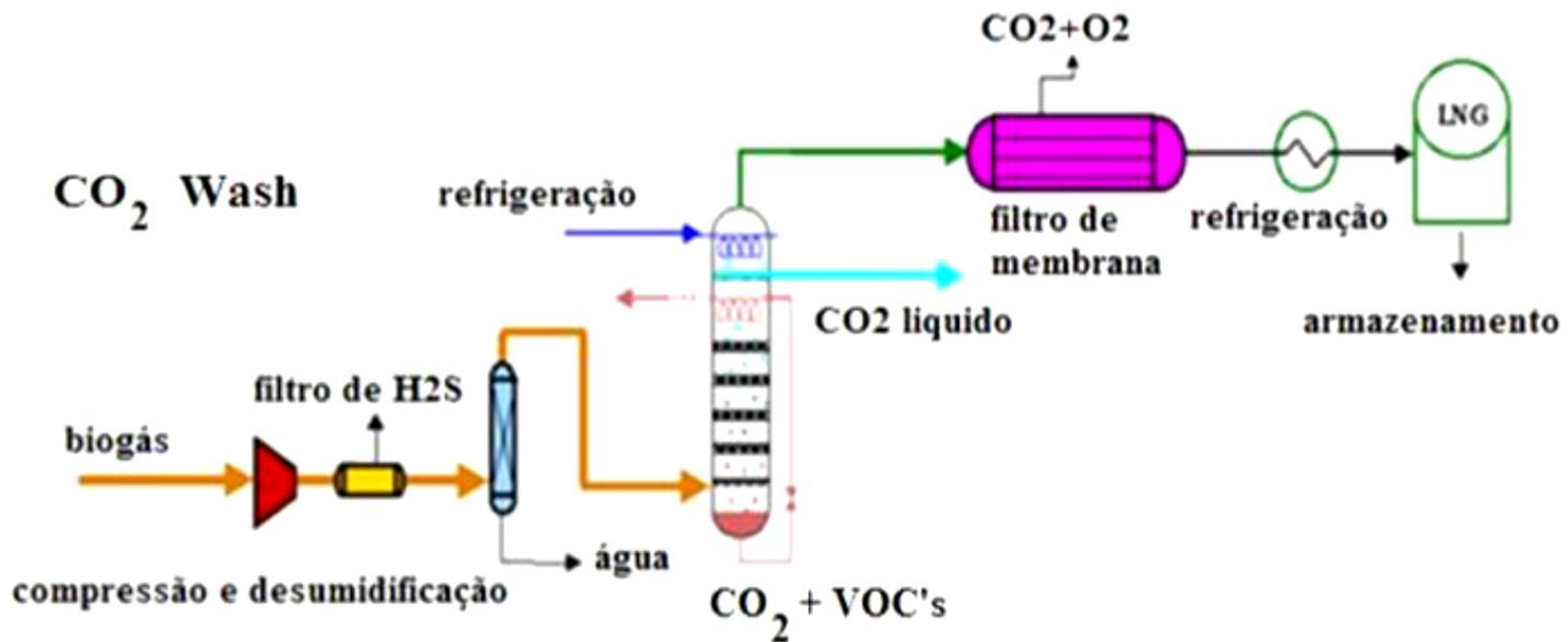
Purificação utilizando CO₂ Wash

O CO₂ Wash, é um processo testado e desenvolvido com sucesso, pela parceria entre Acrion Technologies e Mack Trucks, desde 1995 até 2005 em estações piloto.

- Este método de purificação assenta essencialmente em três etapas:
 - 1ª- Compressão e pré-tratamento do biogás;
 - 2ª - Purificação do biogás;
 - 3ª - Liquefação e armazenamento do biometano.

Purificação do Biogás

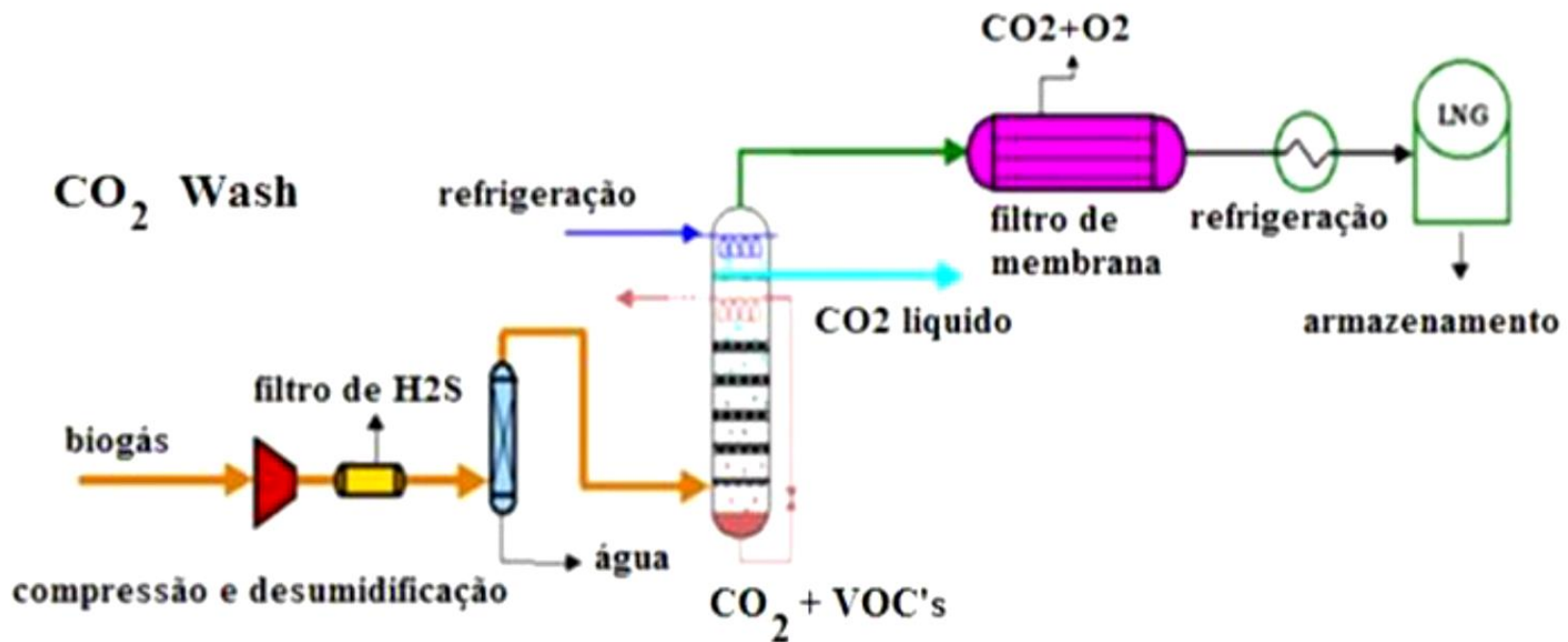
Purificação utilizando CO₂ Wash



Esquema de purificação (CO₂Wash).

Purificação do Biogás

Purificação utilizando CO₂ Wash



Esquema de purificação (CO₂Wash).

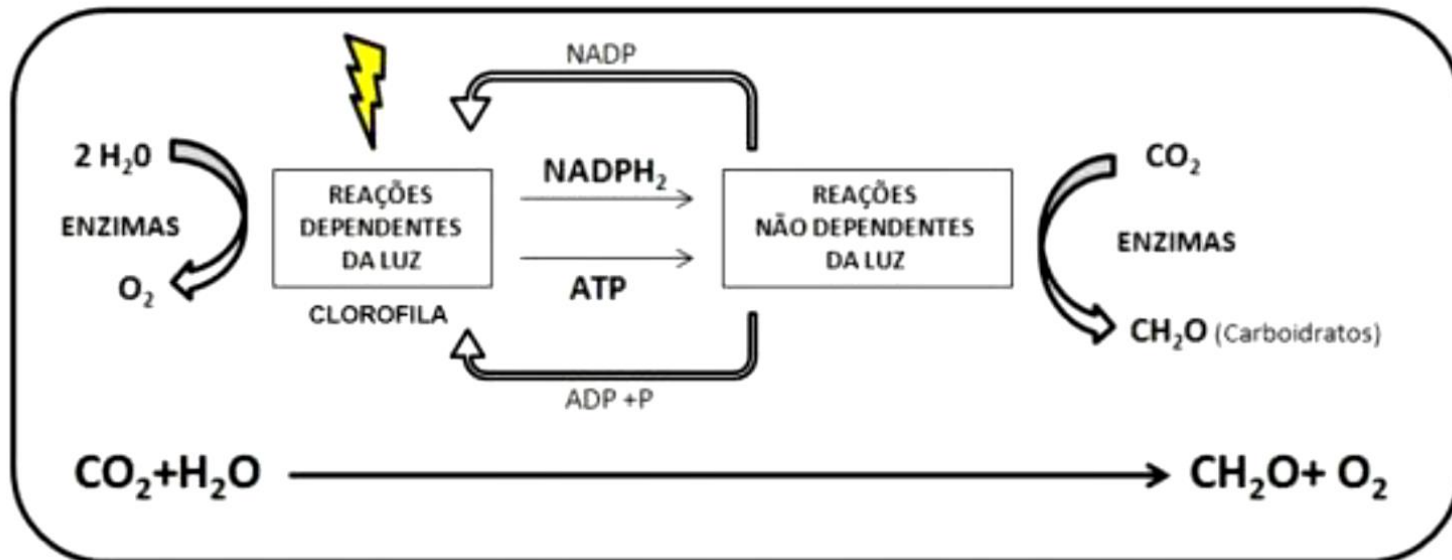
Purificação do Biogás

Purificação biológica de dióxido de carbono

- A fixação biológica de CO_2 pode ser efetuada por plantas e micro-organismos fotossintéticos como as microalgas.
- As microalgas apresentam cerca de 50% de carbono na sua constituição celular, e grande parte deste carbono é proveniente do ar.
- Para a produção de 100 toneladas de biomassa de microalgas são fixados cerca de 183 toneladas de dióxido de carbono.
- A conversão do carbono inorgânico em compostos orgânicos é realizada pelo processo de fotossíntese, dividida em duas fases. Uma fase luminosa (dependente da luz) e outra fase escura (independente da luz).

Purificação do Biogás

Purificação biológica de dióxido de carbono



Esquema simplificado do processo de fotossíntese

- Em comparação aos procedimentos de purificação de biogás implantados atualmente, a aplicação de microalgas surge como uma alternativa de menor custo.
- Além disso, a utilização de microalgas permite a produção de produtos comercializáveis, tais como proteínas e produtos nutracêuticos.

Purificação do Biogás

- Comparação de diferentes processos de purificação, efetuado pela Scandinavian GTS, no que se refere a perdas de CH_4 , que é o componente do biogás que se pretende maximizar na mistura, de modo a que este atinja o maior nível de purificação possível.

	WS	PSA	Criogênica	Membrana
Perda de CH_4 (%)	2 - 8	3 - 23	< 0,5	12

Purificação do Biogás

Para escolher a melhor tecnologia para purificar o biogás, os parâmetros específicos de cada planta devem ser considerados. Também deve notar-se que muitas vezes, é possível reduzir a perda de metano, porém com maior consumo de energia.



Produção de Biogás

Espécie	m ³ de biogás/kg esterco	m ³ de biogás/100 kg esterco
Caprino/ovino	0,040-0,061	4,0-6,1
Bovinos de leite	0,040-0,049	4,0-4,9
Bovinos de corte	0,040	4,0
Suínos	0,075-0,089	7,5-8,9
Franços de corte	0,090	9,0
Poedeiras	0,100	10,0
Codornas	0,049	4,9

Biofertilizante

- Além de água, o líquido efluente, conhecido como biofertilizante, apresenta elementos químicos como **nitrogênio**, **fósforo** e **potássio** em quantidades e formas químicas tais que podem ser usados diretamente na adubação de espécies vegetais através de fertirrigação.

Biofertilizante

- O biofertilizante possui entre 90 a 95 % de água (isto é, 5 a 10% de fração seca do líquido). Nessa base seca, o teor de nitrogênio - dependendo do material que lhe deu origem - fica entre 1,5 a 4% de nitrogênio (N), 1 a 5% de fosfato (P_2O_5) e 0,5 a 3% de potássio (K_2O).

Dimensionamento (volume)

- A seguir são mostrados o consumo de biogás em algumas atividades:

Cozinhar 0,33 m³/pessoa/dia

Chuveiro a gás 0,8 m³/banho

Gerar eletricidade (1kWh) 0,62 m³

Iluminação com lâmpião 0,12 m³/lâmpião/hora

- Considerando uma propriedade com 6 moradores, 1 lâmpião utilizado oito horas por dia e um consumo de energia elétrica de 340 kWh por mês. Calcule o volume do biodigestor a ser construído sendo alimentado com dejetos bovinos para manter esta propriedade durante um mês.
- OBS: considere que cada kg de dejetos produz em média 0,045 m³ de biogás, cada bovino produz em média 7 kg de dejetos por dia, a razão de diluição é de 1 l de água e o TDH de 30 dias.

VANTAGENS

- Recurso energético renovável;
- Energia ecologicamente correta, diminuindo a utilização de recursos fósseis.

DESVANTAGENS

- Gás metano não transformado em gás carbônico contribui diretamente para o efeito estufa e o aquecimento global.

Metano 21x mais estufa que dióxido de carbono





Aplicativo

Plataforma CH4 – Soluções Sustentáveis

Este aplicativo reúne informações técnicas sobre a produção de Biogás e permite acesso direto aos equipamentos necessários para os projetos de geração distribuída de energia elétrica.



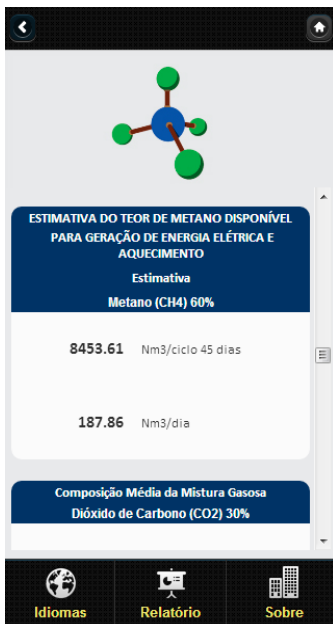
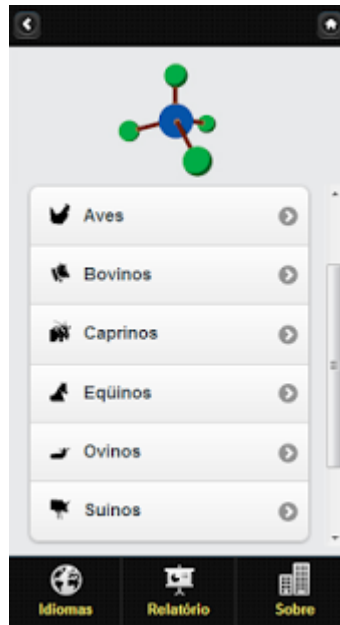
Aplicativo

CH4 – Biogas Simulator

<https://play.google.com/store/apps/details?id=br.com.biogasch4.CH4BiogasSimulator>

Permite avaliar o potencial de produção de biogás em propriedades rurais e unidades de criação animal.





Aplicativo

Resultados fornecidos

- Total de dejetos gerados nas unidades avaliadas
- Estimativa do Potencial de geração de Biogás
- Estimativa do Potencial de geração de energia elétrica por meio da utilização do Biogás
- Estimativa da equivalência energética do Biogás obtido frente a outros combustíveis
- Estimativa da quantidade de Biofertilizante obtido pós biodigestão
- Estimativa da redução nas emissões de carbono
- Economia a ser obtida com a utilização do Biogás

A ENERGIA DE AMANHÃ...



... É O DESAFIO DE HOJE.