

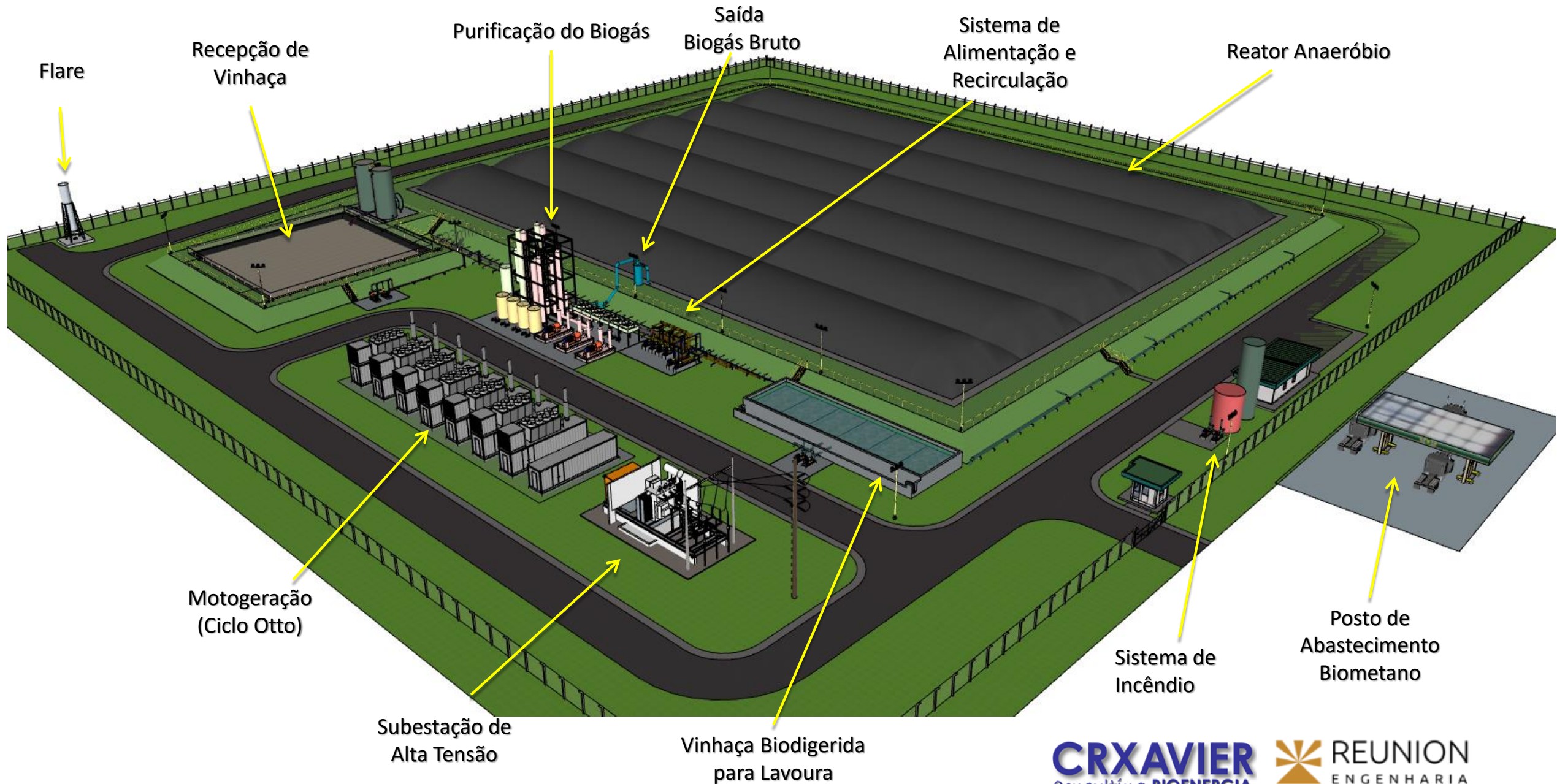
- **STAB - FENASUCRO - 2023**
- **Projeto Biogás/Biometano:**
  - Produção à partir de Vinhaça de Etanol de Cana
  - Potencial Setor Sucroenergético

- **Apresentação:**

- Sobre a CRXAVIER/REUNION;
- Tecnologia de Produção de Biogás/Biometano à partir de Vinhaça;
- Principais Características de Projeto e Operação de Reatores Anaeróbios Metanogênicos, usando como substrato Vinhaça de Etanol de Cana de Açúcar;
- Opções de uso do Biogás e Benefícios do Projeto;
- Premissas;
- Projeto em construção/operação.

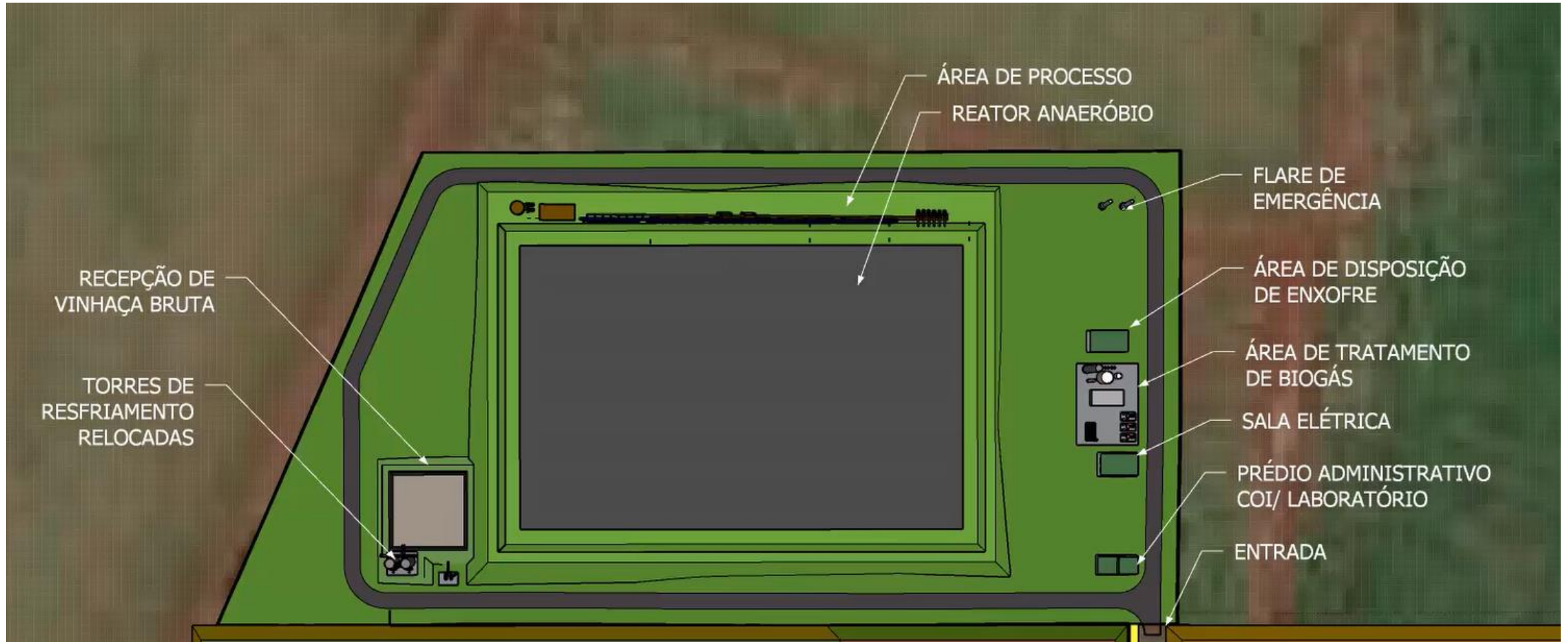
- A **CRXAVIER Consulting Bioenergia Ltda.**, constituída em 2007, por um grupo de empreendedores de altíssima qualificação técnica, profundo conhecimento do Setor Sucroenergético, com mais de 45 anos de experiência em processos de produção de açúcar e etanol, processos bioquímicos, de engenharia, gestão de projetos, operação de plantas completas para produção de energia a partir de vinhaça de etanol, construção de plantas de processos biológicos de produção, descontaminação de Biogás e processos de geração de Biometano e Eletricidade.
- A **REUNION Engenharia Ltda.**, fundada em 17 de junho de 1993, a empresa possui sede em Santana de Parnaíba e filial em Ribeirão Preto, SP. A **REUNION** se destaca pelo número de projetos já realizados, principalmente, no setor Sucroenergético. Entre os Projetos de usinas de açúcar, etanol e indústrias de outros segmentos já implantadas somam mais de 1.000 trabalhos em quase todos os Estados do Brasil e em outros países como Alemanha, Austrália, Áustria, Bolívia, Cuba, Estados Unidos, Filipinas, Ilha da Madeira, Índia e Peru.
- A **CRXAVIER** e a **REUNION** firmaram em 2019, Contrato de Parceria Técnica e Comercial, para implantação de plantas industriais para a produção de Biogás/Biometano e Energia elétrica a partir de resíduos orgânicos do setor sucroenergético, especialmente vinhaça.

# Produção e Uso do Biogás/Biometano de Vinhaça

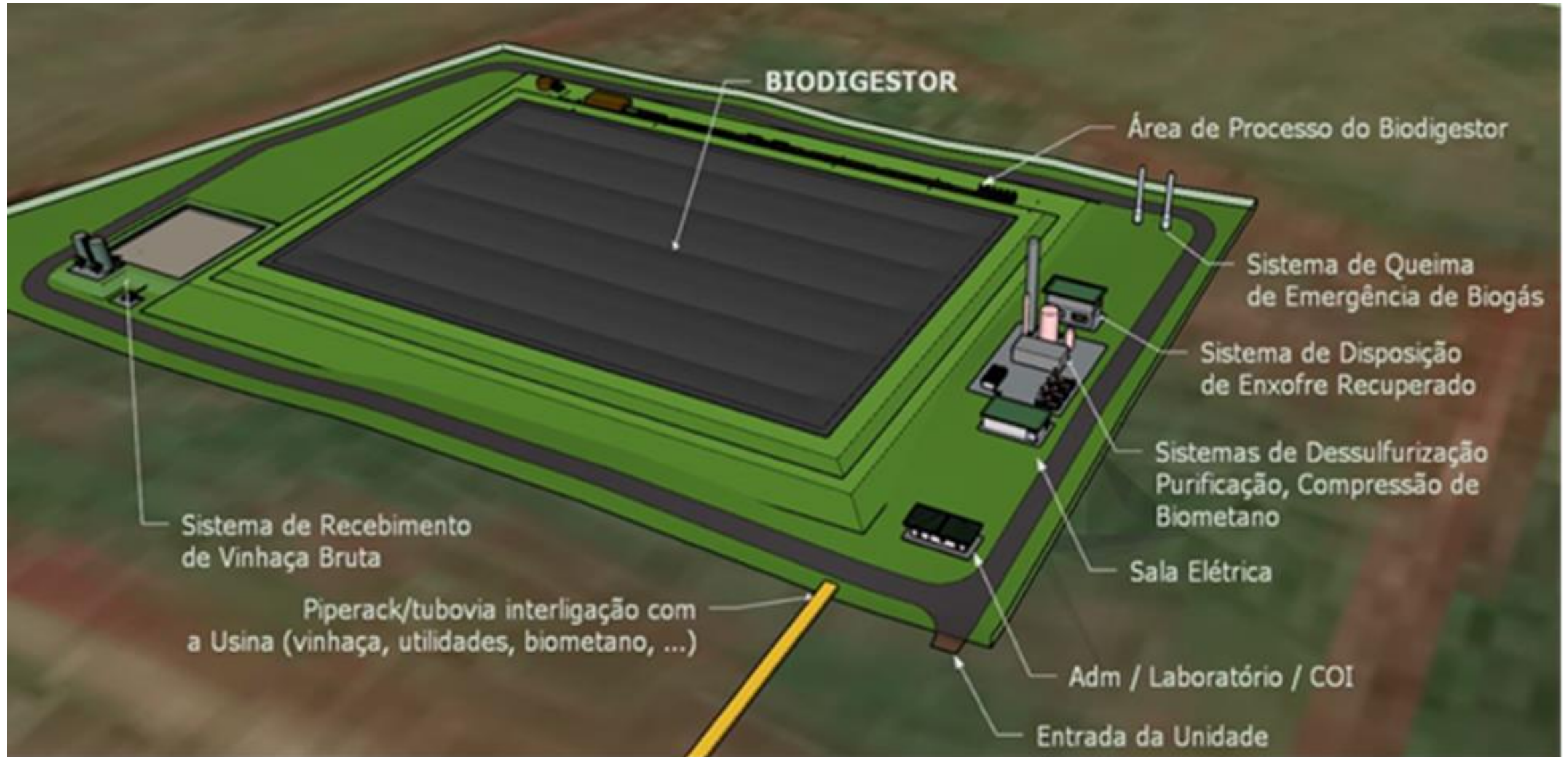




# Produção e Uso do Biogás/Biometano de Vinhaça



# Produção e Uso do Biogás/Biometano de Vinhaça



# Fundamentos da Tecnologia - CRXAVIER

- O reator anaeróbio é projetado considerando as peculiaridades da vinhaça e baseado na utilização dos pontos positivos de cada tipo de reator existente:
  - Maior tempo de retenção hidráulica e maior volume da manta de lodo, similar às **Lagoas Cobertas**, aumentando a resistência do processo (robustez e estabilidade) a variações de vazão e carga orgânica da vinhaça e à presença de compostos orgânicos tóxicos;
  - Fluxo ascendente, similar aos **Reatores UASB**, permitindo o controle das velocidades de escoamento e melhorando a retenção da manta de lodo no reator;
  - Duas câmaras de reação similar aos **Reatores Multicamerais** permitindo melhor processamento de compostos tóxicos e elevando a capacidade de retenção de lodo;
  - Recirculação da fase líquida e do lodo entre as câmaras e saída do reator para a entrada, similar aos **Reatores de Circulação Interna**, possibilitando melhor controle das velocidades e melhor metabolização de compostos orgânicos de baixa digestibilidade.
- Parâmetros Cinéticos, Metodologias de Controle e Rotinas Operacionais são definidas com base na **experiência obtida pela CRXAVIER, na construção e operação** de um Reator Anaeróbio produzindo Biogás Dessulfurizado a partir de vinhaça, **durante 3 (três) safras, com Rotinas de Gestão de Processo, Monitoramento, Operação e Manutenção certificadas:**

“Escopo de Certificação pela BVQI com base nas Normas ISO 9001:2008”

“Desenvolvimento de Processo de Produção de Biogás para Geração de Energia Elétrica”



**O Brasil é um país onde as pessoas acham muito, observam pouco e não medem praticamente nada!**

*Fernando Penteadó Cardoso – Engenheiro agrônomo, fundador da MANAH e fundador-presidente da Fundação AGRISUS*



# O que devemos saber sobre a Tecnologia de Produção do Biogás:

- **Quais serão as condições de alimentação da vinhaça no projeto?**
  - Que variações o projeto pode assimilar quanto a: Volume, DQO, pH, Acidez, temperatura, etc.
- **Qual o impacto das variações de processo e paradas da usina na operação do reator?**
  - O que as variações de processo, interrupção da moagem em função de chuvas e manutenção, uso de antibióticos e/ou ácido sulfúrico, podem acarretar na eficiência e condução do processo?
- **Qual será o consumo de insumos por m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> produzido?**
  - Quantos kWh de Energia elétrica, água, nutrientes, enzimas, alcalinizantes, etc. serão consumidos por Nm<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> produzido?
- **Qual será a taxa de conversão kg DQO para Nm<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> produzido?**
  - Quantos m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> serão produzidos por kg de DQO entrado no Reator?
- **Análise detalhada do balanço de massa do projeto.**
  - Determinar as Taxa de conversão, perdas de processo, eficiências global de processo, resíduos de processo, etc.
- **De quanto será o capital investido R\$/Nm<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> de capacidade instalada?**
  - Qual será o CAPEX por capacidade de produção (R\$/Nm<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> produzido na safra)?
- **Qual será o custo de produção R\$/Nm<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> produzido?**
  - Qual será o OPEX total de produção (R\$/Nm<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> produzido)?



# O que devemos considerar na Operação:

- **Repartida do Processo após a parada na entressafra:**

- Qual será tempo necessário para atingir 100 % da capacidade de produção de  $\text{CH}_4$  , após a parada de entressafra de mais de 4.000h., sem nenhuma alimentação no Reator?.

- **Estabilidade do Processo**

- Como será a estabilidade do Reator com variações de 60 % a 100 % na DQO da vinhaça em um período de 24h?

- **Robustez**

- Qual será a capacidade do Reator de absorver variações de vazão de até 60 % do volume horário de vinhaça?.

- **Taxa de Carregamento**

- Qual a taxa de carregamento prevista para o Reator por 24h (kg de DQO/m<sup>3</sup> de volume do Reator/dia)?

- **Taxa de Conversão**

- Qual será a taxa de conversão máxima e mínima projetada para o Reator?? (Nm<sup>3</sup> de  $\text{CH}_4$  produzido por kg de DQO entrado no Reator)

## Principais Características de Projeto e Operação de Reatores Anaeróbios Metanogênicos, usando como substrato Vinhaça de Etanol de Cana de Açúcar

# Considerações Iniciais – Processo de Digestão Anaeróbia Metanogênica da Vinhaça

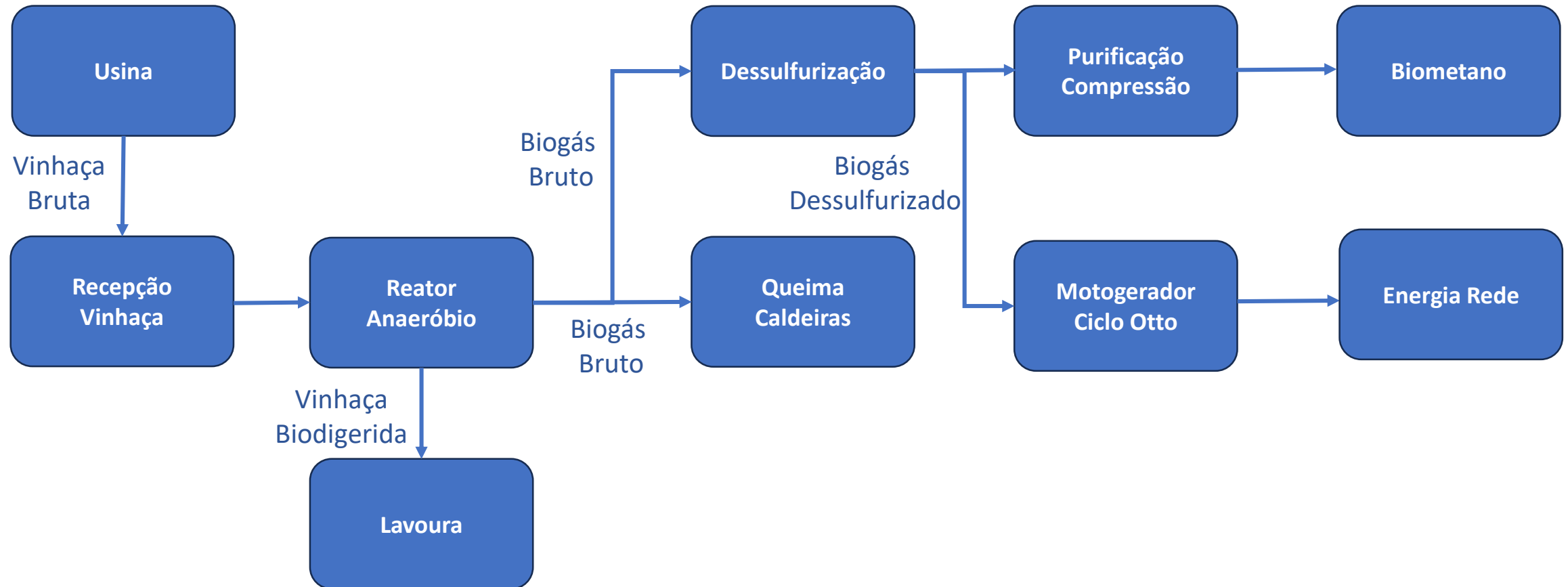
- O objetivo de um Reator que utiliza vinhaça como matéria prima é produzir metano com elevada eficiência e não “tratar o efluente para lançar no meio ambiente”.
- A Digestão Anaeróbia Metanogênica é um processo bioquímico de várias fases reacionais interdependentes (Hidrólise, Acidogênese, Acetogênese, Metanogênese, Sulfetogênese)
- Os microrganismos atuam de forma Sinérgica, quando mais de um microrganismo metaboliza o mesmo substrato e/ou Sintrófica, quando um microrganismo depende do substrato de outro para realizar uma dada linha metabólica.
- Os microrganismos presentes podem se adaptar às condições nutricionais e/ou reacionais e desenvolver linhas metabólicas específicas gerando ao final produtos diversos daqueles pretendidos e/ou desejáveis (Metano, no caso da vinhaça).
- O processo de Digestão Anaeróbia Metanogênica da Vinhaça é multiplamente heterogêneo, tanto em função dos substratos em decomposição (várias moléculas orgânicas presentes na vinhaça) quanto dos tipos de microrganismos envolvidos e produtos formados (Metano, Gás Carbônico, Ácidos Orgânicos, H<sub>2</sub>S, etc.).
- Modelos cinéticos criados para fermentações homogêneas devem ser aplicados com cuidado para produzir Metano a partir da vinhaça, e com adaptações significativas nos parâmetros cinéticos.



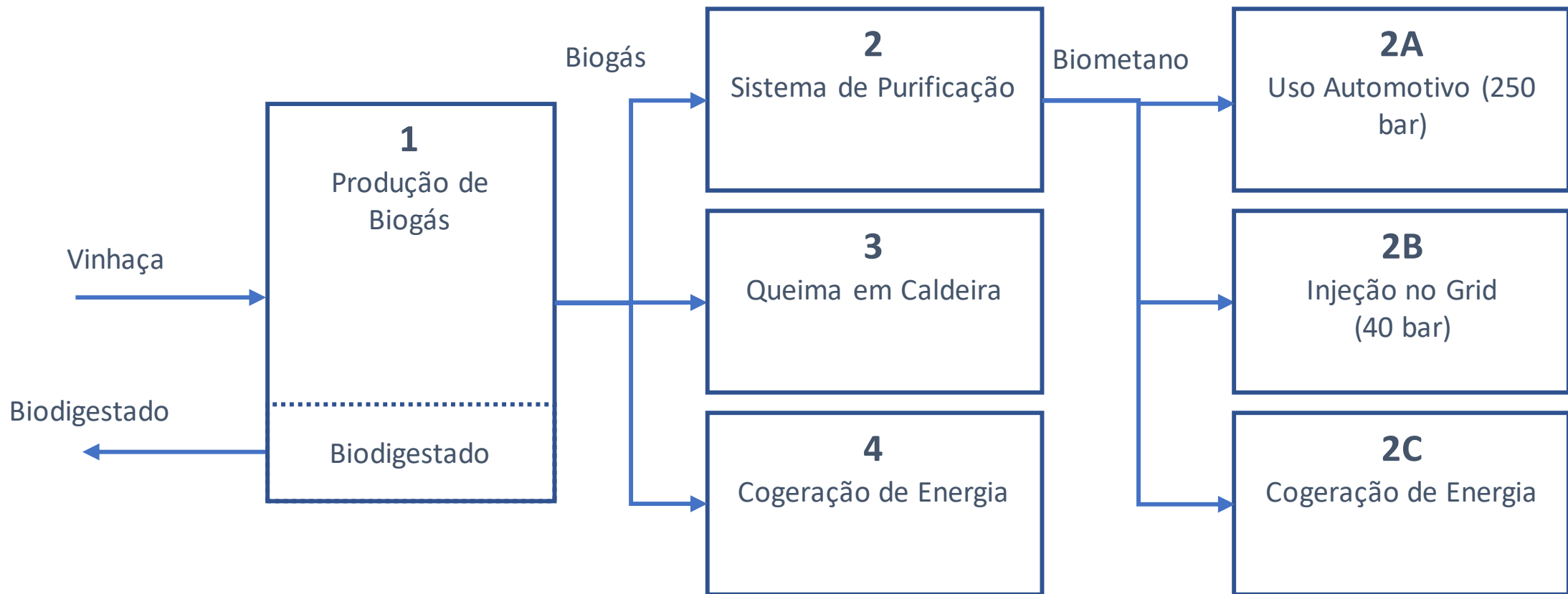
# Processo de Digestão Anaeróbia Metanogênica da Vinhaça

- A quantidade de Metano produzida irá depender da gestão eficiente dos diversos fatores de design e operacionais do reator utilizado, que por sua vez deve ser adaptado às características dos substratos (Vinhaça) e microrganismos envolvidos.
- O principal fator a ser considerado na operação de um reator anaeróbio processando vinhaça é o tipo de Lodo presente no Reator e a forma com que os microrganismos presentes neste Lodo irão efetuar as diversas fases da Digestão Anaeróbia Metanogênica da Vinhaça.
- A utilização de outros substratos em reatores processando vinhaça, especialmente durante a entressafra, deve ser avaliada com cuidado, pois podem comprometer a eficiência da repartida na safra subsequente reduzindo a eficiência de produção de metano.
- Substratos de origem animal irão resultar em um Consórcio de Microrganismos diferentes daquele presente em Reator alimentado com vinhaça.
- As gorduras presentes no substrato serão metabolizadas de forma diferente das proteínas e/ou carboidratos. Os tipos de microrganismos envolvidos podem variar em relação à capacidade de metabolizar os substratos.

# Fluxograma de Processo - VINHAÇA



# Baterias – Possíveis Opções de Uso do Biogás





# Baterias – Possíveis Opções de Uso do Biogás

Opções de Uso do Biogás	Premissas
2A – Uso como Combustível Veicular	Biometano à 250bar de pressão Entregue no Posto dentro da usina Não há conversão de caminhões/veículos
2B – Injeção no Grid da Distribuidora	Biometano à 40bar de pressão Inclui odorização e medição fiscal Não inclui interligação com o grid
2C – Cogeração com Biometano	Biometano entrega a 10bar Inclui motogeradores e subestação Não inclui linha de transmissão e conexão
3 - Queima em caldeiras existentes	Não há dessulfurização Biogás entregue seco à 1bar de pressão Inclui interligação e adequação da caldeira
4 - Cogeração com Biogás	Inclui dessulfurização Biogás entregue seco à 1 bar de pressão Inclui motogerador e subestação Não inclui linha de transmissão e conexão

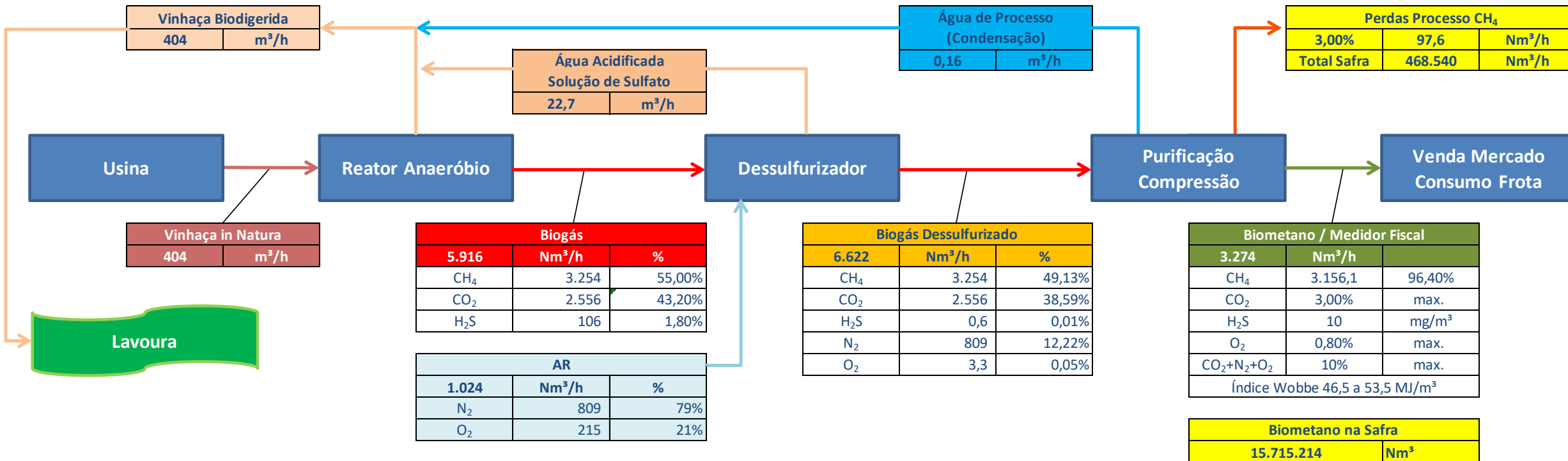
## Premissas de Projeto – Valores de Referência

Dados	Safra	Unidades
Moagem (toneladas/safra)	4.150.000	toneladas
Mix Produção (Cana para Etanol)	55,00%	%
Rendimento Agroindustrial (litros Etanol/tc)	85,0	litros/t de cana
Produção Etanol (m <sup>3</sup> /safra)	194.013	m <sup>3</sup>
Litros vinhaça/Litros Etanol	10	litros
Vinhaça (m <sup>3</sup> /safra)	1.940.125	m <sup>3</sup>
Vinhaça (m <sup>3</sup> /h)	404	m <sup>3</sup>
DQO (kg/m <sup>3</sup> de vinhaça)	35	kg/m <sup>3</sup>
DQO Total safra em toneladas	67.904	toneladas
Dias Corridos de Moagem	230	dias
Aproveitamento do Tempo	87%	%
Dias Efetivos Moagem	200,0	dias
Produção de Biogás m <sup>3</sup> (55% CH <sub>4</sub> )	28.573.116	m <sup>3</sup>
Produção Biometano (Resolução 685 ANP)	15.715.214	m <sup>3</sup>
Economia de Bagaço equivalente	94.291	toneladas
Consumo de Diesel (litros/Safra)	14.940.000	litros

## SIMULAÇÃO DE GERAÇÃO DE BIOMETANO A PARTIR DE VINHAÇA

### Moagem 4.150.000 t/safra

Parâmetros da Usina	Parâmetros do Reator	Parâmetros do Dessulfurizador	Parâmetros da Purificação
194.013 m <sup>3</sup> Etanol 10 m <sup>3</sup> Vinhaça/m <sup>3</sup> Etanol 1.940.125 m <sup>3</sup> Vinhaça 35 kg DQO/m <sup>3</sup> 404 m <sup>3</sup> /hora de vinhaça 200 Dias Efetivos de Moagem 4.800 Horas operação safra 67.904 t de DQO/safra	0,230 Taxa de Conversão (kg DQO/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> ) 15.618.006 m <sup>3</sup> de CH <sub>4</sub> Total safra (100%) 55% Concentração CH <sub>4</sub> no Biogás 28.396.375 m <sup>3</sup> de Biogás total safra 1,80% H <sub>2</sub> S no Biogás	1,00% Excesso de O <sub>2</sub> no Dessulfurizador 21,00% %O <sub>2</sub> no Gás de Injeção no Dessulf. 100 ppm de H <sub>2</sub> S na Saída do Dessulfurizador 2,00% Concentração de Sulfato no Rejeito	3,00% Perda no Processo CH <sub>4</sub> 96,40% Concentração de CH <sub>4</sub> no Biometano 15.715.214 m <sup>3</sup> de Biometano total safra (96,40%)



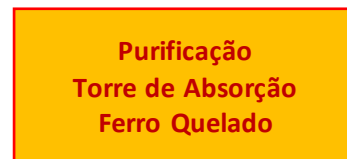
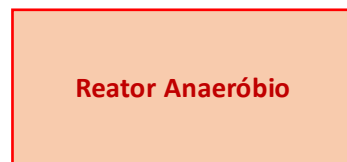


# Premissas Projeto – Biogás/Biometano de Vinhaça

- **Sistemas de Purificação:**

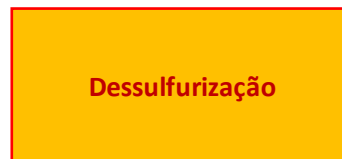
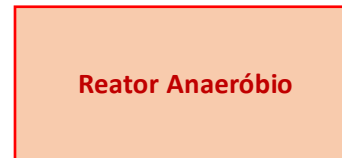
- Opção 1: Processo em desenvolvimento
- Opção 2: Dessulfurização + Purificação

## Opção 1



Biometano - ANP-685

## Opção 2



Biometano - ANP-685

## Dados Produção Total

Vazão Vinhaça Projeto, m<sup>3</sup>/h

Vazão Biogás Projeto, Nm<sup>3</sup>/h

Vazão Metano Projeto, Nm<sup>3</sup>/h

# Projeto de Biogás/Biometano

## Reator e Purificação (Torre de Absorção com Ferro Quelado)

- **Reator:**

- Engenharia
- Terraplenagem
- Geossintéticos
- Serviços Geossintéticos
- Tubulações
- Bombas Centrífugas
- Bombas Helicoidais
- Civil
- Elétrica/Automação
- Instrumentos
- Sistema de Flare

- **Purificação:**

- Compressores
- Purificação
- Insumos

- **Itens Observados para O & M**

- Energia
- M.O. mais encargos
- Manutenção Reator
- Manutenção Purificação
- Insumos

# Projeto de Biogás/Biometano

## Reator e Purificação (Dessulfurização + Purificação)

- **Reator:**
  - Engenharia
  - Terraplenagem
  - Geossintéticos
  - Serviços Geossintéticos
  - Tubulações
  - Bombas Centrífugas
  - Bombas Helicoidais
  - Civil
  - Elétrica/Automação
  - Instrumentos
  - Sistema de Flare
- **Dessulfurização:**
  - Tanques
  - Civil
  - Bombas
  - Tubulações
  - Elétrica/Automação
- **Purificação:**
  - Desumidificador
  - Purificação
  - Compressores
  - Insumos
- **Itens Observados para O & M**
  - Energia
  - M.O. mais encargos
  - Manutenção Reator
  - Manutenção Dessulfurização
  - Manutenção Purificação
  - Insumos

# Rotas de Implantação & Usos – Projeto Biogás/Biometano

- **Oportunidades para agregar valor e reduzir de custos operacionais:**
  - Substituição do Diesel por Biometano;
  - Melhora da NEEA (RENOVABIO + CBIO's );
  - Oportunidade de Comercialização do Biometano remanescente.
- **Alternativas para implantação do Projeto em fases:**
  - **Fase 1 – Produção do Biogás e geração em caldeiras existentes:**
    - *Economia de bagaço aumentando geração na entressafra;*
    - *Melhora de eficiência das caldeiras na queima consorciado com bagaço.*
  - **Fase 2 – Purificação modular e início de conversão de frota:**
    - *Possibilidade de conversão de frota escalonada para o sistema Dual-Fuel (Diesel-Gás);*
    - *Substituição de combustíveis fósseis por Biometano, produzido na própria unidade;*
    - *Independência de variação de preços de Diesel/Gasolina em função dos preços do petróleo.*
  - **Fase 3 – Purificação e venda do para comercializadoras de GN e/ou consumidor final.**
  - **Fase 4 – Conversão total da frota do CTT para Gás.**

# Projeto em Operação – ALBIOMA CODORA ENERGIA S/A



- Dimensões Reator: 176m X 96m X 12m
- Volume Útil: 134.500 m<sup>3</sup>
- Volume de Vinhaça: 440 m<sup>3</sup>/h
- Produção Biogás: 5.500 m<sup>3</sup>/h



- Comissionamento Eletro Mecânico: julho/23
- Comissionamento Biológico: julho/23
- Startup da Planta: agosto 2023
- Uso do Biogás: queima na caldeira consorciado com bagaço



# Projeto em Operação – ALBIOMA CODORA ENERGIA S/A





# Projeto em Operação – ALBIOMA CODORA ENERGIA S/A





# Projeto em Operação – ALBIOMA CODORA ENERGIA S/A



## Projeto em Operação – ALBIOMA CODORA ENERGIA S/A



# Projeto Biogás/Biometano

- **Projeto Biogás/Biometano de Vinhaça:**
  - Benefícios Econômicos
  - Benefícios Energéticos
  - Benefícios Ambientais “RENOVABIO”
  - Benefícios Sociais



# Benefícios do Projeto

- **Econômicos**

- Aumento do valor gerado no Setor Sucroenergético
- Maior aproveitamento do potencial da Cana de Açúcar
- Diversificação das fontes de receita das usinas
- Redução de custos no CTT
- Economia no uso do Bagaço queimando Biogás consorciado nas caldeiras
- Maior volume de emissão de CBIO's

- **Energéticos**

- Nova fonte de energia limpa e renovável
- Substituição Diesel na frota
- Diminuição de dependência de aquisição de Diesel (greves)
- Produção do próprio combustível
- Versatilidade no uso do gás (combustível ou eletricidade)

# Benefícios do Projeto

- **Ambientais**

- Redução de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE):
  - Carga Orgânica na vinhaça se transforma em fonte de Energia Renovável
  - Cada m<sup>3</sup> de Biometano evita a emissão de 2,63kg CO<sub>2</sub> pela substituição do Diesel
  - Ou cada m<sup>3</sup> de Biometano evita a emissão 2,33kg CO<sub>2</sub> na geração de Bioeletricidade
- Redução na possibilidade de contaminação de lençol freático (Nitratos/Nitritos)
- Diminuição da pegada de carbono do açúcar/etanol
- Redução no uso de combustível fóssil (4,0 litros de Diesel/t de cana)
- Melhora na NEEA do RENOVABIO

- **Sociais**

- “Interiorização” (regionalização) e distribuição da tecnologia e infraestrutura
- Empregos de alta qualificação
- Desenvolvimento de know-how nacional
- Mais um ponto de geração de empregos

# NEEA - Nota de Eficiência Energético Ambiental

Moagem - 4,150 milhões t

Etanol Hidratado						Etanol Anidro						Total	Ganhos RENOVIABIO	
NEEA gCO2 eq/MJ	m³ Etanol Hidratado	Volume Elegível %	Massa Específica t/m³	PCI MJ	CBIO'S	NEEA gCO2 eq/MJ	m³ Etanol Anidro	Volume Elegível %	Massa Específica t/m³	PCI MJ	CBIO'S	CBIO's Usina	Valor CBIO (*)	Total Usina Safra
70,00	195.000	90%	0,809	26,38	262.179	0,00	0	0%	0,791	28,26	0	262.179	R\$ 148,50	R\$ 38.933.633

(\*) Contaço fechamento data 06/07/23

Produtores de Etanol  
Brasil - 371  
São Paulo - 159



Produção etanol hidratado e anidro - 2018  
Brasil - 33 milhões de m³  
São Paulo - 16 milhões de m³

Cenário:

Produtor produz e vende: 100 mil m³ etanol hidratado  
50 mil m³ etanol anidro

Volume elegível: 70 %

Nota de Eficiência Energético-Ambiental:  
70 - etanol hidratado  
75 - etanol anidro

CBIOS = NEEA x Volume produzido e vendido x  
% Volume elegível x Massa Específica x PCI



Fonte: site ANP  
Autorizações Etanol- 02/01/2019

$$CBIOS = (70 \text{ g CO}_2 \text{ eq/MJ} \times 100.000 \text{ m}^3 \times 70\% \times 0,809^* \text{ t/m}^3 \times 26,38^* \text{ MJ/kg}) + (75 \text{ g CO}_2 \text{ eq/MJ} \times 50.000 \text{ m}^3 \times 70\% \times 0,791^{**} \text{ t/m}^3 \times 28,26^{**} \text{ MJ/kg}) = 159.339 \text{ CBIOS (*)}$$

(\*) Massa Específica e PCI do etanol hidratado  
(\*\*) Massa Específica e PCI do etanol anidro

Data	Núm. De Negócios	Quantidade (Parte Obrigada)	Quantidade (Parte Não Obrigada)	Total	Preço Mínimo	Preço Médio	Preço Máximo	Valor Financeiro
30/06/2023	152	128.330	166.904	295.234	136,100000	141,287007	145,000000	41.712.728,35
03/07/2023	394	395.700	468.817	864.517	140,000000	147,983037	151,000000	127.933.851,50
04/07/2023	167	98.769	103.075	201.844	142,500000	147,705903	150,000000	29.813.550,35
05/07/2023	158	99.298	122.334	221.632	146,000000	147,074480	148,600000	32.596.411,12
06/07/2023	269	158.440	257.163	415.603	143,000000	145,765279	148,500000	60.580.487,14



**REUNION ENGENHARIA LTDA.**

Rua Boa Vista, 236 – Santana de Parnaíba – SP

CEP - 06529-175 - +55 11 4156-6688

Unidade Ribeirão Preto - +55 16 3623-5384

[www.reunion.eng.br](http://www.reunion.eng.br)



**CRXAVIER Consulting BIOENERGIA LTDA.**

Av. Doutor Agostinho Tucci, 1.659 – Araraquara – SP

CEP 14802-590 – Araraquara - SP

e-mail: [xavier@crxavier.com.br](mailto:xavier@crxavier.com.br)

Tel.: + 55 16 3335-7990 – cel.: (16) 9 8143-4343 / (16) 9 8246-0197

® *Material informativo para reunião. Sua publicação e divulgação deverá ser aprovada por seus autores. Agosto\_2023*

"Não é o mais forte que sobrevive, nem o mais inteligente. Quem sobrevive é o mais disposto à mudança" (Charles Darwin)



# MUITO OBRIGADO

