

Apresentação do livro *Biocombustíveis: dos processos de produção ao mercado*

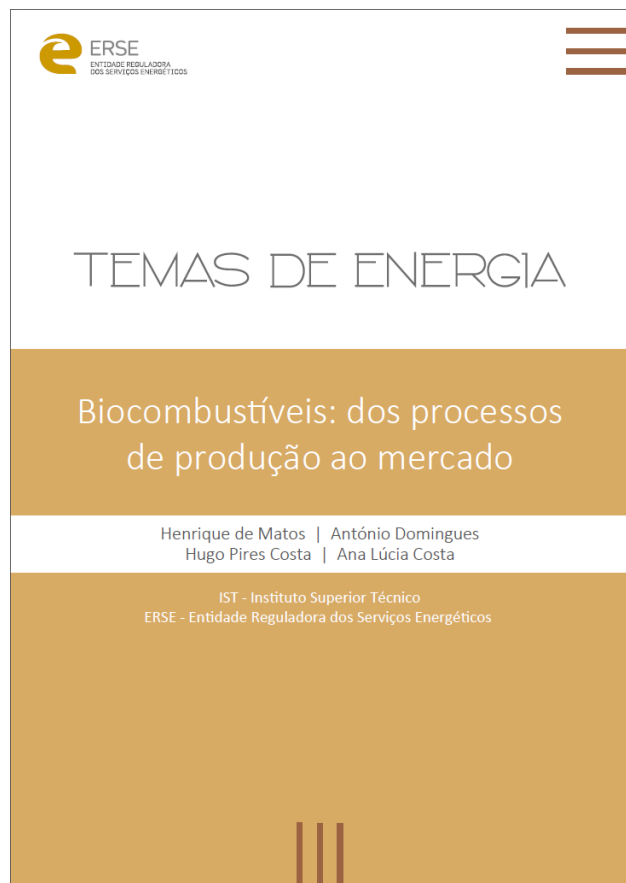
Temas de Energia



ConvERSE: *Os Biocombustíveis na rota da transição energética - Lisboa*

Henrique Matos, Prof. Catedrático, Dep. Química IST (Presidente Departamento)

3 de Março de 2026



330 páginas

Cap. I

Introdução

Cap. II

Biodiesel via Transesterificação

Cap. III

Biocombustíveis via Hidrotratamento

Cap. IV

Bioetanol

Cap. V

Conclusões

- As Matérias-Primas
- Pré-tratamento das matérias-primas
- Métodos de produção – Transesterificação
- Acondicionamento de matérias-primas, produtos intermédios e produtos finais
- Especificações do Biodiesel
- Mercado do Biodiesel

- As Matérias-Primas
- Pré-tratamento das matérias-primas
- Métodos de produção Hidroprocessamento
- Especificações dos combustíveis obtidos via hidrogenação
- Mercado dos HVO e SAF

- As Matérias-Primas
- Pré-tratamento das matérias-primas
- Fermentação
- Destilação
- Fábricas de bio-etanol
- Especificações do bioetanol
- Mercado do bioetanol

✓ HISTÓRICO E PROJEÇÕES DO MERCADO DE BIOCOMBUSTÍVEIS

Perspetivas de curto prazo para a procura global de biocombustíveis



✓ AS OPÇÕES POLÍTICAS PARA A BIOENERGIA

✓ OPÇÕES TECNOLÓGICAS

✓ COMPETIÇÃO POR RECURSOS VS ECONOMIA CIRCULAR

Aproveitamento de resíduos para a produção de biocombustíveis



Óleo alimentar usado

Matéria-prima usada na produção de biodiesel e HVO. Em Portugal responde por aproximadamente 70% da produção nacional. É uma matéria-prima elegível para atribuição de títulos de dupla contagem.

Efluentes industriais

Efluentes industriais podem ser utilizados na produção de biodiesel e HVO. Por exemplo, o efluente da produção de óleo de palma, não sofre restrições de ILUC e é elegível para atribuição de títulos de dupla contagem.



Gordura animal

Matéria-prima para biodiesel e HVO.

Resíduos agrícolas

Os resíduos agrícolas e florestais podem ser utilizados na produção de bioetanol 2G.

Não interferem com a cadeia alimentar e complementam indústrias agroalimentares.

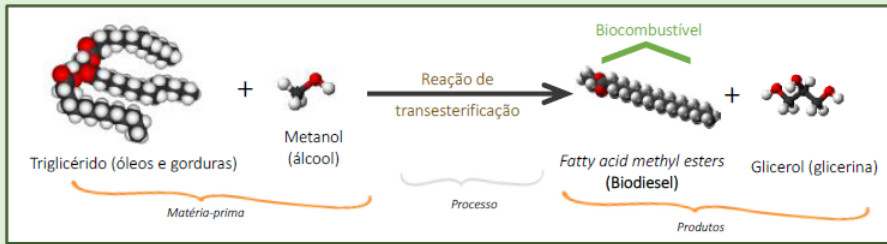


Águas residuais

As águas residuais podem ser tratadas com microalgas – biorremediação.

As algas podem ser utilizadas como matéria-prima para biodiesel e bioetanol. O processo é tecnicamente viável mas carece de demonstração comercial.

Biodiesel: transesterificação



Utiliza óleos vegetais (virgens e usados), gorduras animais e outras fontes de gordura residuais + um álcool de cadeia curta. O biodiesel é um éster, compatível com o gasóleo mas quimicamente diferenciado. O biodiesel é produzido em fabricas dedicadas e tem como subproduto a glicerina.

- ✓ O biodiesel (e os restantes biocombustíveis) são classificados em função das matérias-primas.
- ✓ As matérias-primas utilizadas na produção do biodiesel são um aspeto fundamental;
- ✓ Ex: O tipo de gordura, designadamente o comprimento das cadeias - número de carbonos - e o estado saturado ou insaturado é um aspeto que impacta nas características do biodiesel, como as '*propriedades de inverno*', bem como na tendência para oxidação.

1ª Geração



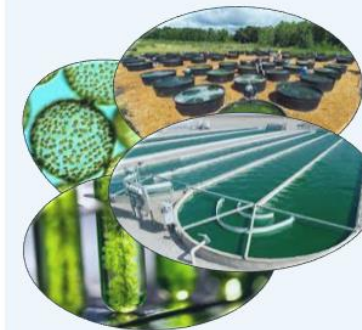
- Tem um **teor de carbono elevado**
- Feito a partir de matéria edível: açúcar, amido de milho, etc.

2ª Geração



- Tem um **teor de GEE inferior aos de 1ª geração**
- Feito a partir de restos de culturas alimentares e biomassa não edível: cascas de arroz, lascas de madeira, etc.

3ª Geração



- É **neutro em carbono** (CO₂ emitido = CO₂ sequestrado)
- Produzido a partir de micro-organismos: algas, etc.

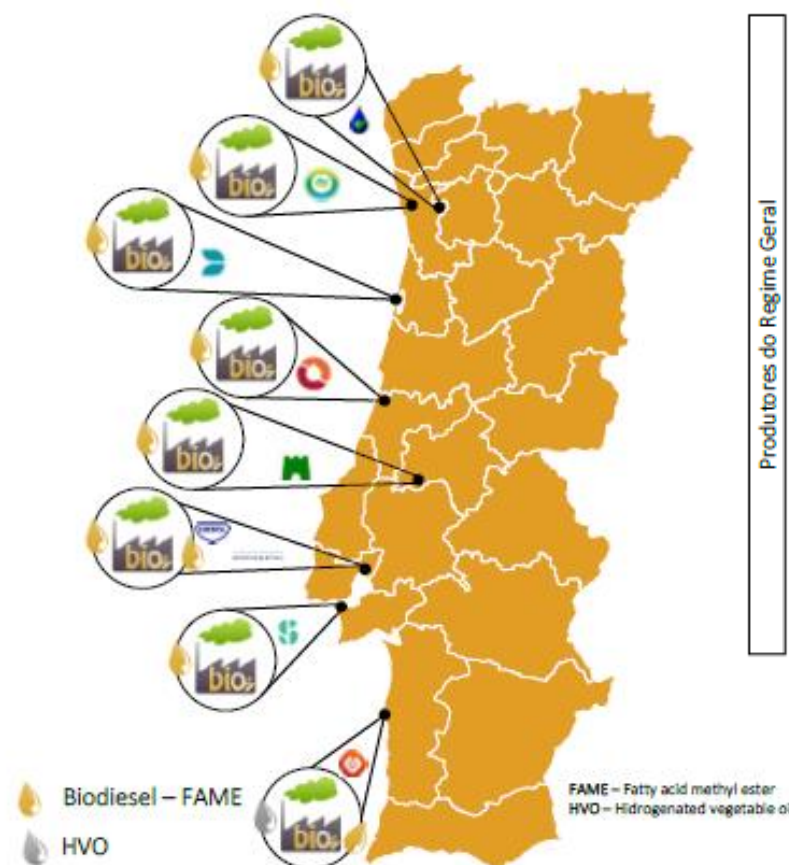
4ª Geração



- São **carbono negativo** (remove + CO₂ da atmosfera do que emite)
- Produzido a partir de "culturas geneticamente modificadas"

Adaptado de: Global Biofuel Alliance ([link](#))

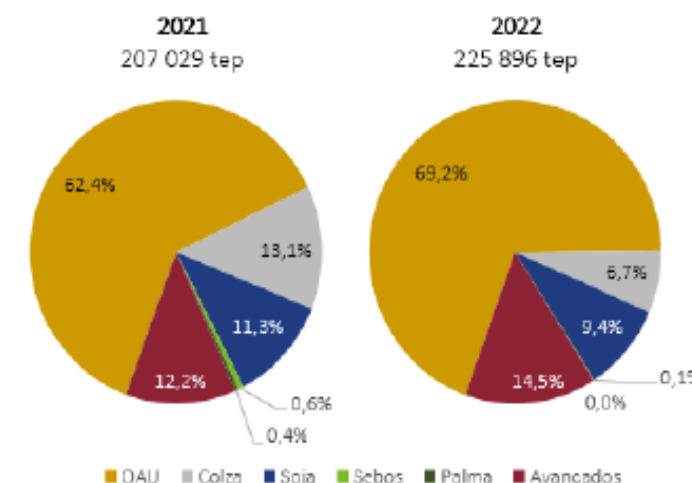
- ✓ A maioria dos produtores nacionais produzem biodiesel através da reação de **transesterificação homogénea alcalina** - o processo de produção de biocombustíveis substitutos do gasóleo mais maduro.
- ✓ O biodiesel produzido em Portugal utiliza como **matérias-primas resíduos**, com especial incidência para os **Óleos Alimentares Usados**.
- ✓ O setor tem forte presença de empresas integradas no retalho de combustíveis (Galp e Prio) e presentes no setor agroindustrial (Sovena, Torrejana, Iberol).



Biodiesel – FAME
HVO

FAME – Fatty acid methyl ester
HVO – Hydrogenated vegetable oil

Caracterização do biodiesel produzido em Portugal, com desagregação por matéria-prima, em tep, nos anos de 2021 e 2022

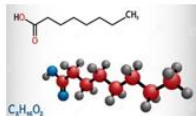
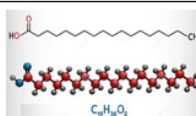
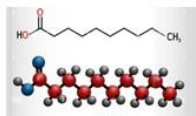
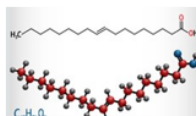
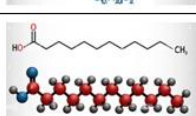
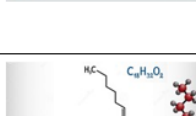
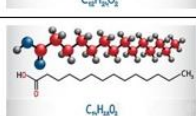
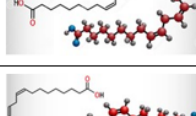
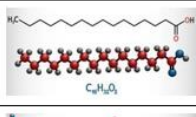
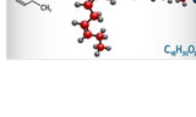
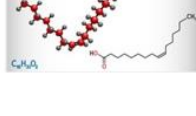
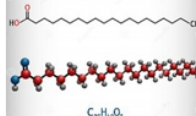


Materias-
primas

Pré-tratamento

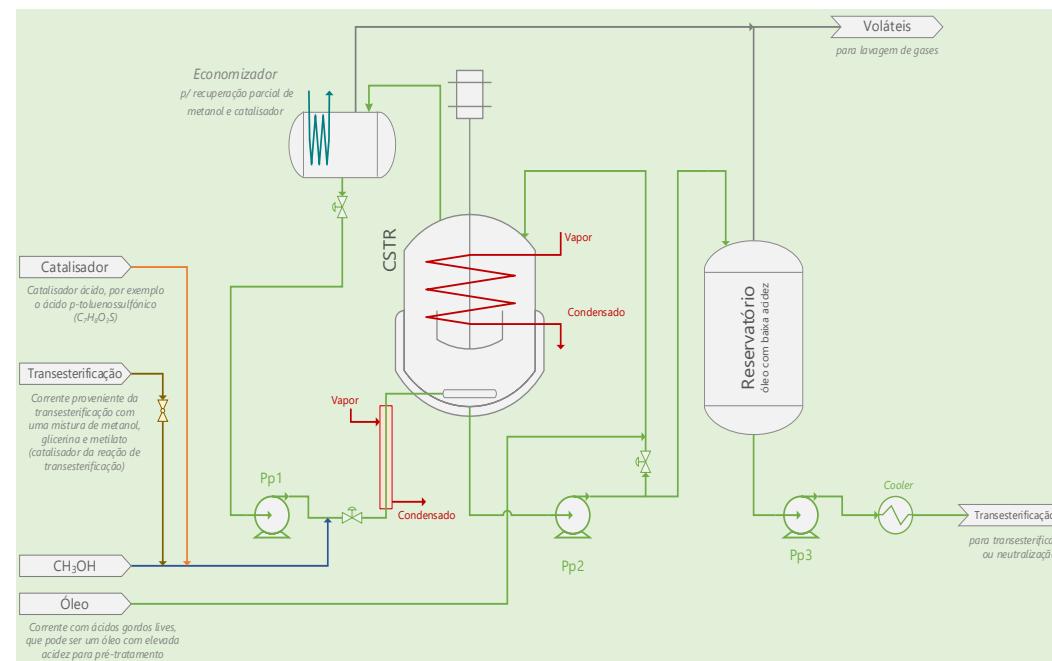
Transesterificação

Biodiesel
(EN 14214)

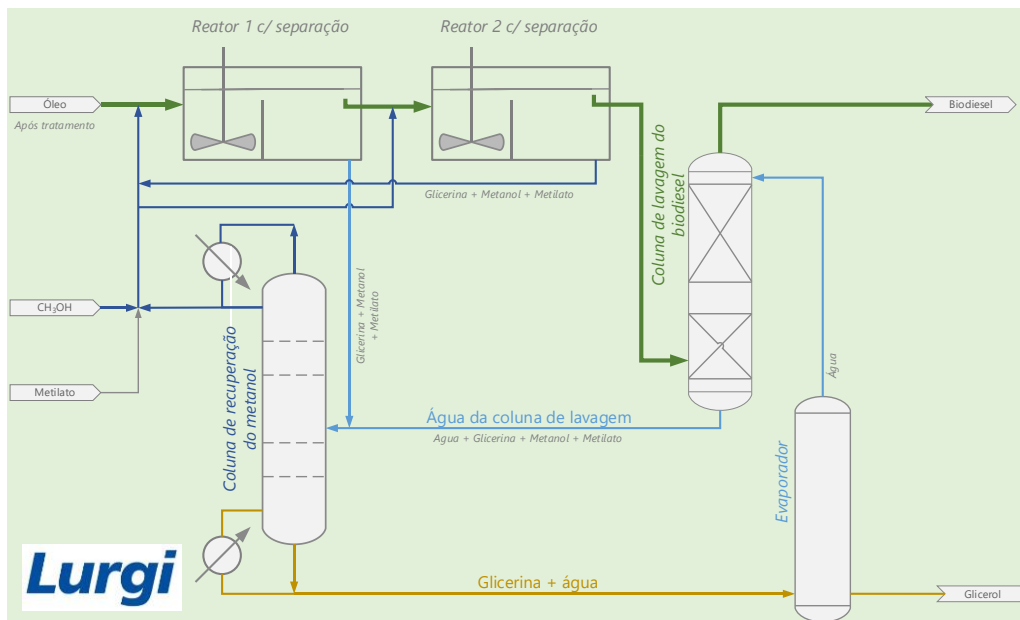
Ácido Gordo	Estrutura	Ácido Gordo	Estrutura
Caprílico (C8:0) Ponto de fusão: 16-17 °C; Ponto de ebulição: 237 °C; Densidade: 910 g/cm³.		Estearico (C18:0) Ponto de fusão: 69,3 °C; Ponto de ebulição: 361 °C; Densidade: 847 g/cm³.	
Cáprico (C10:0) Ponto de fusão: 31,6 °C; Ponto de ebulição: 269 °C; Densidade: 893 g/cm³.		Oleico (C18:1) Ponto de fusão: 13-14 °C; Ponto de ebulição: 360 °C; Densidade: 895 g/cm³.	
Láurico (C12:0) Ponto de fusão: 43,2 °C; Ponto de ebulição: 298,9 °C; Densidade: 880 g/cm³.		Linoleico (C18:2) Ponto de fusão: -5 °C; Ponto de ebulição: 230 °C; Densidade: 900 g/cm³.	
Mirístico (C14:0) Ponto de fusão: 54,4 °C; Ponto de ebulição: 326,2 °C; Densidade: 862 g/cm³.		Linolenico (C18:3) Ponto de fusão: -11 °C; Ponto de ebulição: 232 °C; Densidade: 916 g/cm³.	
Palmitico (C16:0) Ponto de fusão: 62,9 °C; Ponto de ebulição: 351 °C; Densidade: 853 g/cm³.		Araquídico (C20:0) Ponto de fusão: 75,4 °C; Ponto de ebulição: 328 °C; Densidade: 824 g/cm³.	
Palmitoleico (C16:1) Ponto de fusão: -0,1 °C; Ponto de ebulição: ---; Densidade: 894 g/cm³.		Beônico (C22:0) Ponto de fusão: 80 °C; Ponto de ebulição: 306 °C; Densidade: ---.	

- ✓ Eliminação dos AGL;
- ✓ Neutralização dos óleos vegetais;
- ✓ Esterificação ácida;
- ✓ Glicerólise;
- ✓ Remoção de sólidos;
- ✓ Secagem.

- ✓ Catálise alcalina;
- ✓ Catalise ácida;
- ✓ Catalise heterogénea;
- ✓ Catalise enzimática;
- ✓ Supercrítica.

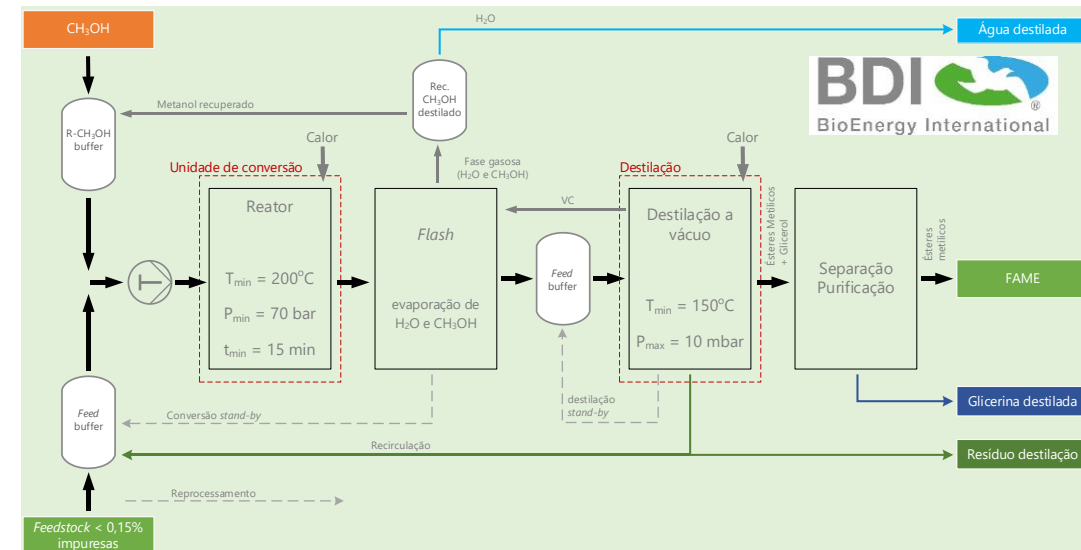
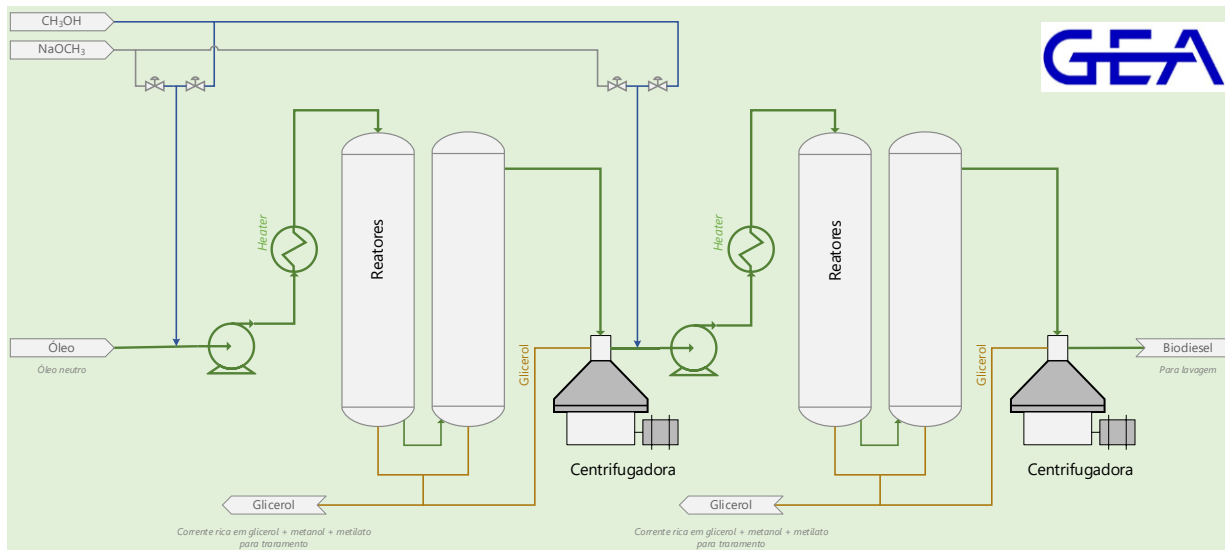
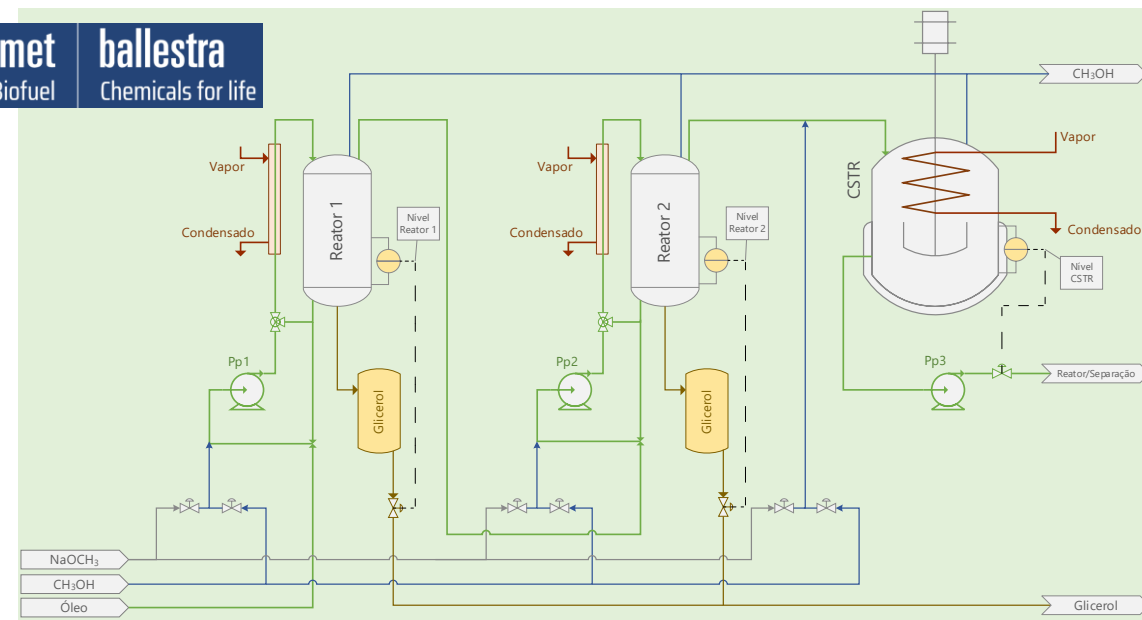


Capítulo II - PRODUÇÃO DE BIODIESEL ATRAVÉS DA REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO (IV)



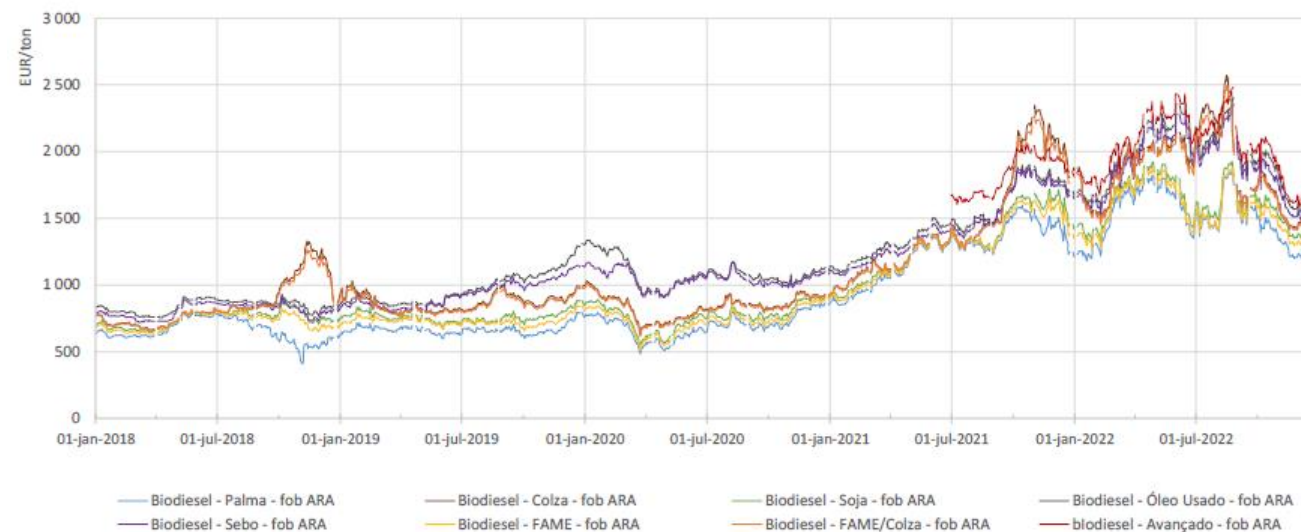
desmet
 Food, Feed & Biofuel

ballestra
 Chemicals for life



- ✓ Valorização do biodiesel, em função das matérias-primas, nos mercados europeu, asiático, sul e norte americano.
- ✓ Caracterização de mercados spot e a prazo de biodiesel, em função das matérias-primas.
- ✓ **Evolução do custo das matérias-primas**, nomeadamente o óleo de palma e colza, bem como o óleo alimentar usado.
- ✓ Evolução da **valorização dos subprodutos**, designadamente a glicerina.
- ✓ **Análise dos custos do biodiesel**, incluindo a sua correlação com os custos das matérias-primas, o impacto de crises de dimensão global como a pandemia de Covid-19, as revisões da RED, entre outras.

Evolução das cotações do biodiesel convencional e avançado, entre 2018 a 2022, a preços fob ARA



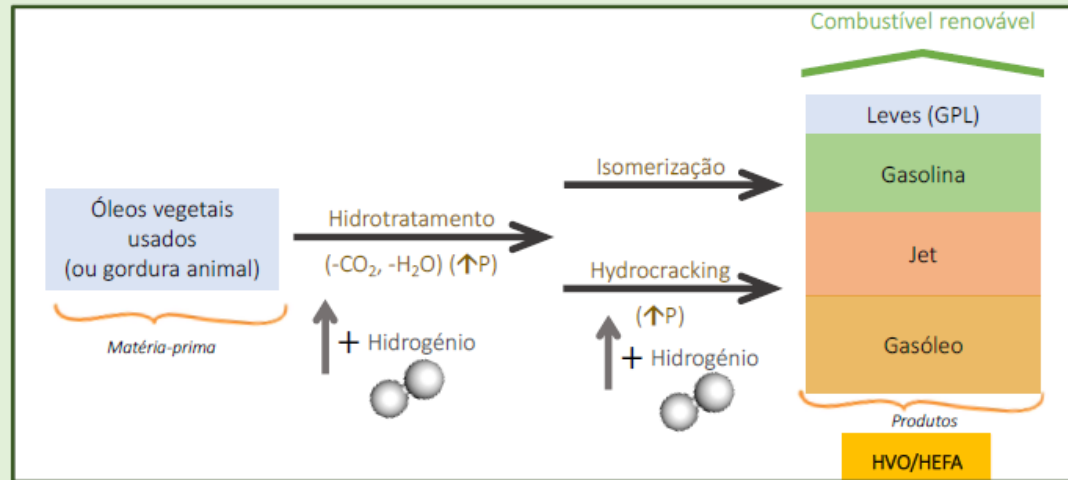
Fonte: Argus Media

Evolução das cotações do biodiesel derivado do óleo alimentar usado, entre 2018 a 2022, no referencial fob ARA e proveniente da China



Fonte: Argus media

HVO/SAF: hidrogenação

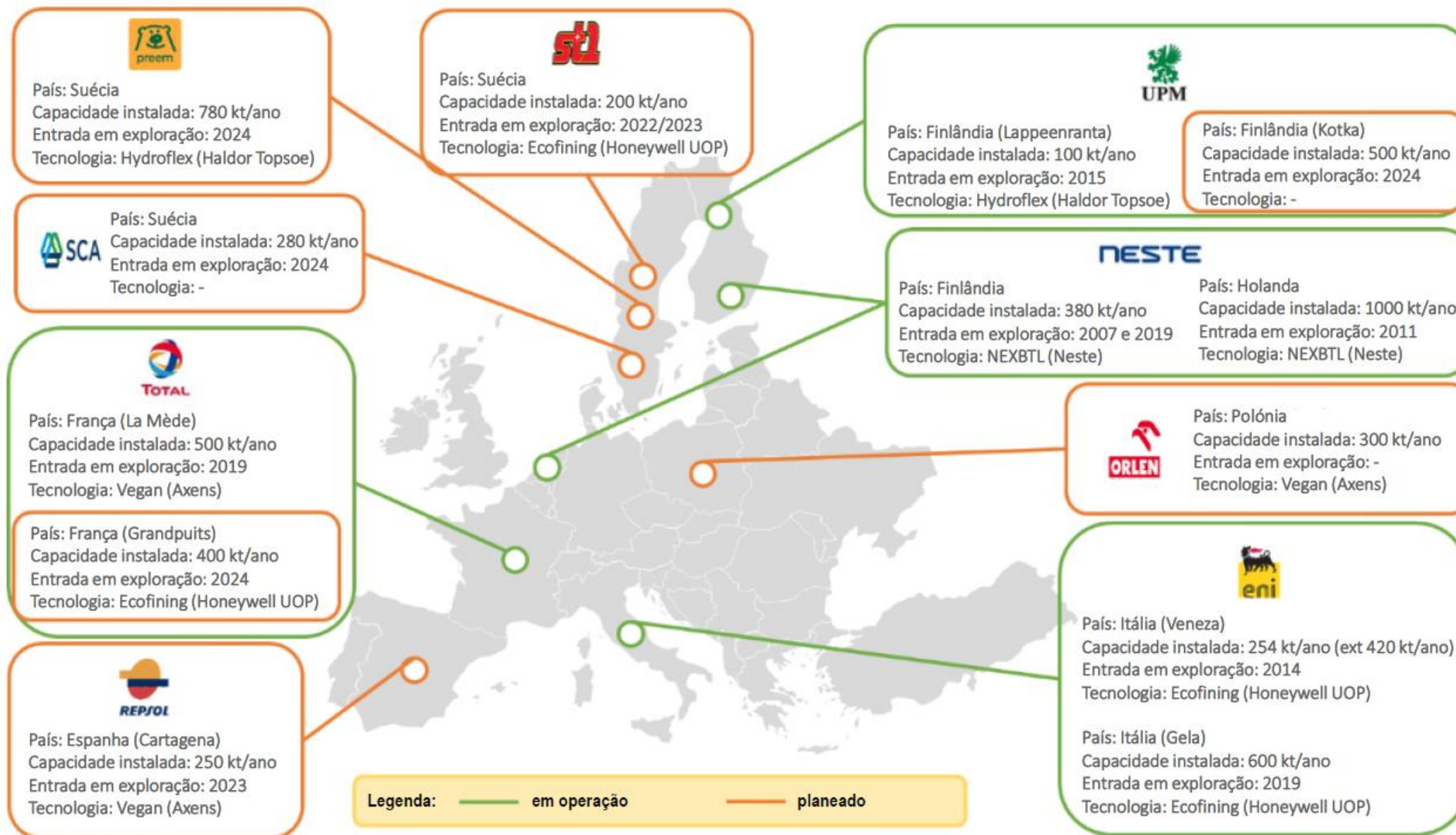


Utiliza óleos vegetais (virgens e usados), gorduras animais e outras fontes de gordura residuais + hidrogénio. Os HVO (*hydrotreated vegetable oils*) são hidrocarbonetos, normalmente parafinas saturadas, quimicamente indiferenciados dos combustíveis fósseis.

Os HVO são produzidos em biorefinarias dedicadas ou em refinarias convencionais, coprocessados com *feedstocks* derivados do petróleo.

O SAF (*Sustainable Aviation Fuel*) obtém-se igualmente por hidrogenação e, tanto a produção de HVO como SAF, tem como coproduto propano renovável (C3).

- ✓ Os HVO e SAF (bem como os restantes biocombustíveis) **são classificados em função das matérias-primas.**
- ✓ As matérias-primas utilizadas na produção do biocombustíveis via hidrotratamento são um aspeto relevante, porém, menos impactante do que seriam se o processo produtivo fosse a transesterificação.
- ✓ Os biocombustíveis obtidos **via hidrotratamento são indistinguíveis quimicamente** dos obtidos através da refinação do petróleo bruto e, nessa medida, **não existem limites ao teor de incorporação nos combustíveis fósseis.**



Materias-
primas

Pré-tratamento

Hidrotratamento

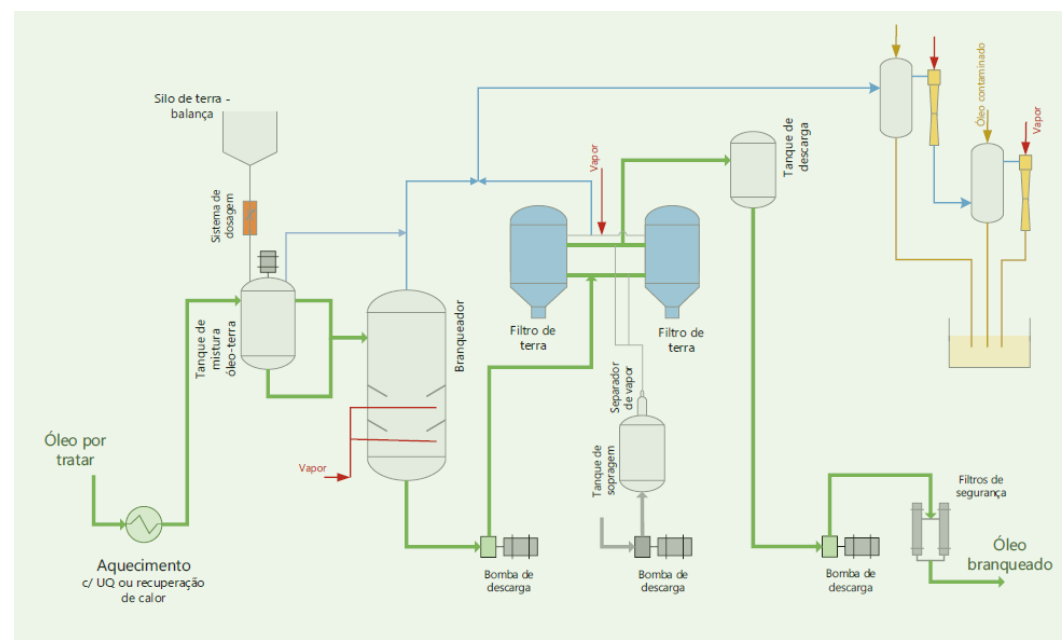
B100 de HVO
EN 15940

Ácido Gordo	Estrutura
Caprílico (C8:0) Ponto de fusão: 16-17°C; Ponto de ebulição: 237 °C; Densidade: 910 g/cm³.	
Cáprico (C10:0) Ponto de fusão: 31,6 °C; Ponto de ebulição: 269 °C; Densidade: 893 g/cm³.	
Láurico (C12:0) Ponto de fusão: 43,2 °C; Ponto de ebulição: 298,9 °C; Densidade: 880 g/cm³.	
Mirístico (C14:0) Ponto de fusão: 54,4 °C; Ponto de ebulição: 326,2 °C; Densidade: 862 g/cm³.	
Palmitico (C16:0) Ponto de fusão: 62,9 °C; Ponto de ebulição: 351 °C; Densidade: 853 g/cm³.	
Palmitoleico (C16:1) Ponto de fusão: -0,1 °C; Ponto de ebulição: ---; Densidade: 894 g/cm³.	

Ácido Gordo	Estrutura
Estearico (C18:0) Ponto de fusão: 69,3 °C; Ponto de ebulição: 361 °C; Densidade: 847 g/cm³.	
Oleico (C18:1) Ponto de fusão: 13-14 °C; Ponto de ebulição: 360 °C; Densidade: 895 g/cm³.	
Linoleico (C18:2) Ponto de fusão: -5 °C; Ponto de ebulição: 230 °C; Densidade: 900 g/cm³.	
Linolenico (C18:3) Ponto de fusão: -11 °C; Ponto de ebulição: 232 °C; Densidade: 916 g/cm³.	
Araquídico (C20:0) Ponto de fusão: 75,4 °C; Ponto de ebulição: 328 °C; Densidade: 824 g/cm³.	
Beicnico (C22:0) Ponto de fusão: 80 °C; Ponto de ebulição: 306 °C; Densidade: ---.	

- ✓ Desgomagem ácida dos óleos vegetais;
- ✓ Branqueamento dos óleos vegetais;
- ✓ Remoção de sólidos;
- ✓ Secagem;
- ✓ Separação/destilação dos AGL.

- ✓ Hidroprocessamento - Biorefinarias;
- ✓ UOP/ENI (ECOFINING®);
- ✓ NESTE (NEXBTL®);
- ✓ HALDOR TOPSOE (HIDROFLEX®);
- ✓ AXENS (VEGAN®);
- ✓ Coprocessamento.



Processo de
branqueamento de
óleos vegetais

UOP/ENI (ECOFINING®)

Bio-refinaria da ENI, em Gela, Itália



Diagrama simplificado do processo UOP/ENI Ecofining®

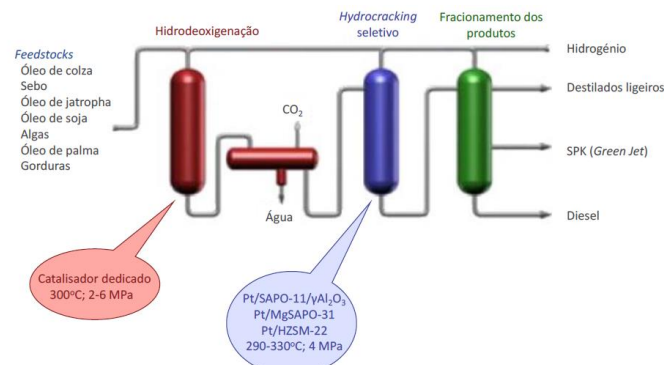
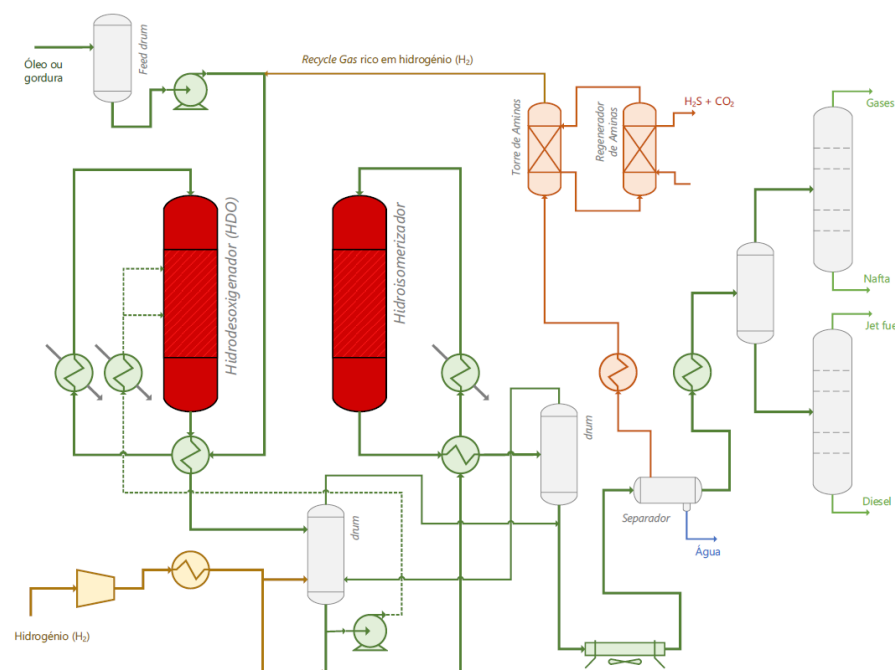


Diagrama processual da unidade de hidroprocessamento – processo UOP/ENI Ecofining®

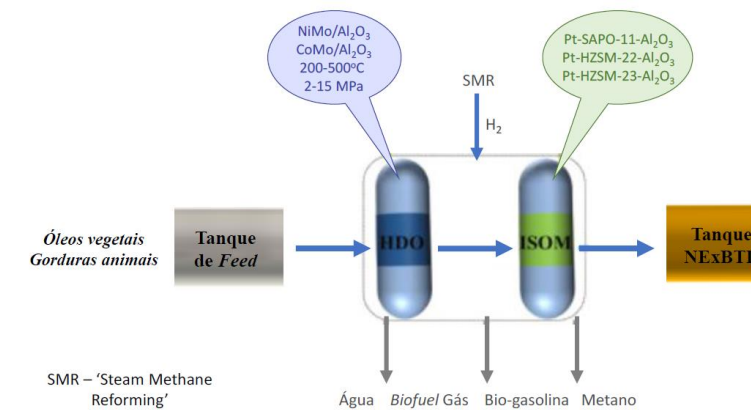


NESTE (NEXBTL®)

Bio-refinaria da Neste, Roterdão, Holanda



Esquema simplificado do processo NExBTL®



HALDOR TOPSOE (HIDROFLEX®)

Diagramas simplificados do processo HydroFlex®



Diagrama simplificado do processo HydroFlex™ em modo 'sour'

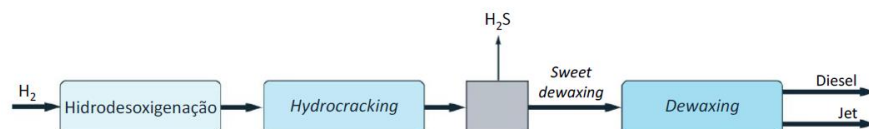
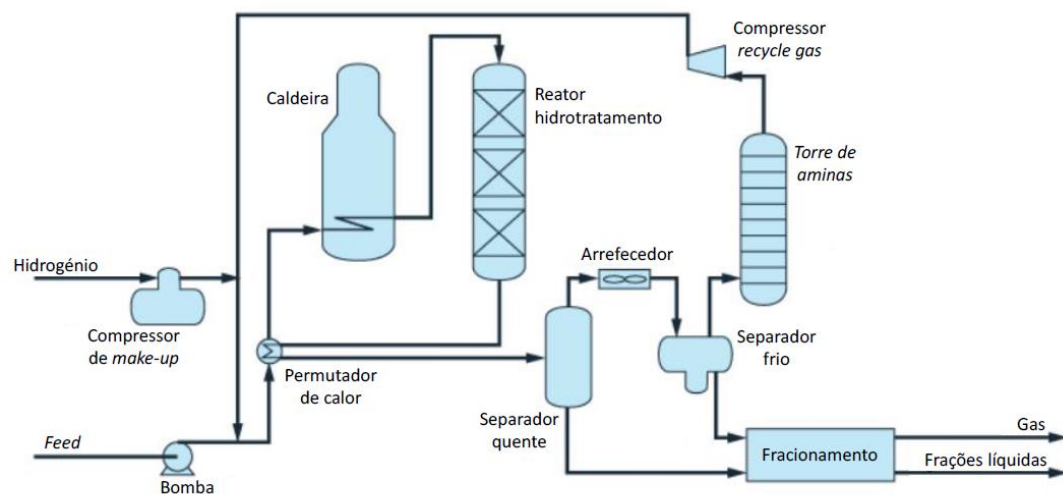


Diagrama simplificado do processo HydroFlex™ em modo 'sweet'

Diagrama processual de uma unidade de hidrotratamento - HydroTech®



Bio-refinaria UPM, Lappeenranta, Finlândia

AXENS (VEGAN®)

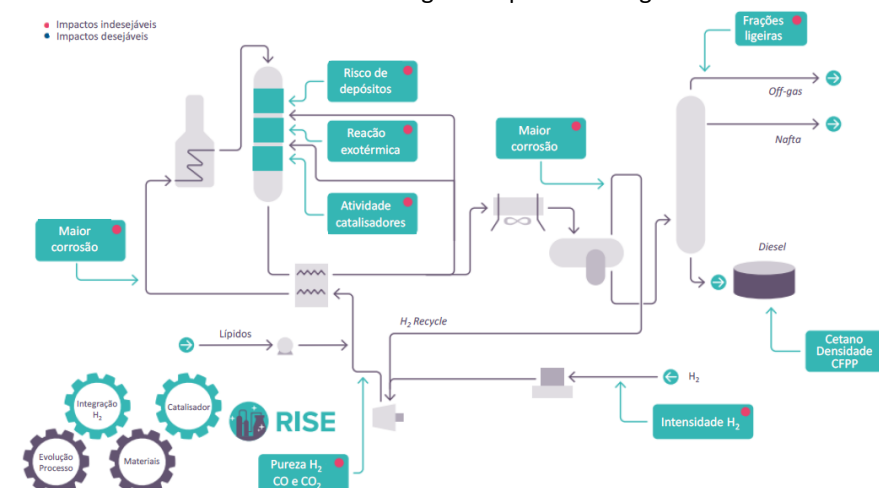
Bio-refinaria da Total, La Mède, França



Esquema do processo Vegan®

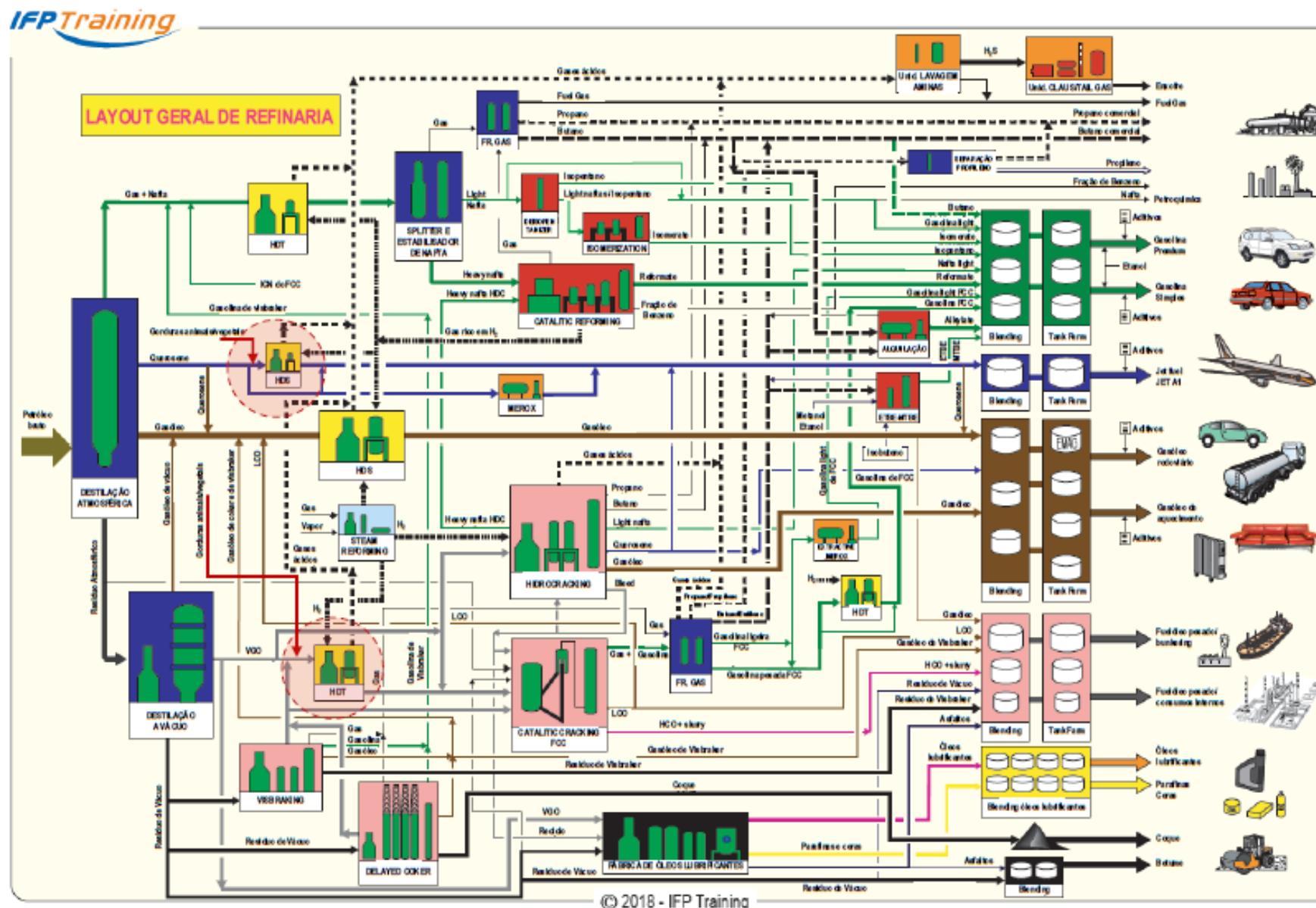


Esquema processual de um revamping, utilizando a abordagem do processo Vegan®



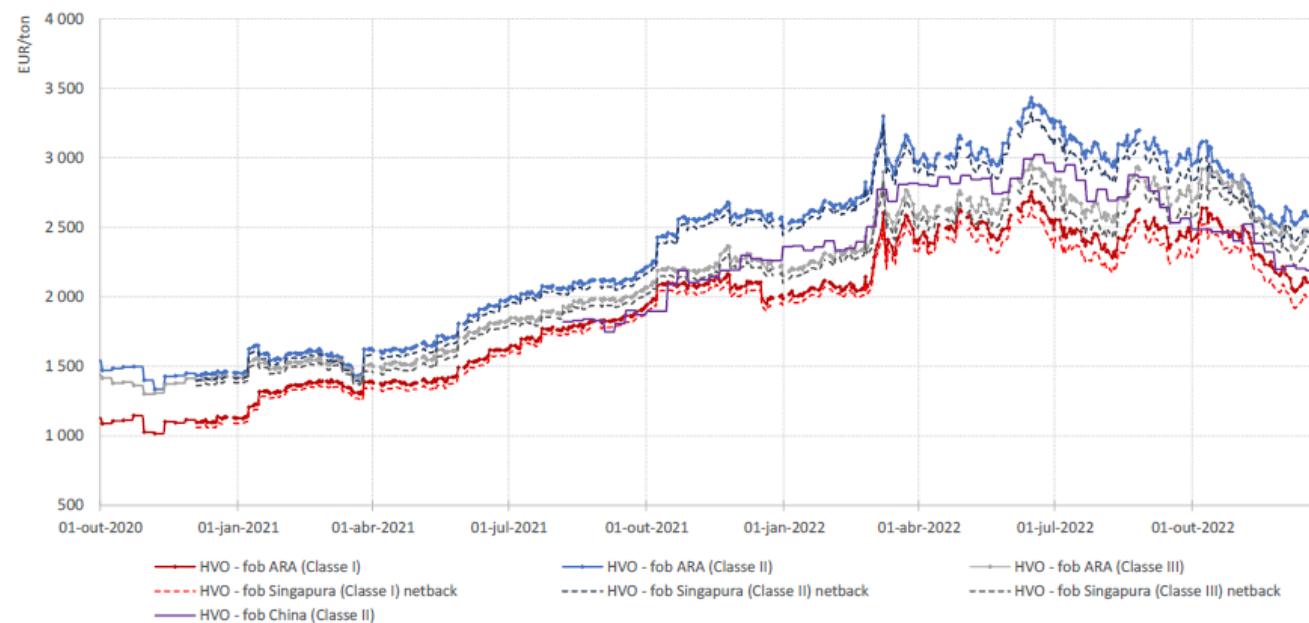
COPROCESSAMENTO – Refinarias Convencionais

Layout Geral de uma Refinaria c/
integração de matéria-prima renovável
(gordura vegetal/animal)

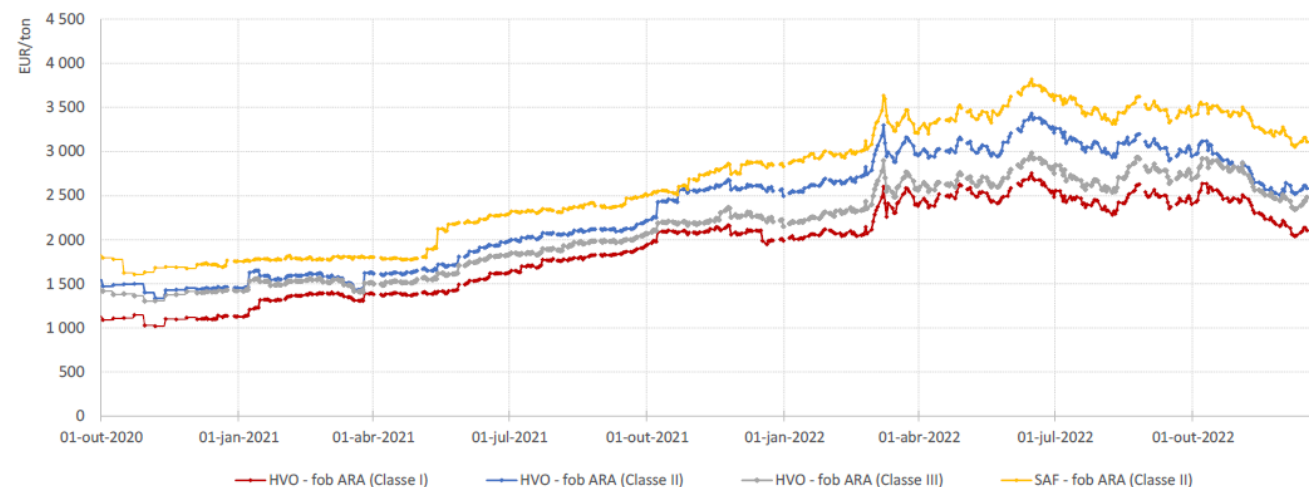


Evolução das cotações dos HVO, entre setembro de 2020 a 2022, a preços fob ARA e com proveniência asiática (fob Singapura e fob China)

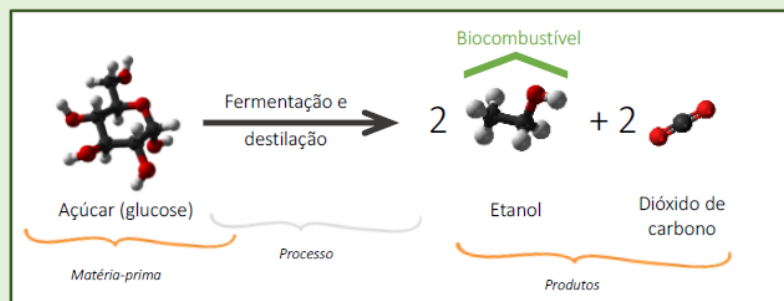
- ✓ Valorização do HVO e SAF, em função das matérias-primas, no mercado europeu e asiático.
- ✓ Caracterização de mercados spot.



Evolução das cotações dos SAF e HVO, entre setembro de 2020 a 2022, a preços fob ARA

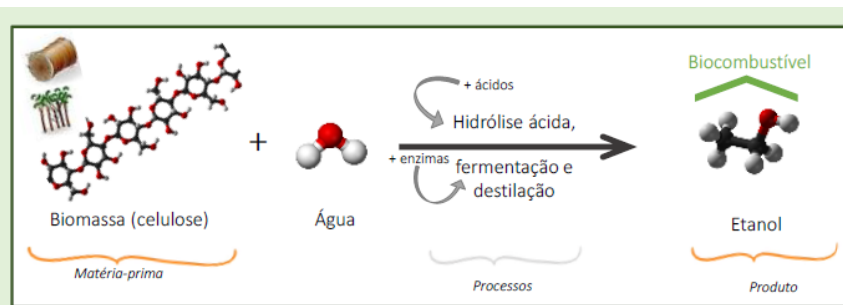


Etanol: fermentação



Converte carboidratos em etanol.

O bioetanol 1G utiliza matérias-primas como a cana-de-açúcar, beterraba, milho, mandioca, etc. Nas culturas açucareiras, como a cana e a beterraba, os açúcares fermentáveis são simples de extrair. Nas culturas amiláceas, como o milho e outros cereais, o amido tem que ser hidrolisado para se obter glucose fermentescível.



O bioetanol 2G utiliza biomassa lignocelulósica, tendo processos de pré-tratamento e hidrólise mais complexos. A produção de bioetanol 2G ainda não beneficia de tecnologias maduras.

- ✓ O bioetanol (bem como os restantes biocombustíveis) são classificados em função das matérias-primas.



Matérias-primas elegíveis para a produção de bioetanol

Substratos solúveis: sacarose, glicose, frutose e lactose podem ser facilmente extraídos e convertidos em produtos. Exemplos: cana-de-açúcar, beterraba, melão, soro de leite.



Polissacarídeos insaturados de material amiláceo: onde há necessidade de pré-tratamento para solubilização e hidrólise.

Exemplos: Milho, mandioca, trigo, cevada, batata.

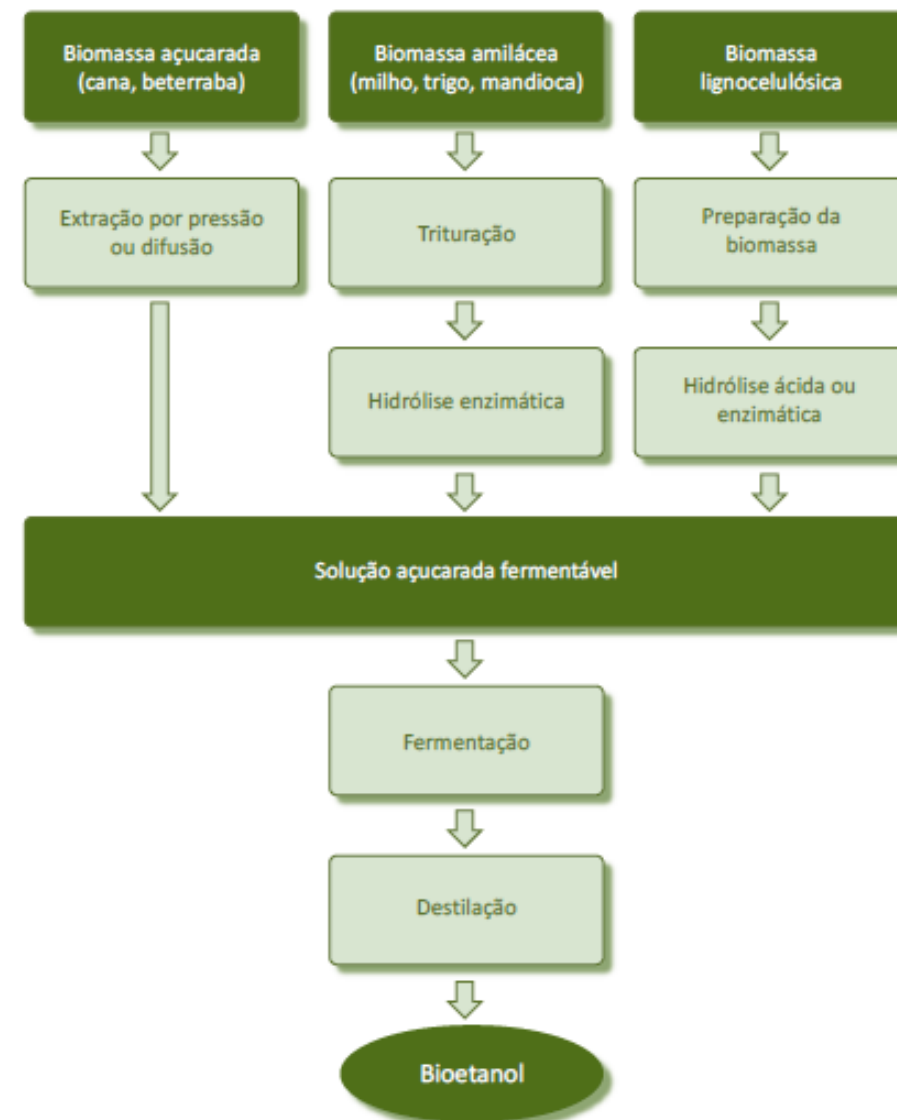
Polissacarídeos insolúveis: material de origem celulósica, hemicelulósica.



Algas e microalgas, com conteúdo elevado em carboidratos.



Rotas tecnológicas para a produção do bioetanol



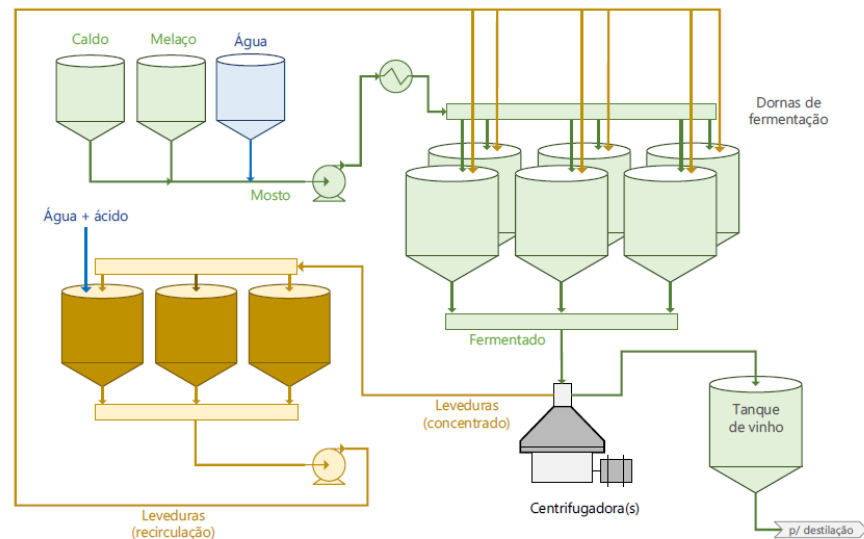
Unidade de fermentação de uma fábrica de bioetanol - processo *batch*



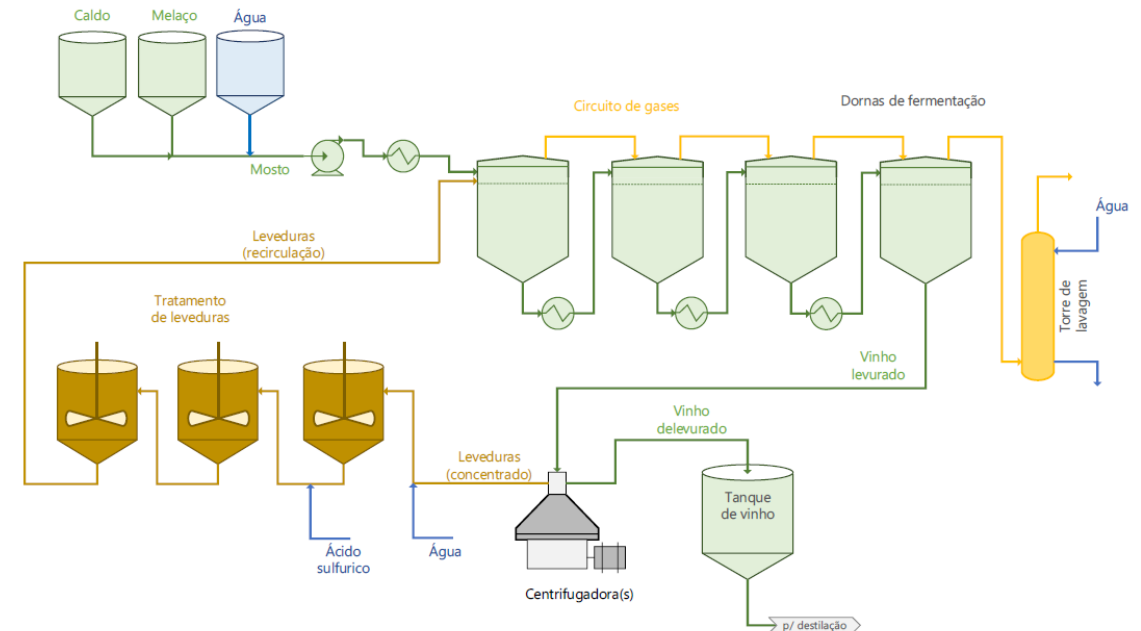
Unidade de fermentação de uma fábrica de bioetanol - processo contínuo



Processo de fermentação *batch*, com reaproveitamento de levedura

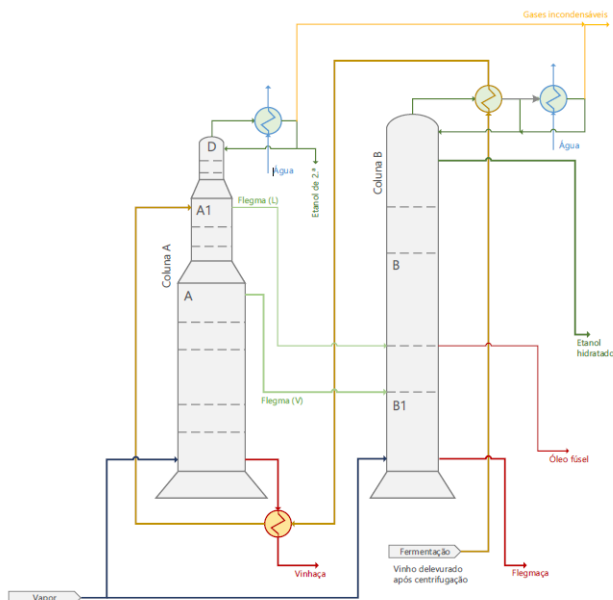


Processo de fermentação contínuo, com reaproveitamento de levedura

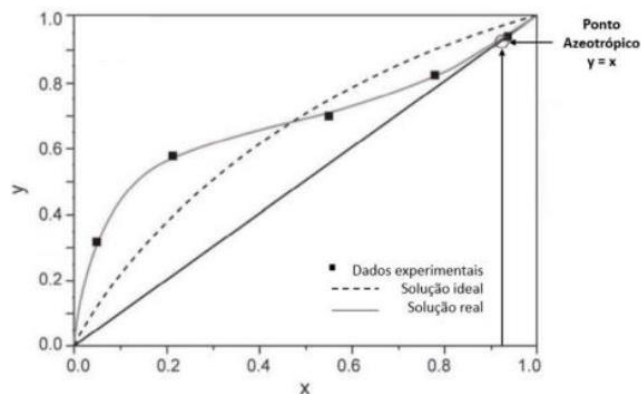


Capitulo IV - PRODUÇÃO DE BIOETANOL (IV)

Diagrama processual da destilação convencional para produção de etanol hidratado

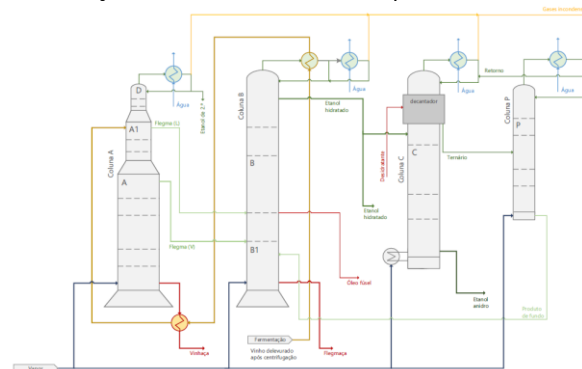


Curvas de equilíbrio líquido-vapor para a mistura binária etanol-água

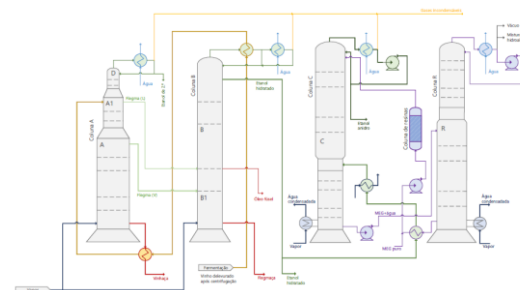


06/03/2026

Destilação convencional + azeotrópica



Destilação convencional + extração por intermédio do monoetilenoglicol (MEG)



Destilação convencional + sistema de purificação de etanol em peneiros moleculares

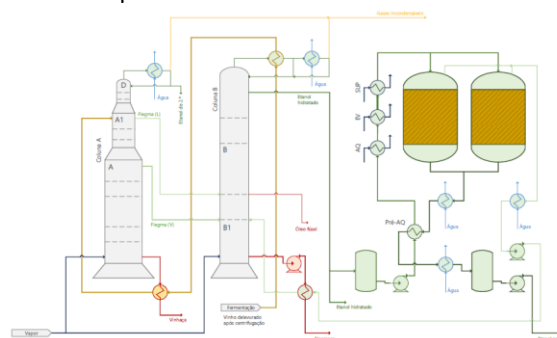
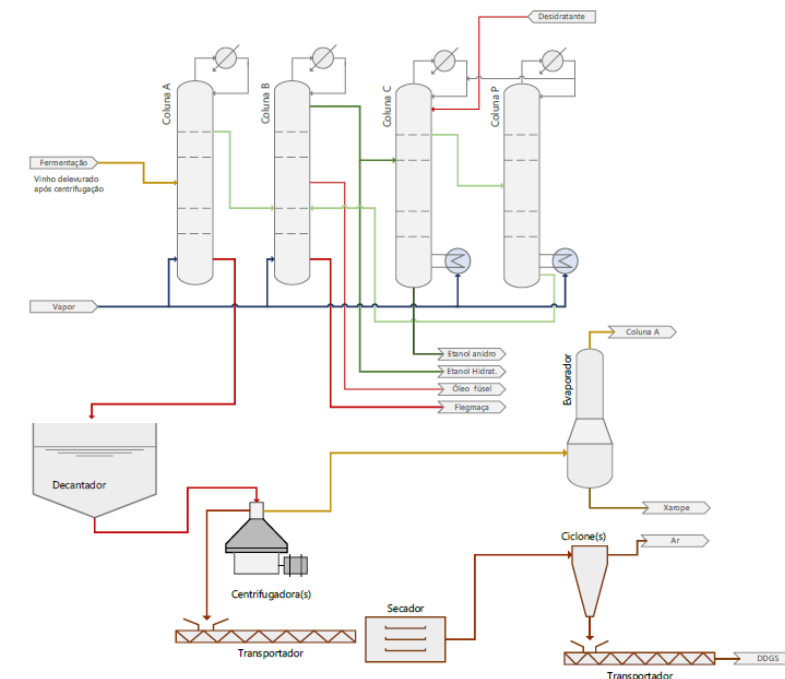
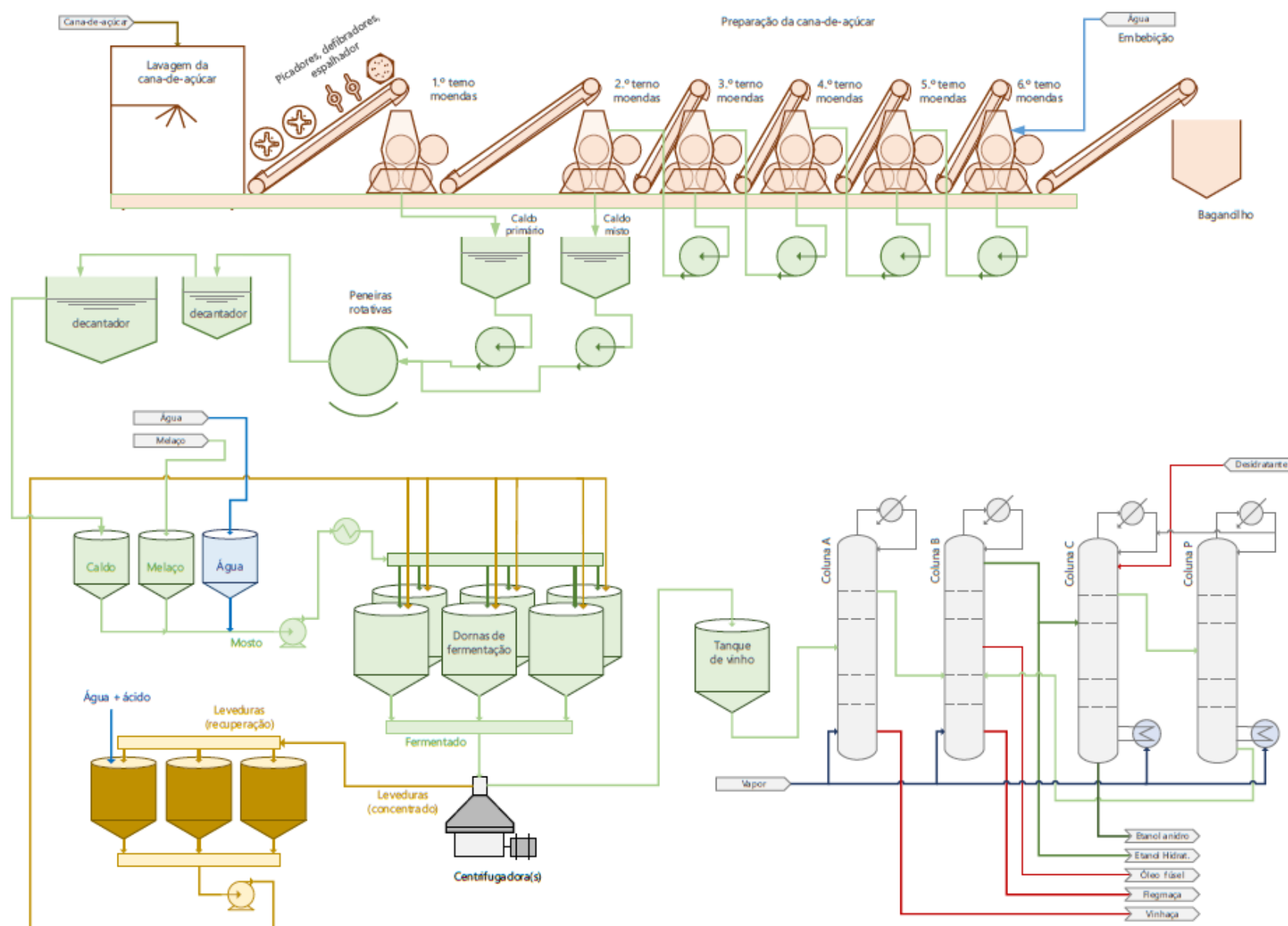


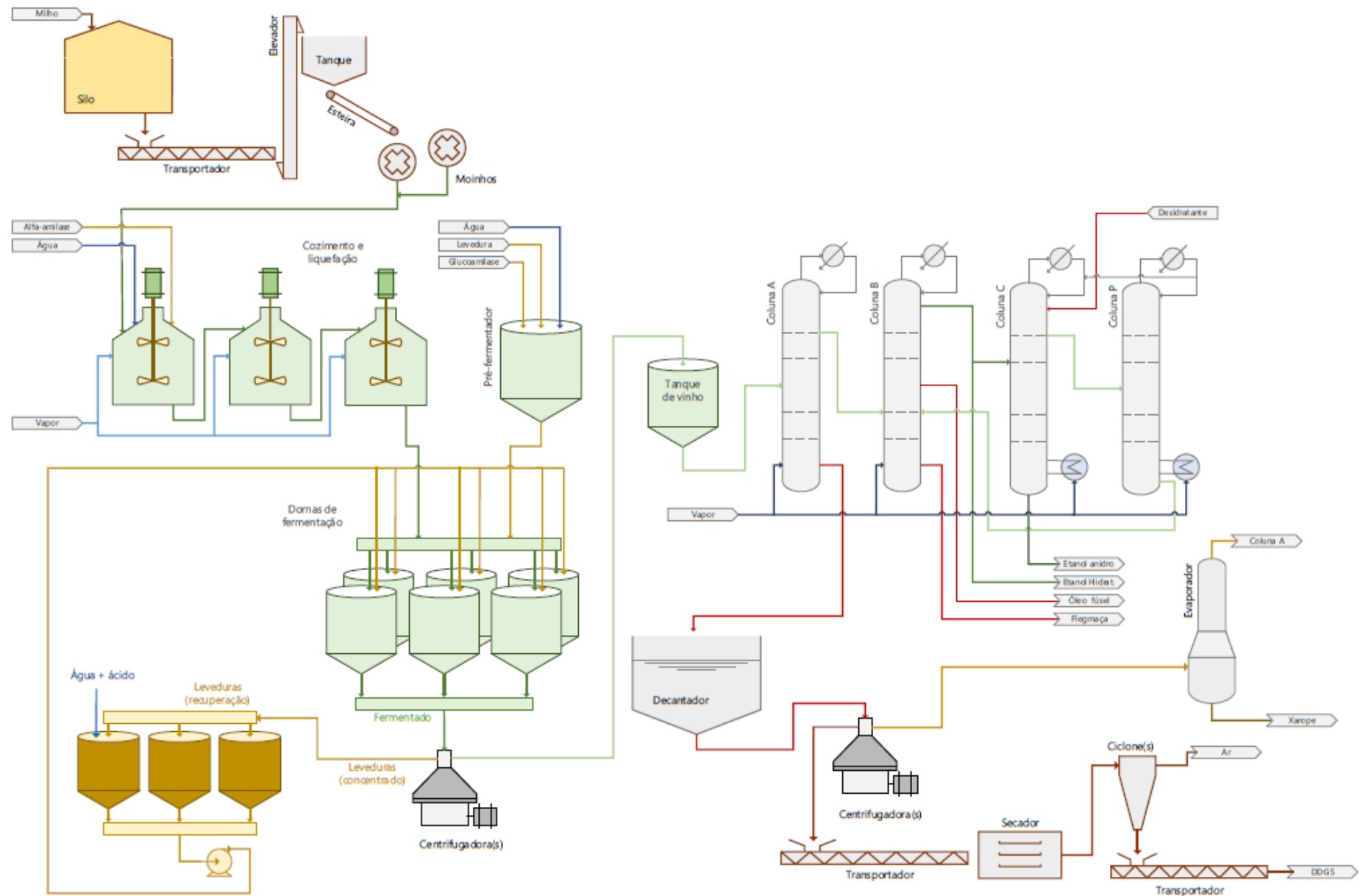
Diagrama processual da unidade de destilação de uma fábrica de produção de bio-etanol a partir de milho, pela via seca, incluindo o processamento adicional do resíduo da 'coluna A'



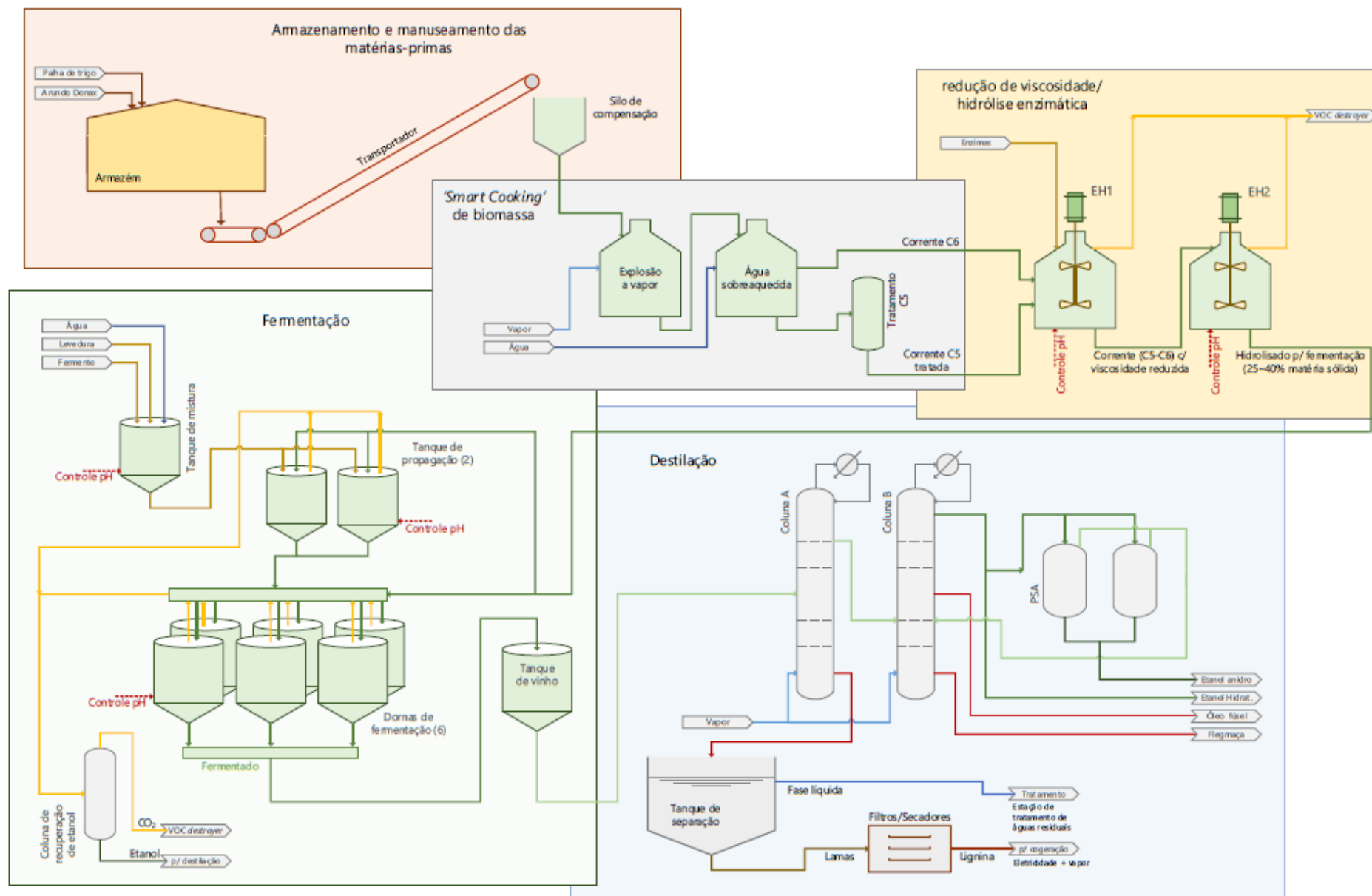
Esquema processual de
uma fábrica de bioetanol
produzido a **a partir de**
cana-de-açúcar



Esquema processual de
uma fábrica de
bioetanol produzido a
partir de milho

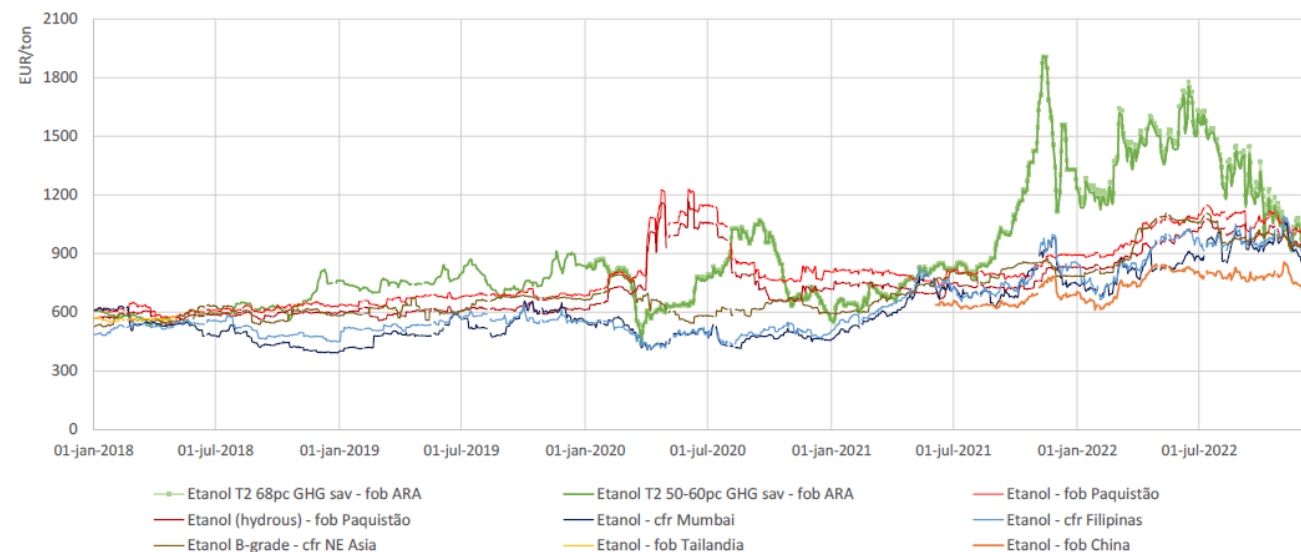


Esquema processual simplificado da fábrica de demonstração de bioetanol de Crescentino



- ✓ Valorização do bioetanol, nos mercados europeu e asiático.
- ✓ Caracterização de mercados spot e a prazo de bioetanol.

Evolução das cotações do bioetanol nos mercados spot, entre 2018 a 2022, nos referenciais asiático e fob ARA



Fonte: Argus media

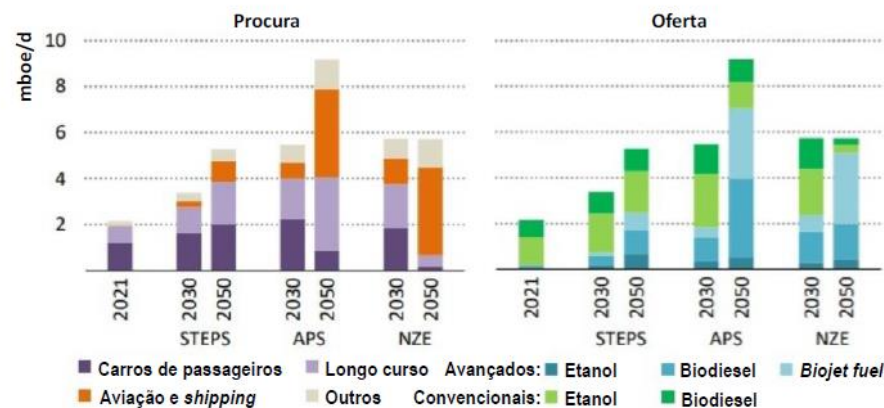
Evolução das cotações do bioetanol nos mercados spot, swaps a um mês e swaps a 1 trimestre, entre 2018 a 2022, no referencial fob ARA



Fonte: Argus media

✓ EVOLUÇÃO A LONGO PRAZO

Evolução da oferta e procura global de biocombustíveis, a médio e longo prazo, conforme os cenários do *World Energy Outlook 2022* da IEA



'Outros' inclui outras formas de transporte, indústria, edifícios e agricultura

Fonte: IEA, World Energy Outlook 2022

✓ INOVAÇÃO E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

Eixos prioritários de desenvolvimento tecnológico - 'Priority Values Chains' (PVC)

PVC1: Combustíveis para transportes via gaseificação (Transport fuels via gasification)

PVC2: Calor & Eletricidade via gaseificação (Power and heat via gasification)

PVC3: Combustíveis para transportes via pirolise e processos térmicos (Transport fuels via pyrolytic and thermolytic conversion)

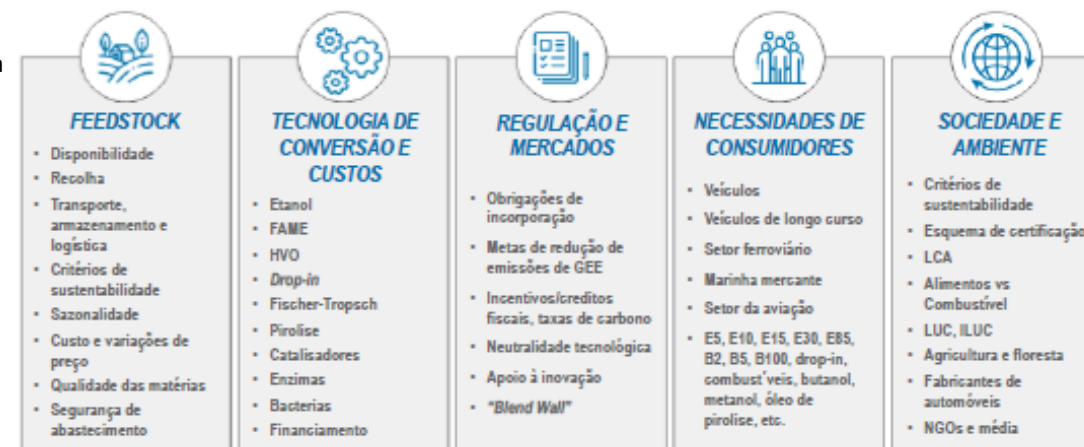
PVC4: Carriers intermédios de bioenergia para Calor & Eletricidade (Intermediate bioenergy carriers for power and heat)

PVC5: Álcoois a partir de açúcares via fermentação (Alcohol fuels from cellulosic sugars)

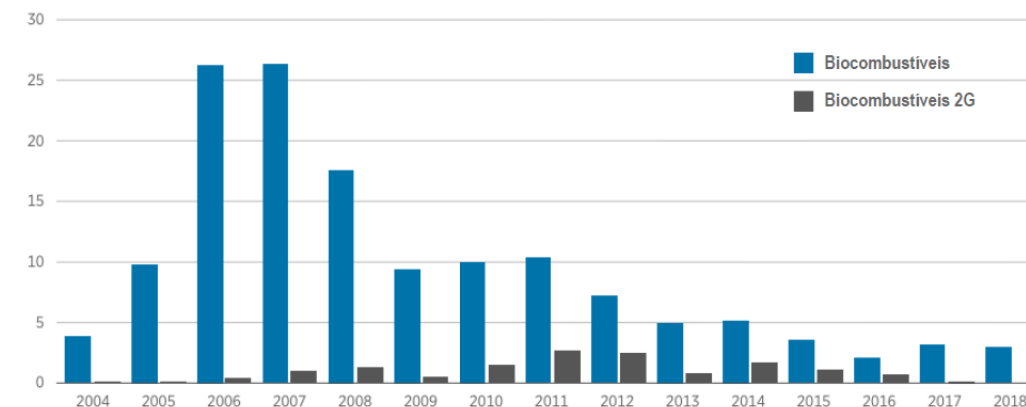
PVC6: Conversão de açúcares e álcoois para hidrocarbonetos (Hydrocarbon fuels from sugars and alcohols)

✓ BARREIRAS À ENTRADA

Constrangimentos da cadeia de valor dos biocombustíveis



Investimentos anuais em biocombustíveis, em biliões (10⁹) de USD



Nota: Informação sobre investimentos em biocombustíveis 2G para 2018 não disponível

Fonte: IRENA, International Renewable Energy Agency



Muito obrigado pela atenção !