

Palestra

INTRODUÇÃO AOS GASES COMBUSTÍVEIS

Eng. Fernando Cörner da Costa, DSc
Pesquisador Senior USP e Krona
Consultor da Ultragaz / Bahiana / Neogás
fcorner@uol.com.br + 

POR QUE ESSE ENFOQUE EM GASES COMBUSTÍVEIS?

**Energéticos de transição para energias limpas
Resultado imediato e baixo CAPEX na conversão
de combustíveis fósseis líquidos e sólidos:**

Redução das emissões de carbono

Praticamente livre de fuligem e baixas emissões de CO e NOx

Eficiências de combustão e de processo mais elevadas

Preparação para o futuro: biometano, bioGLP e hidrogênio

POR QUE ESTA PALESTRA INTRODUTÓRIA?

Apresentar:

Benefícios e conceitos fundamentais sobre gases combustíveis para melhor entendimento dos textos expostos nas normas.

EFEITO ESTUFA



GASES DE EFEITO ESTUFA - Potencial

GEE	Aumento da concentração desde 1750	Contribuição para o aquecimento global	Potencial de aquecimento global no horizonte de 100 anos
CO ₂	31%	60%	1
Metano	151%	20%	28
Óxido nitroso	17%	6%	265
Halogenados	↗∞	14%	> 1.000

1 mol CH₄ = 12 g



1 mol CO₂ = 44 g

Fonte:

<https://cetesb.sp.gov.br/proclima/gases-do-efeito-estufa/>

Fonte:

https://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf

Emissões de carbono (C) e de dióxido de carbono (CO₂)

COMBUSTÍVEL	CONTEÚDO DE CARBONO			
	kg C/GJ (*)	kg C/Gcal (*)	kg CO ₂ /Gcal	kg CO ₂ /U.C. (**)
GN	15,3	64,06	234,88	2,067 /m ³
GLP	17,2	72,01	264,05	2,931 /kg
GÁS DE REFINARIA	15,7	65,73	241,02	2,025 /m ³
GÁS DE COQUERIA	12,1	50,66	185,75	0,799 /m ³
DIESEL	20,2	84,57	310,10	2,631 /L
QUEROSENE ILUMINAÇÃO	19,6	82,06	300,89	2,500 /L
ÓLEO RESIDUAL BPF	21,1	88,34	323,92	3,106 /kg
ÓLEO LUBRIFICANTE USADO	20,0	83,74	307,03	2,719 /L
COQUE DE PETRÓLEO	26,6	111,37	408,35	3,426 /kg
COQUE DE CARVÃO	29,2	122,25	448,27	3,093 /kg
CARVÃO MIN. P/COQUE	25,8	108,02	396,07	2,931 /kg

(*) IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, pág. I.21, 2006

(**) considerando PCI dos combustíveis nacionais nas respectivas unidades de comercialização

1 Gcal = 1.000.000 kcal

REDUÇÃO DE EMISSÕES

COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS DE ALTAS EMISSÕES

**Derivados líquidos
do petróleo,
coque de petróleo,
carvões minerais,
coque de carvão,
hidrogênio cinza**

REDUÇÃO DE EMISSÕES



COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS DE ALTAS EMISSÕES

Derivados líquidos
do petróleo,
coque de petróleo,
carvões minerais,
coque de carvão,
hidrogênio cinza

COMBUSTÍVEIS VERDES

etanol,
biometano,
óleos vegetais,
hidrogênio verde,
lenha e derivados,
carvão vegetal,
hidrocarbonetos
produzido por
biomassa

REDUÇÃO DE EMISSÕES

COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS DE ALTAS EMISSÕES

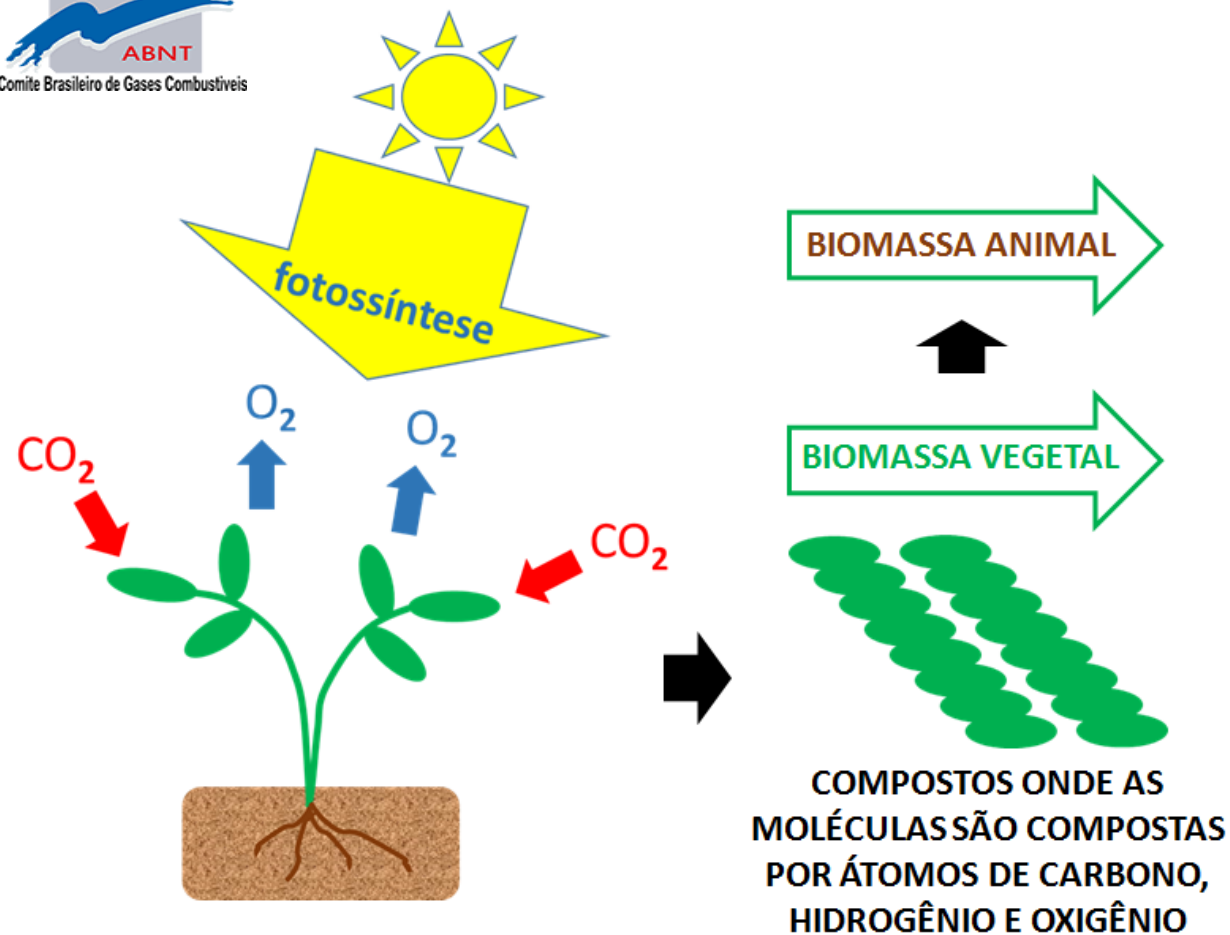
Derivados líquidos
do petróleo,
coque de petróleo,
carvões minerais,
coque de carvão,
hidrogênio cinza

ENERGÉTICOS DE TRANSIÇÃO: COMBUSTÍVEIS DE BAIXAS EMISSÕES

GLP, gás natural,
gás de refinaria,
gás de coqueria,
gás de xisto,
hidrogênio azul

COMBUSTÍVEIS VERDES

etanol, bioGLP
biometano,
óleos vegetais,
hidrogênio verde,
lenha e derivados,
carvão vegetal,
hidrocarbonetos
produzido por
biomassa



BIOCOMBUSTÍVEIS

Biogás de biodigestor
Biogás (flatulência)
Gordura animal

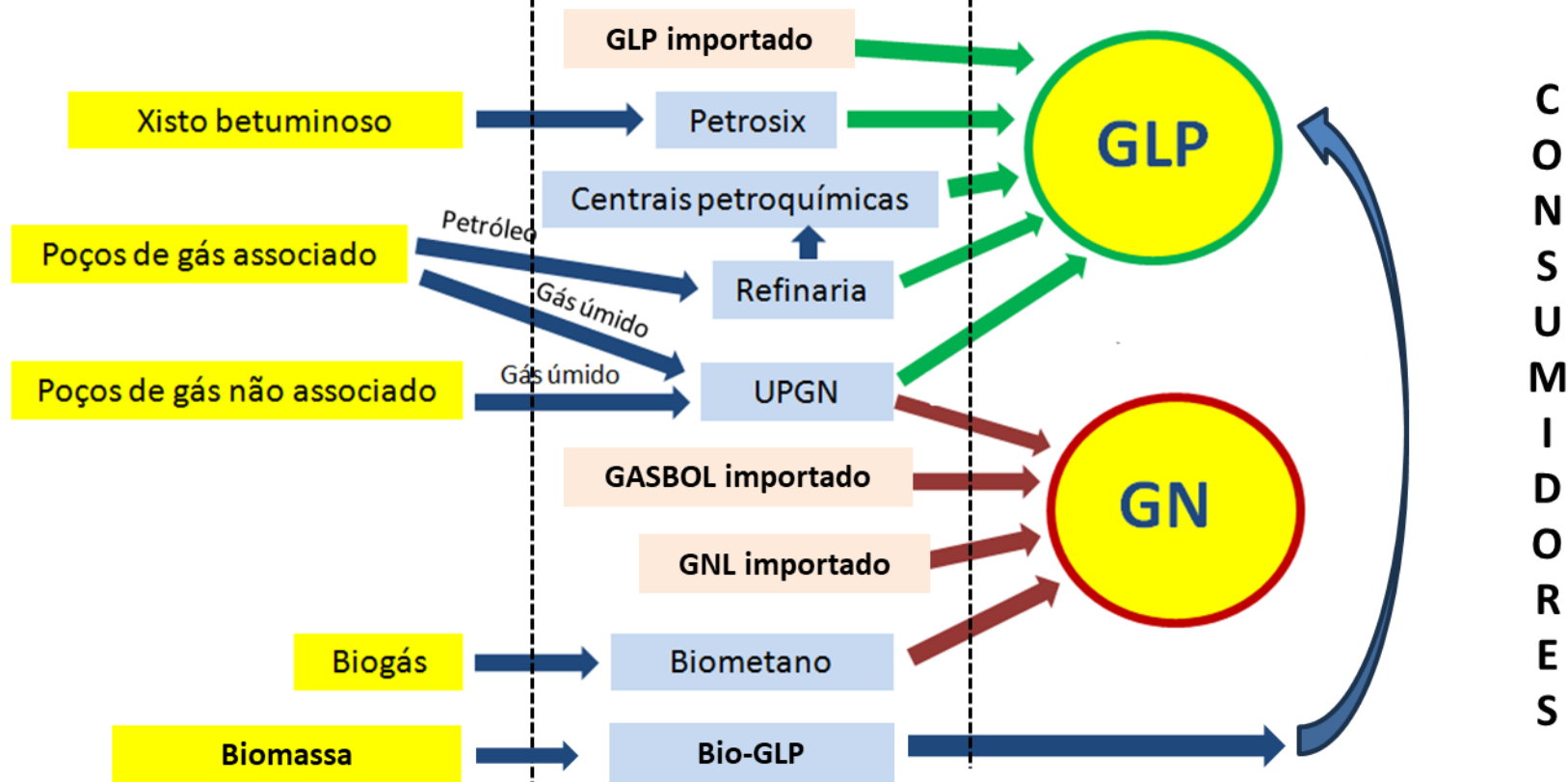
Metanol
Etanol
Biogás de biodigestor
Óleos vegetais
Lenha / carvão vegetal

Biogás de aterro sanitário
Biogás de esgoto

UPSTREAM

MIDSTREAM

DOWNSTREAM



GN
biometano

Estado gasoso

Acima da temperatura crítica:

Metano: $> -82,1^{\circ}\text{C}$

Estado líquido crio + vapor

Abaixo da temperatura crítica:

Metano: $\leq -82,1^{\circ}\text{C}$

Metano

Etano

Propano

Butano

Pentano

C6+

GLP
bioGLP

Estado: líquido + vapor

Abaixo da

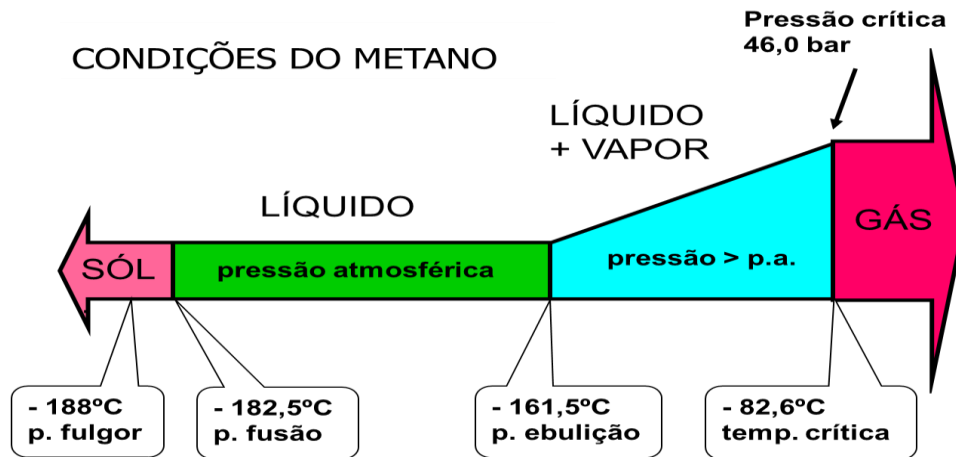
temperatura crítica:

Propano = $+96,8^{\circ}\text{C}$

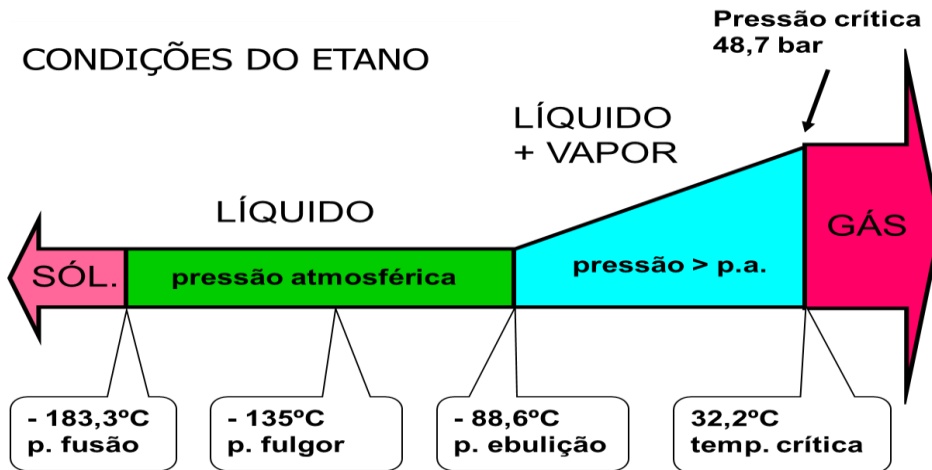
Butano = $+152,0^{\circ}\text{C}$

PRINCIPAIS COMPONENTES DO GÁS NATURAL

CONDIÇÕES DO METANO

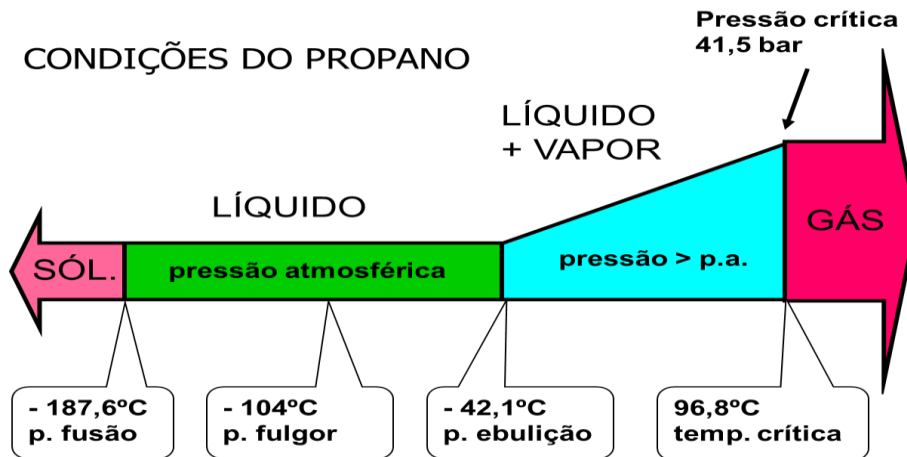


CONDIÇÕES DO ETANO

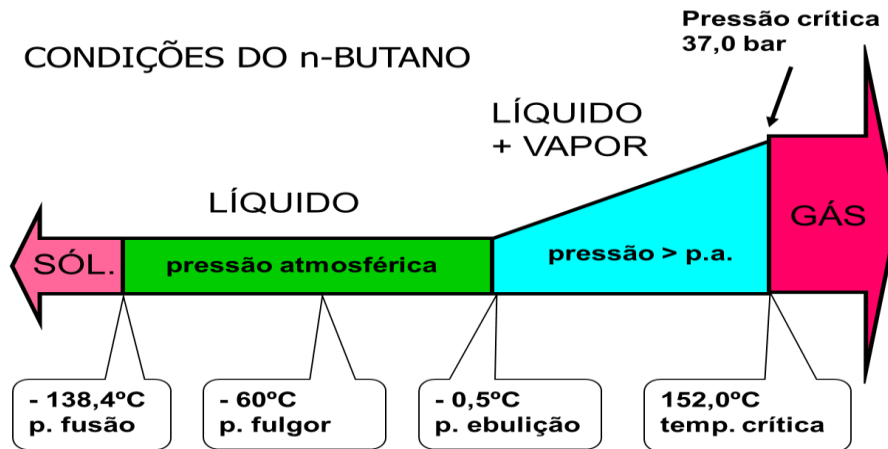


PRINCIPAIS COMPONENTES DO GLP

CONDIÇÕES DO PROPANO



CONDIÇÕES DO n-BUTANO



DOWNSTREAM - LOGÍSTICA

Shrinkage para armazenagem e transporte

GÁS NATURAL e BIOMETANO

Comprimido, gasodutos de distribuição	(até 15/1)
Comprimido, gasodutos de transporte, alta pressão	(até 100/1)
Comprimido em cilindros de alta pressão	(até 250/1)
Liquefeito criogênico (-161°C) P atm / baixa pressão	(600/1)

GLP – GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO e BIO-GLP

Liquefeito a baixa pressão (temp. ambiente)	(250/1)
Liquefeito a baixa temperatura (-47°C), P atm	(300/1)

DOWNSTREAM - LOGÍSTICA

Gasodutos e Terminais de GNL – Gás Natural Liquefeito

Existem limitações quanto à disponibilidade de gasodutos de transporte e de distribuição de GN.

Fonte (mapa):
www.abegas.org.br,
consulta em 23.06.2015



DOWNSTREAM - LOGÍSTICA

GNL – Gás Natural Liquefeito

Fonte:
ANP, O Gás Natural
Liquefeito no Brasil,
Rio de Janeiro, 2010



DOWNSTREAM - LOGÍSTICA

Armazenagem e distribuição de GNL – Gás Natural Liquefeito



Fonte: foto do autor
Naturgassvest, Bergen, Noruega



Fonte: foto do autor
Thermogas, Stuttgart, Alemanha



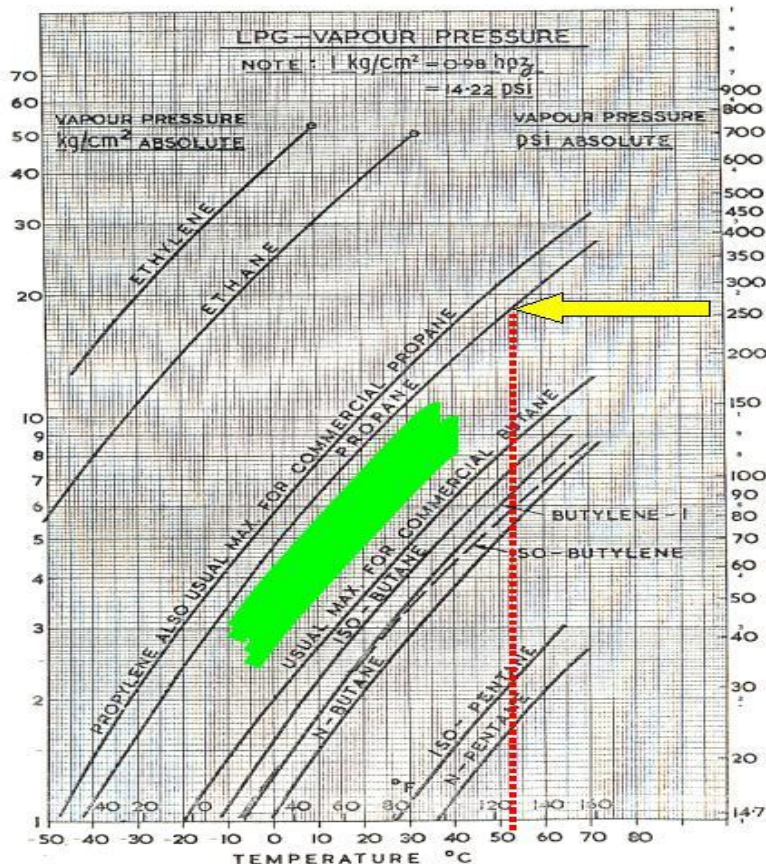
ISO container
Fonte: www.cncryotank.com

DOWNSTREAM - LOGÍSTICA

GNC – Gás Natural Comprimido



GLP: PRESSÃO x TEMPERATURA



PRESSÃO DE VAPOR DO GLP

Pressão máx. trab. admissível

250 psig = 264,7 psia

250 psig = 18,63 kgf/cm^2 abs

Fonte:

The Properties of LPG

O.P.D. Report No. 192/62M

Shell

DOWNSTREAM - LOGÍSTICA

Armazenagem de GLP – Gás Liquefeito de Petróleo



DOWNSTREAM - LOGÍSTICA

Armazenagem de GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

Ensaio destrutivo de recipiente de 13 kg

P ruptura mínima:
8,5 MPa = 85 bar

P ruptura real:
9,8 a 10,0 MPa = 98
a 100 bar



P projeto = 1,7 MPa = 17 bar
P trabalho = 4 a 8 bar

DOWNSTREAM - LOGÍSTICA

MOVIMENTAÇÃO DE GRANDES VOLUMES DE GLP



**Terminal de Alemoa
Santos**

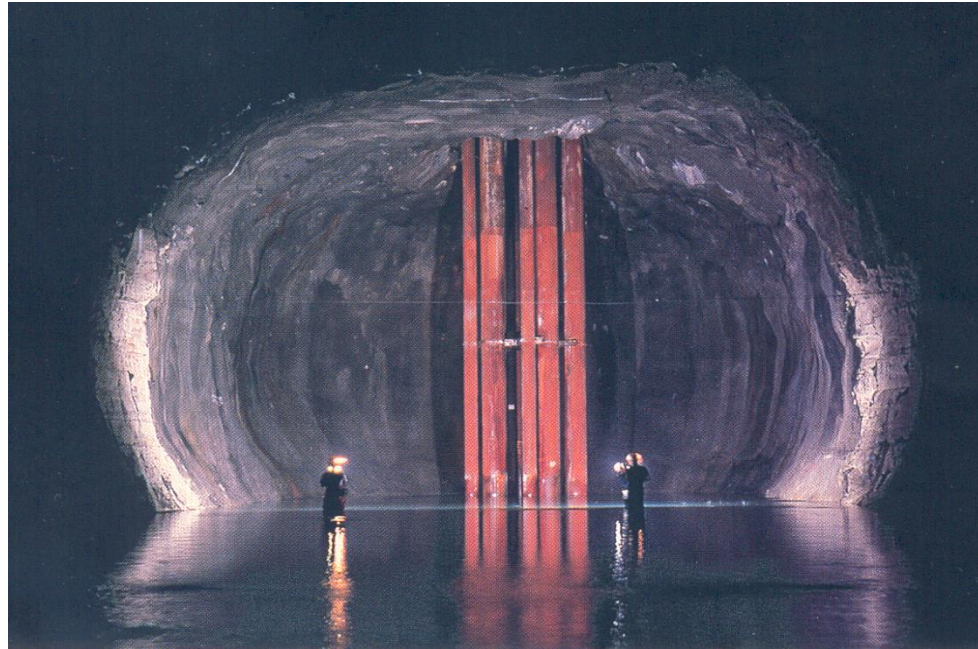
**Terminal de Ilha Redonda
Baía de Guanabara**



DOWNSTREAM - LOGÍSTICA

Armazenagem em cavernas

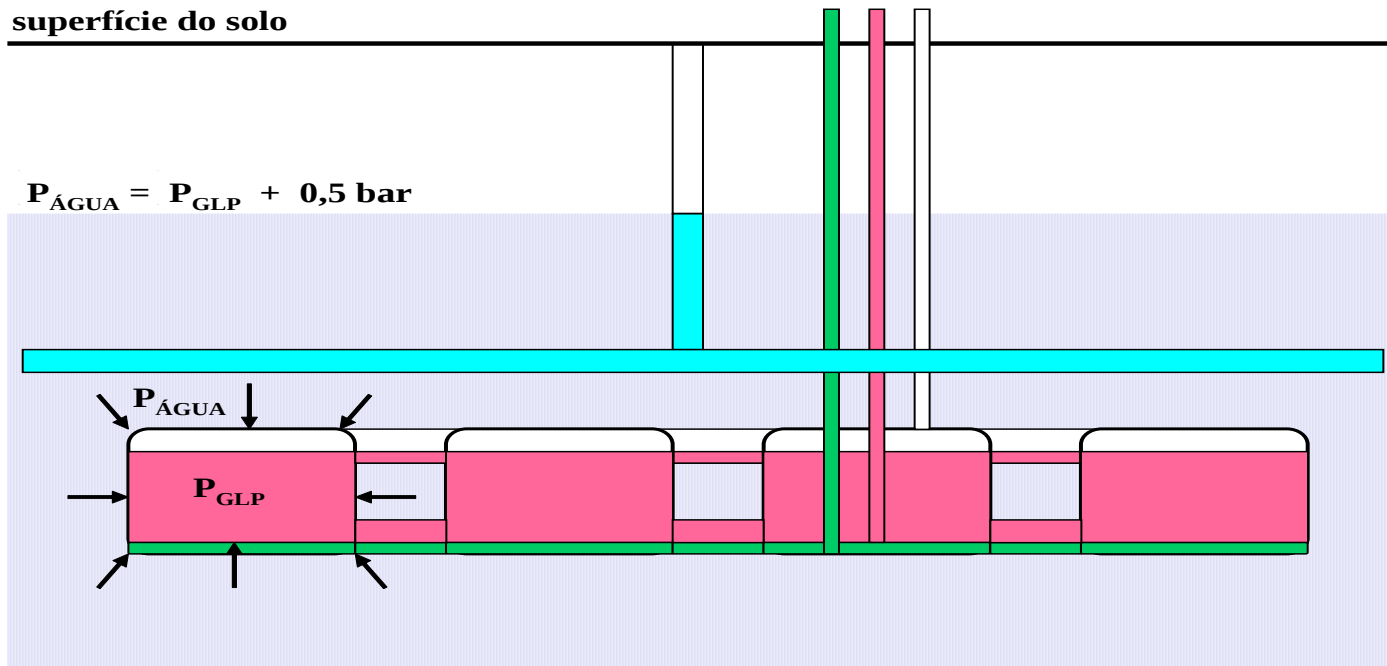
Objetivo: armazenar grandes volumes no estado líquido sob pressão



Fonte: ELGAS, Sydney, Austrália

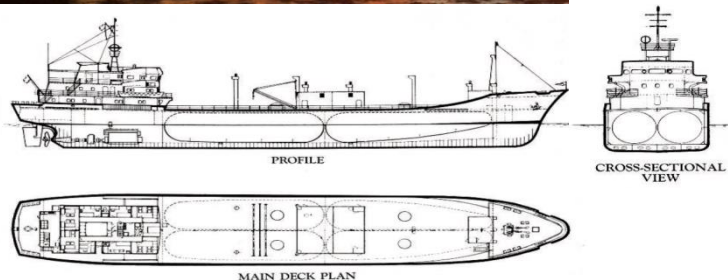
DOWNSTREAM - LOGÍSTICA

Armazenagem em cavernas



DOWNSTREAM - LOGÍSTICA

**Tanques pressurizados ou resfriados
para GLP, cilíndricos ou esféricos**



**Transporte fluvial para
recipientes transportáveis
trocáveis**



Fonte: Singapore Technologies

DOWNSTREAM – LOGÍSTICA TERRESTRE

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo e bio-GLP

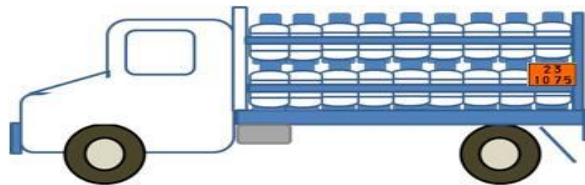
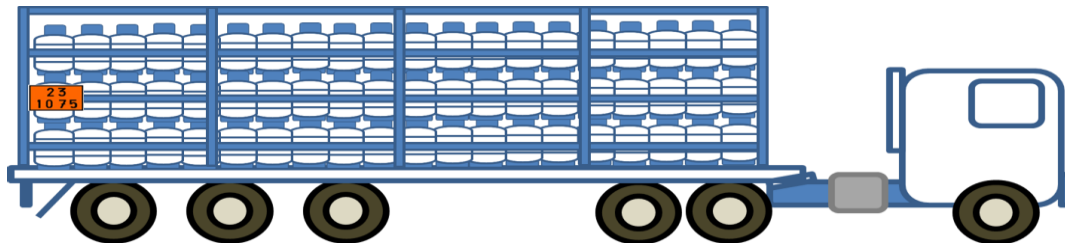


Iso container
GLP e bio-GLP



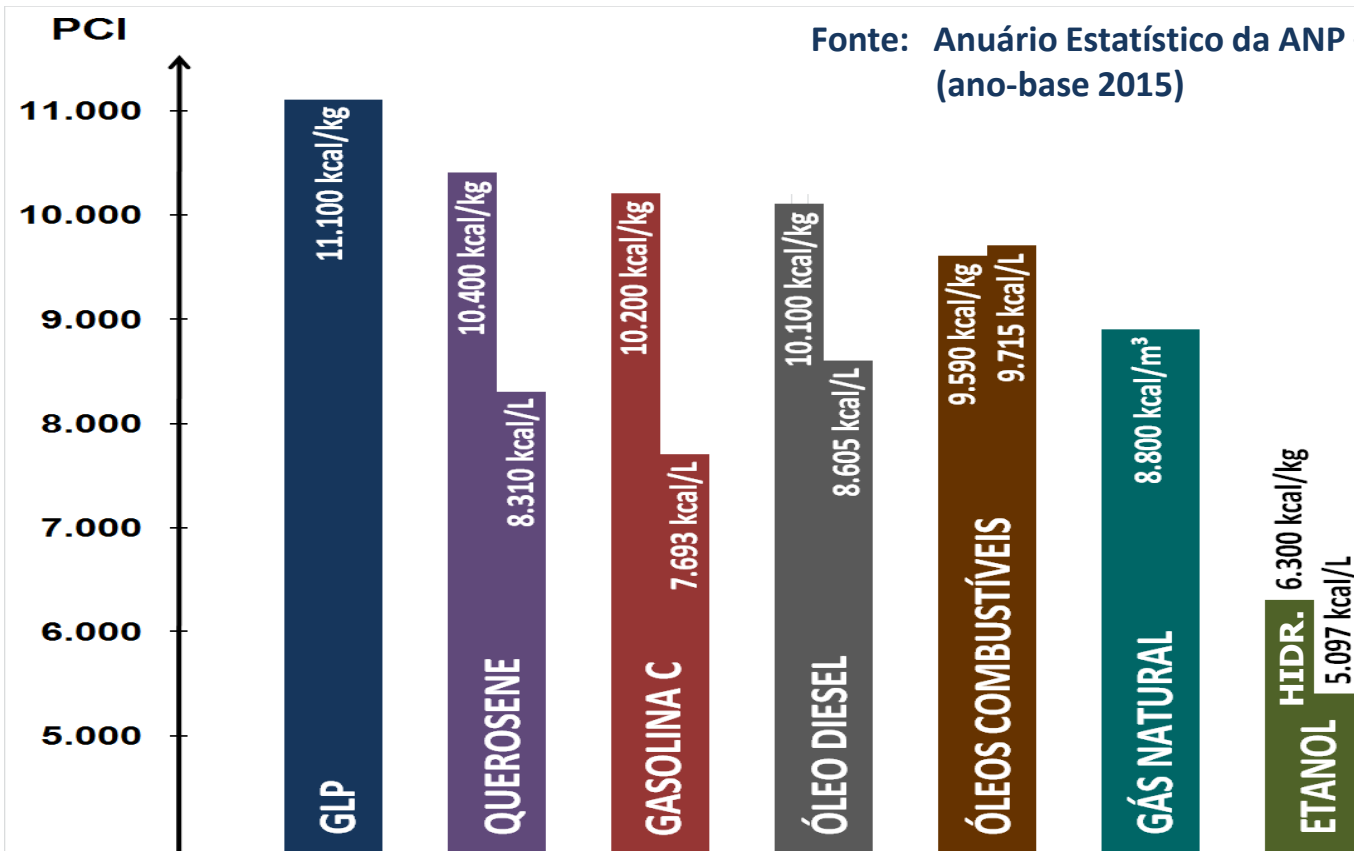
DOWNSTREAM – LOGÍSTICA TERRESTRE ENVASADO

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo



PODERES CALORÍFICOS INFERIORES

Fonte: Anuário Estatístico da ANP – 2016
(ano-base 2015)



DENSIDADES

GÁS	Densidade Absoluta (kg/Nm³)	Densidade Relativa ao ar (adimensional)
Ar	1,29	1,00
Hidrogênio	0,09	0,07
Metano	0,72	0,56
Etano	1,35	1,05
Eteno (ou etileno)	1,26	0,98
Gás natural de Campos	0,79	0,61
Gás natural de Santos	0,83	0,64
Gás natural da Bolívia	0,78	0,60
Propano	2,01	1,56
Propeno (ou propileno)	1,91	1,48
n-Butano	2,69	2,09
iso-Butano	2,68	2,08
Buteno-1	2,58	2,00
GLP (médio)	2,35	1,82
Acetileno	1,17	0,91
Monóxido de carbono	1,25	0,97

DENSIDADES

acúmulo temporário em partes altas

GN

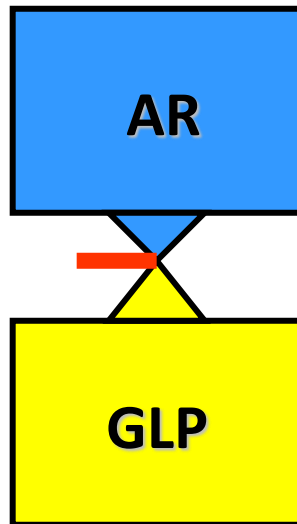
EM CASO DE VAZAMENTO
gases com densidades $<$ ar atmosférico

EM CASO DE VAZAMENTO
gases com densidades $>$ ar atmosférico

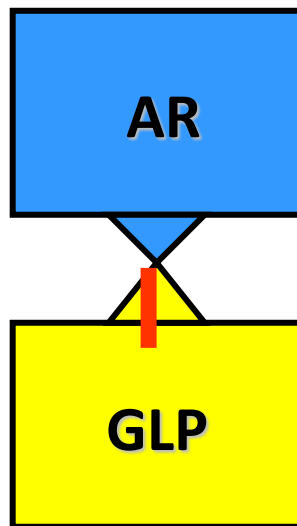
GLP

acúmulo temporário em partes baixas

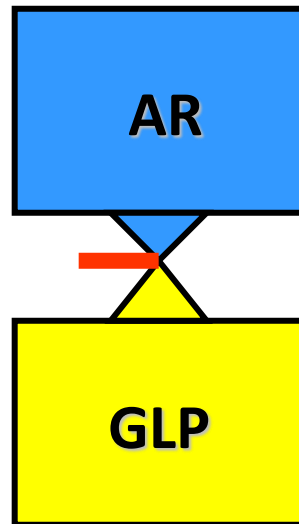
DENSIDADES



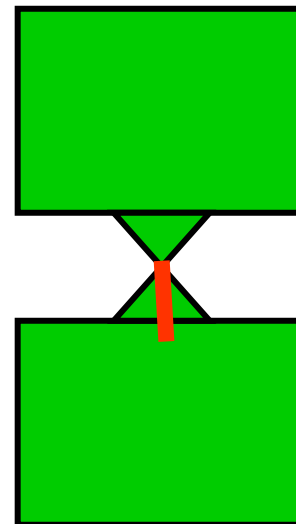
DENSIDADES



DENSIDADES



TEMPO
→



MISTURA
PERFEITA

TEMPERATURA MÍNIMA DE AUTOIGNIÇÃO

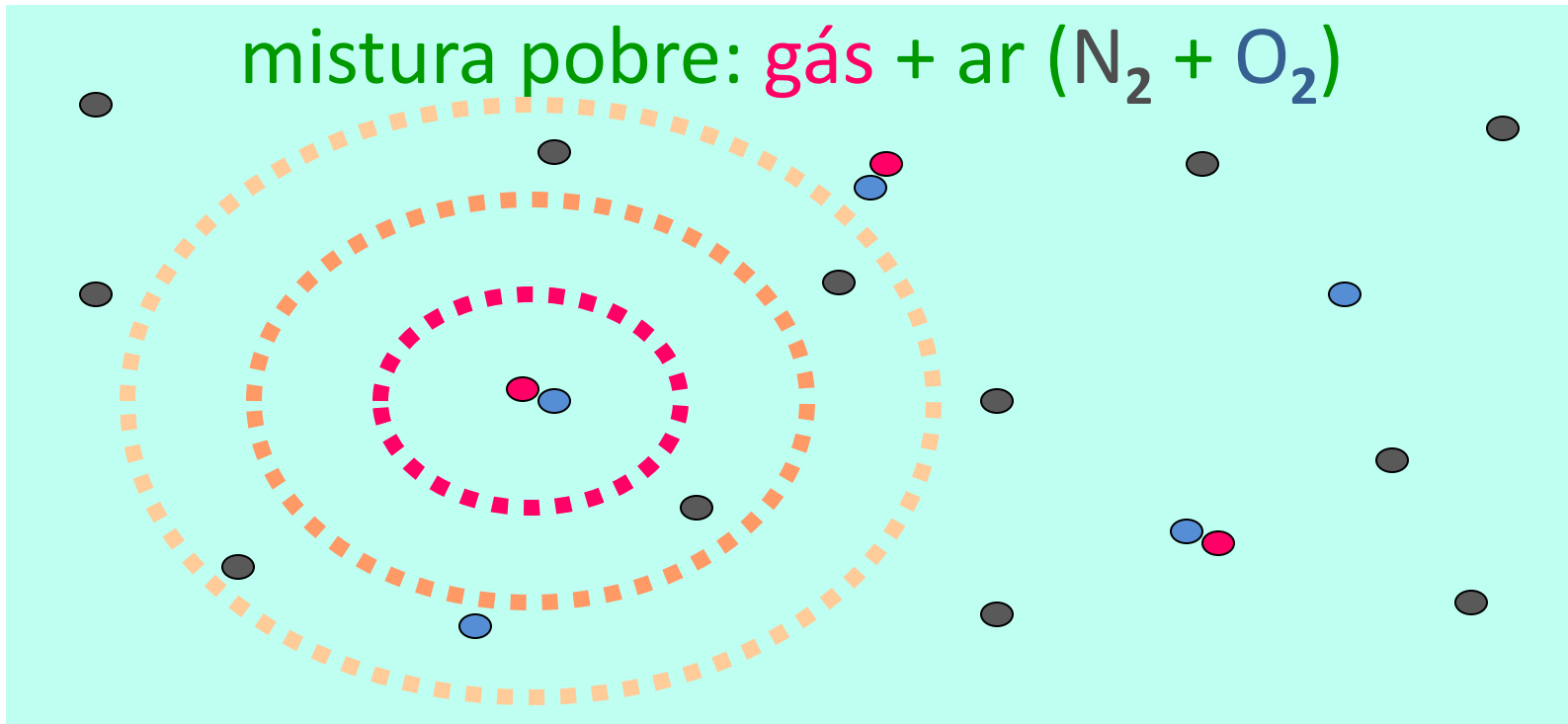
É uma temperatura limite acima da qual uma mistura de um gás combustível e um comburente se inflamam, **espontaneamente**, sem presença de chama ou centelha.

Gás	Comburente (a 20°C)	
	Ar (°C)	Oxigênio (°C)
Gás Natural	580	555
Gás LP	287 - 493 (*)	285 - 470 (*)
Acetileno	305	296

(*) Divergências encontradas na literatura e na composição do Gás LP

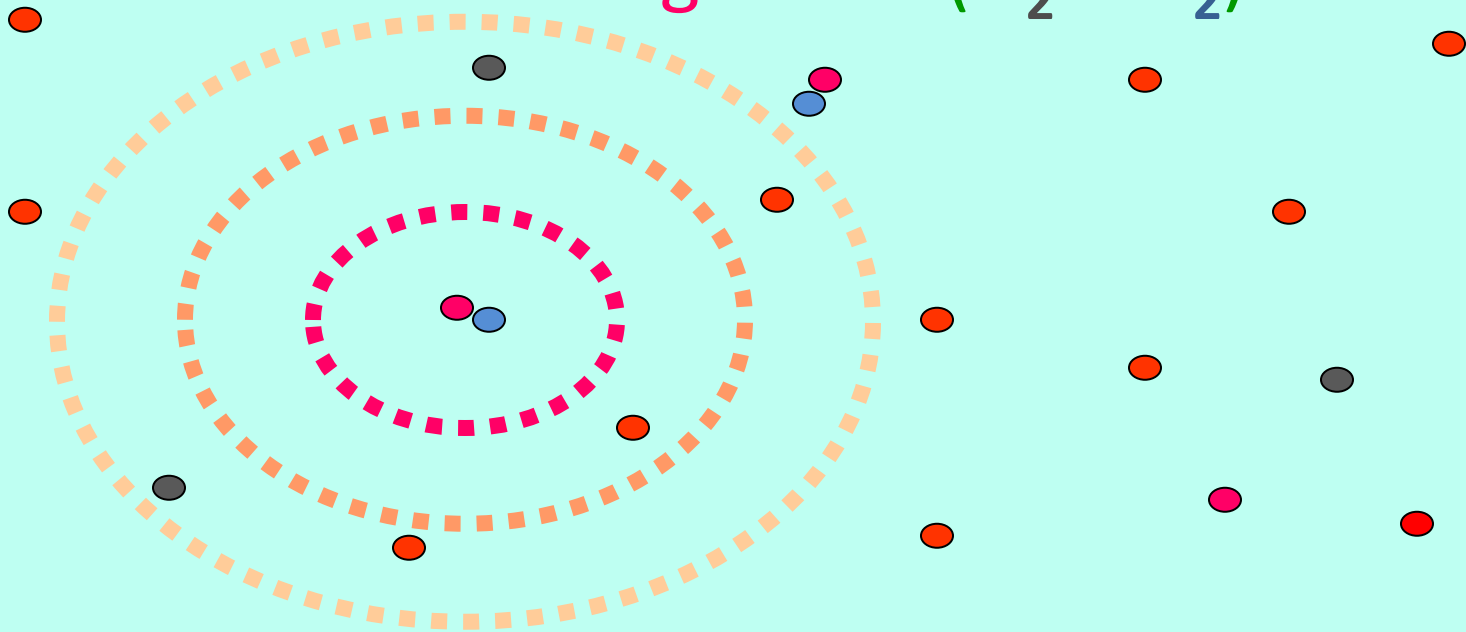
MISTURAS INFLAMÁVEIS

mistura pobre: gás + ar ($\text{N}_2 + \text{O}_2$)



MISTURAS INFLAMÁVEIS

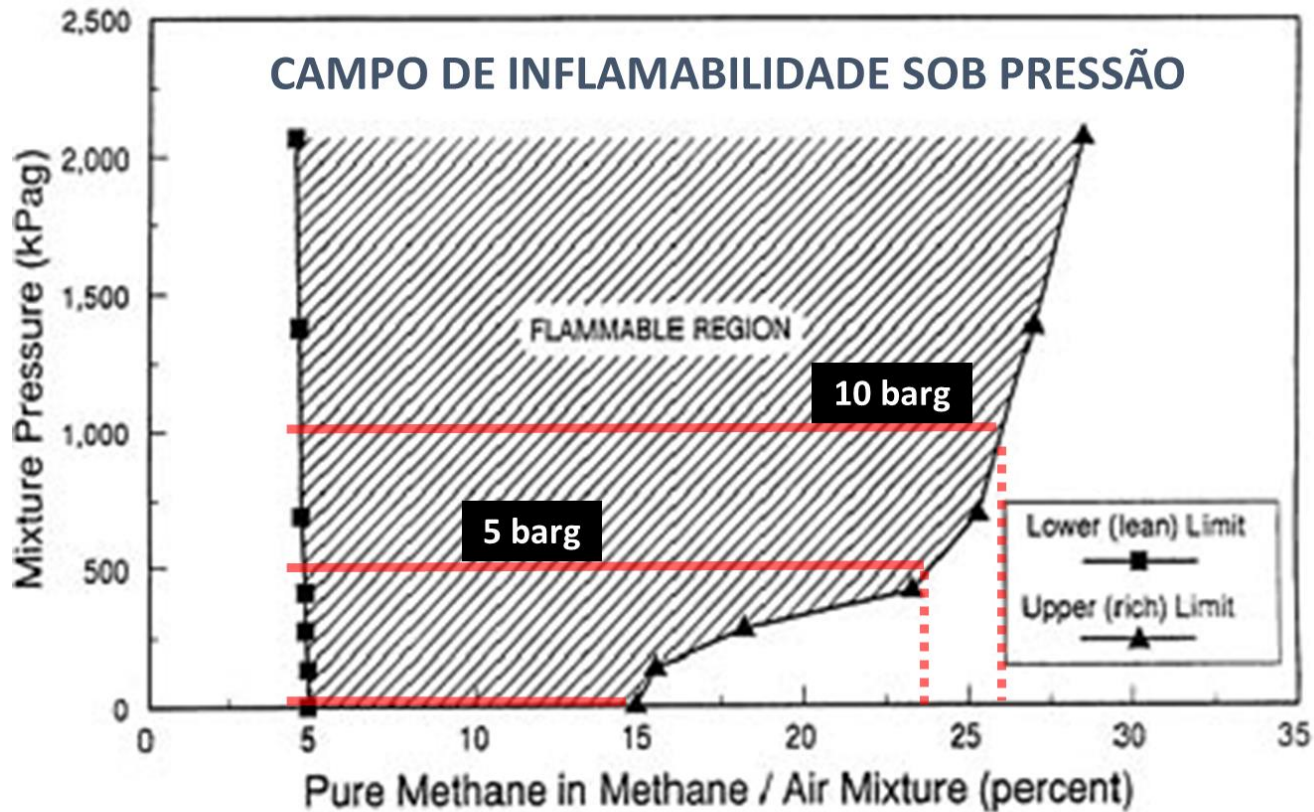
mistura rica: gás + ar ($N_2 + O_2$)



MISTURAS INFLAMÁVEIS

Campos de inflamabilidade

GÁS COMBUSTÍVEL	CAMPOS DE INFLAMABILIDADE EM MISTURAS COM AR	
	Limite inferior (%)	Limite superior (%)
GÁS LP	2	10
GÁS NATURAL	5	15
ACETILENO	2,2	80 / 85
Condições atmosféricas: 1 atm, 20°C (gases e ar)		



Fonte: Canadian Upstream Oil & Gas Industry

GNS ou AR PROPANADO

GN: gás de 2ª família
GLP: gás de 3ª família

} **NÃO INTERCAMBIÁVEIS**
(exceto queimadores duais)

GNS: GN Sintético (GN Substituto) ou Ar Propanado

GNS = GLP + ar ou bioGLP + ar

Conservação do Índice de Wobbe = $PCS / (d_{ar})^{0,5}$

Composição média: 54% GLP + 46% ar (molar)

LSI: 10% GLP + 90% ar (FS = 4,4)

DOWNSTREAM - LOGÍSTICA

Ar propanado, GNS (GN Sintético ou GN Substituto)

Fonte:

Fotos de arquivo do autor



GN liquefeito

Misturas GN-Biometano

Misturas GN-H₂V

Misturas GN e/ou Biometano-H₂V

Biometano comprimido

Biometano liquefeito (*small scale LNG*)

Misturas GN – Ar propanado (*peak shaving*)

GNS ou Ar propanado (antecipação de consumo ou *backup*)

Bio-GLP

Bio-GNS ou Bio-Ar propanado



**CESTA DE
GASES COMBUSTÍVEIS
COM GN E GLP**

VANTAGENS NO USO DE GASES COMBUSTÍVEIS

- Facilidade de ignição, mesmo em climas frios
- Possibilidade de variadas formas de chama, proporcionando uma melhor transferência de calor
- Melhor controle dos parâmetros do processo
- Regulagem fina do perfil de temperaturas
- Isenção de contaminantes nos produtos da combustão, como compostos de enxofre, vanádio e outros metais pesados, material particulado (fuligem) etc.
- Melhor limpeza do ambiente de trabalho.
- Menor grau de emissões.
- **Substituição de processo indiretos por diretos com ganhos de eficiência e produtividade.**



Grato pela atenção.

Eng. Fernando Cörner da Costa, DSc
Pesquisador Senior USP e Krona
Consultor da Ultragaz / Bahiana / Neogás
fcorn@uol.com.br + 