



Circularidade e Engenharia de Polímeros

Turma 2023

Captura e Uso de CO₂

Prof. Silvio A. B. Vieira de Melo

sabvm@ufba.br

Prof^a. Karen V. Pontes

karenpontes@ufba.br



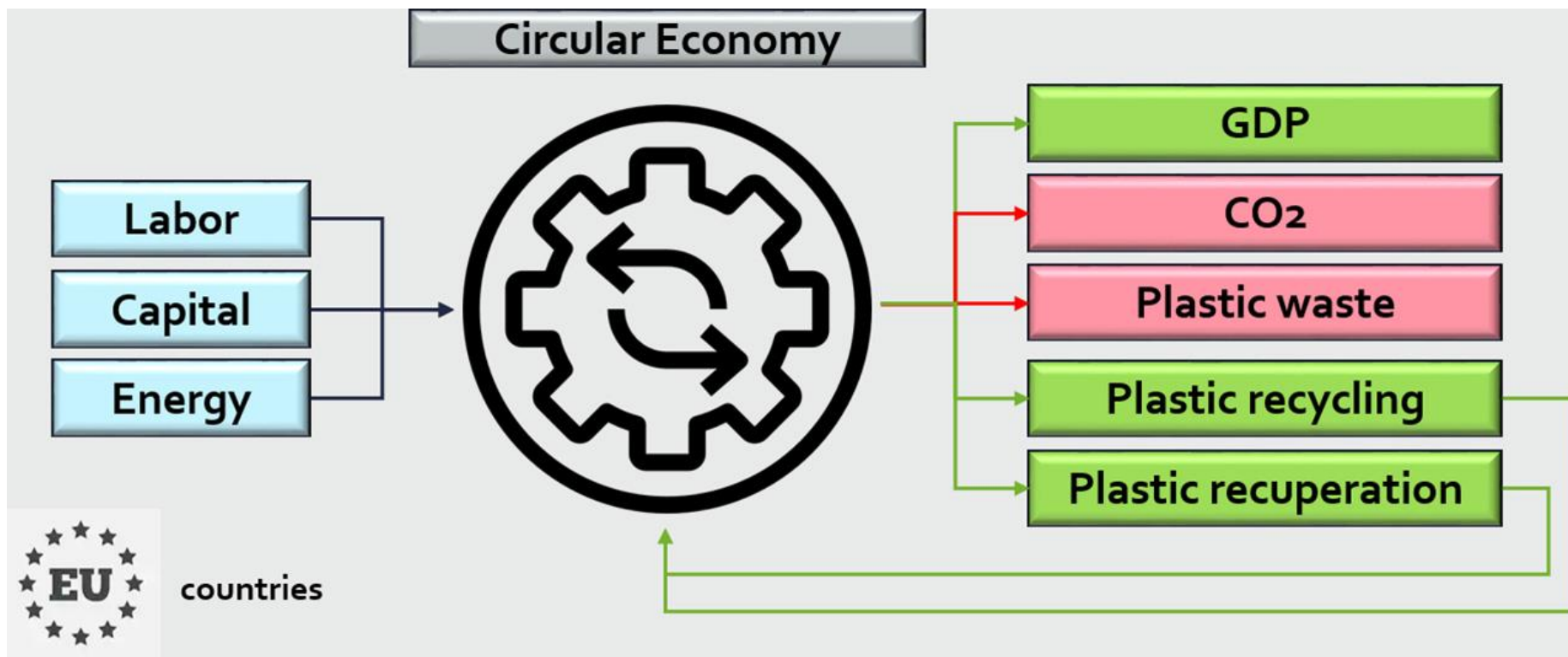
Circularidade e Engenharia de Polímeros

Captura de CO₂

Prof. Silvio A. B. Vieira de Melo

sabvm@ufba.br

Economia Circular e Captura de CO₂



Robaina et al. (2020), Sci. Total Environm. 730, 139038

Afinal, o CO_2 é bandido ou mocinho?

Composição do Ar Atmosférico

Gas	Symbol	Conc. (vol%)
Nitrogen	N ₂	78,084
Oxygen	O ₂	20,9576
Argon	Ar	0,934
Carbon dioxide	CO ₂	0,0314
Neon	Ne	0,001818
Methane	CH ₄	0,0002
Helium	He	0,000524
Krypton	Kr	0,000114
Hydrogen	H ₂	0,00005
Xenon	Xe	0,0000087

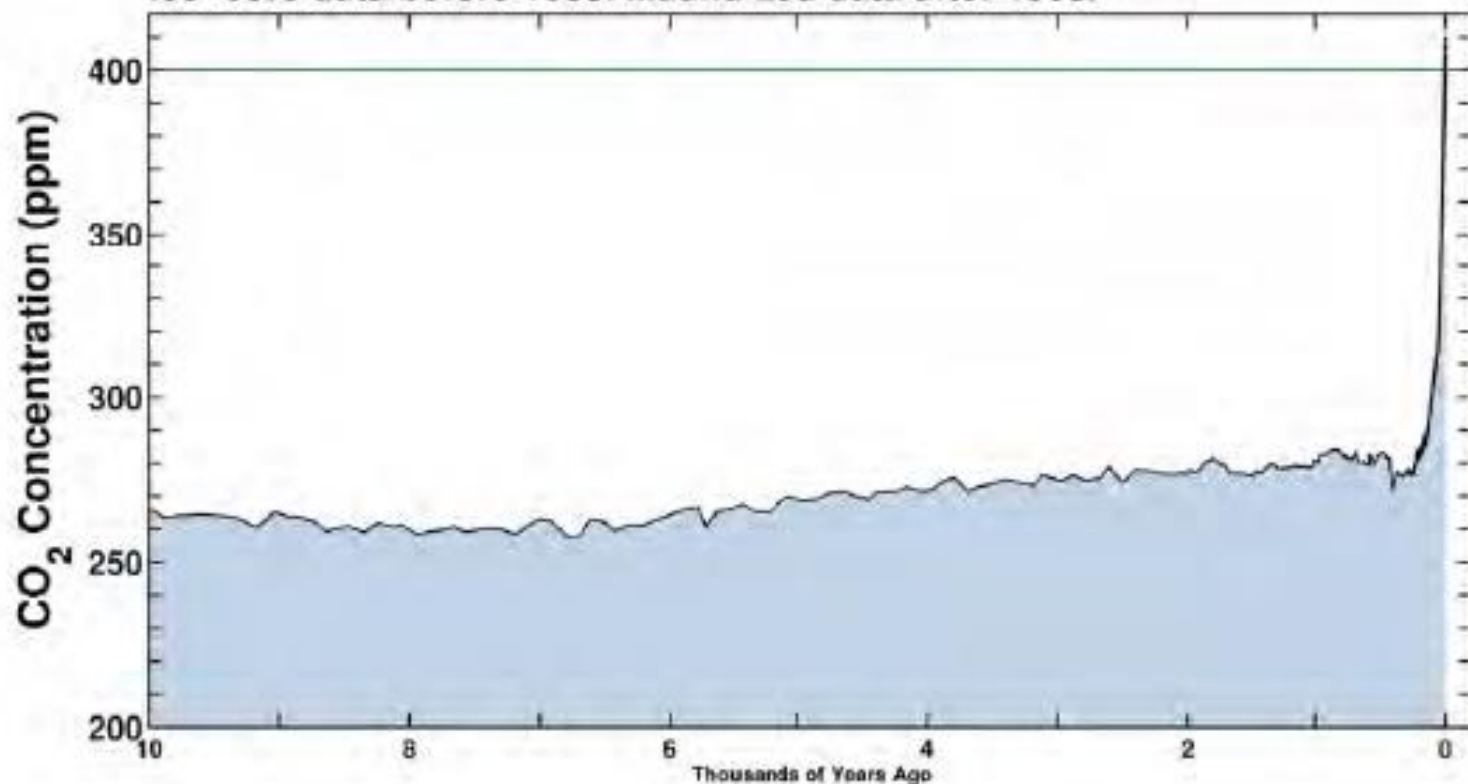
Composição do CO₂ na Atmosfera

Latest CO₂ reading

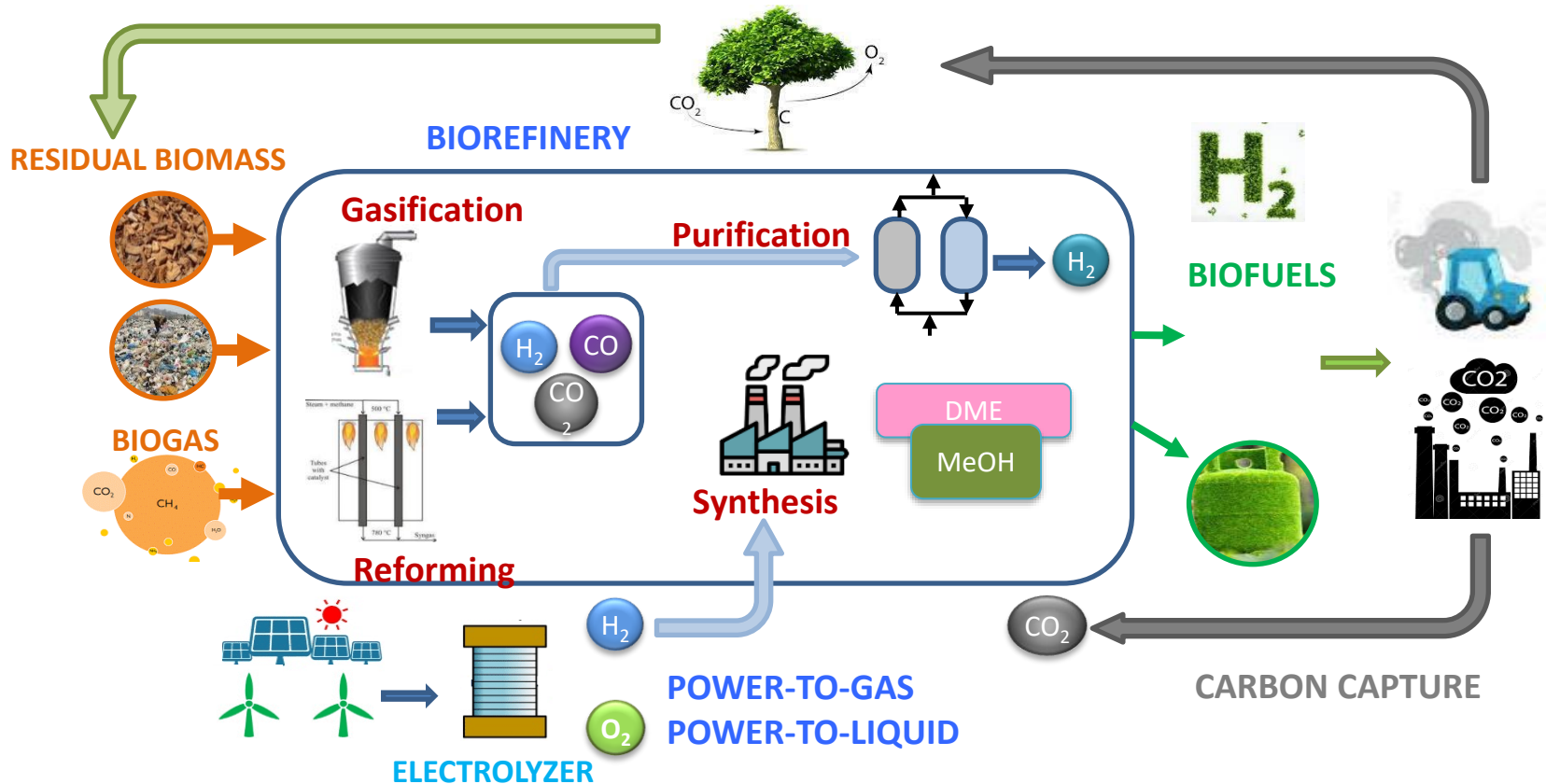
July 26, 2017

406.74 ppm

Ice-core data before 1958. Mauna Loa data after 1958.



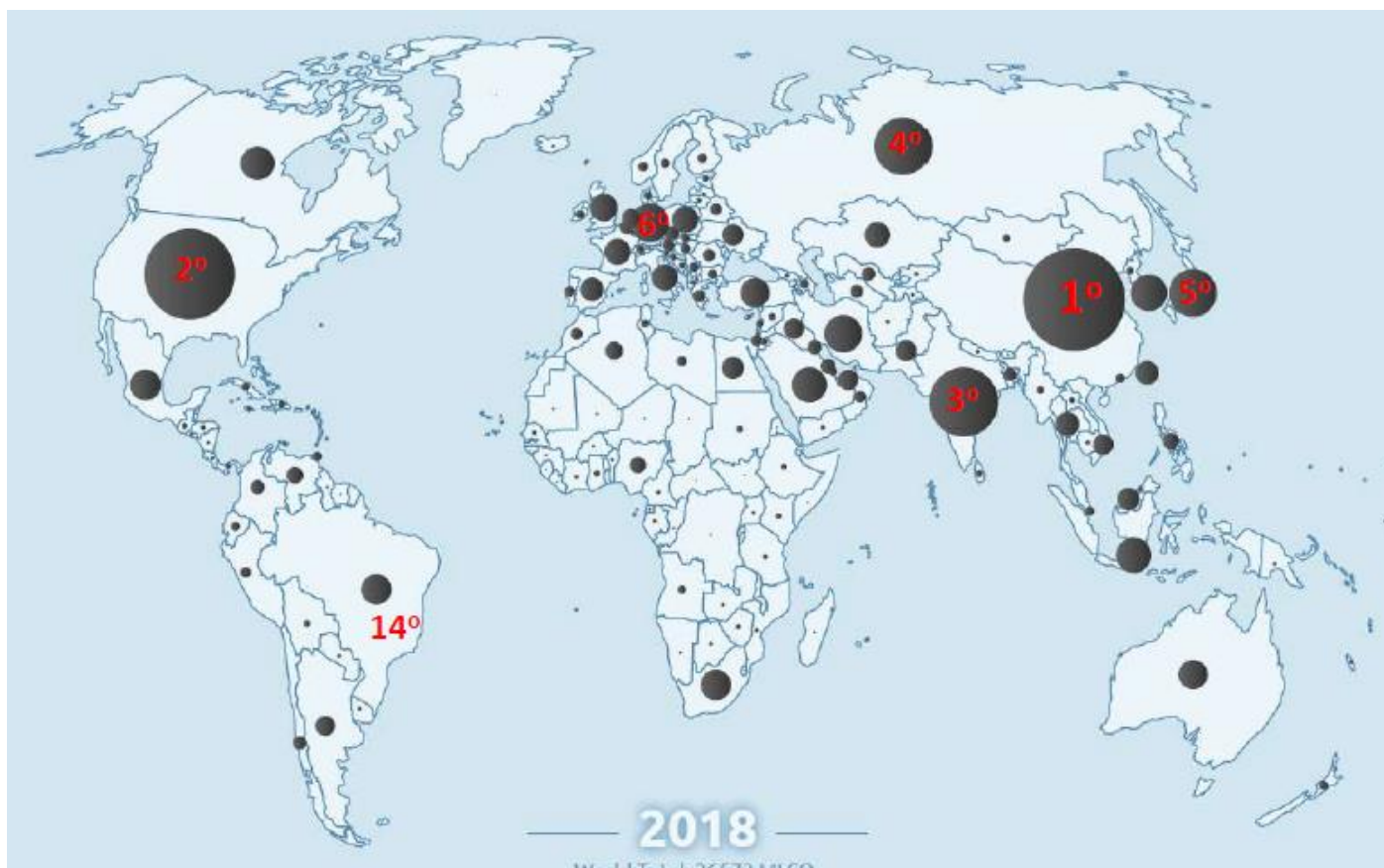
Fechando o Ciclo?



Fechando o Ciclo?

- Curto prazo: **CCUS**
- Médio prazo: **descarbonização**
- Longo prazo: **circularidade / educação**

Emissões de CO₂ de origem fóssil

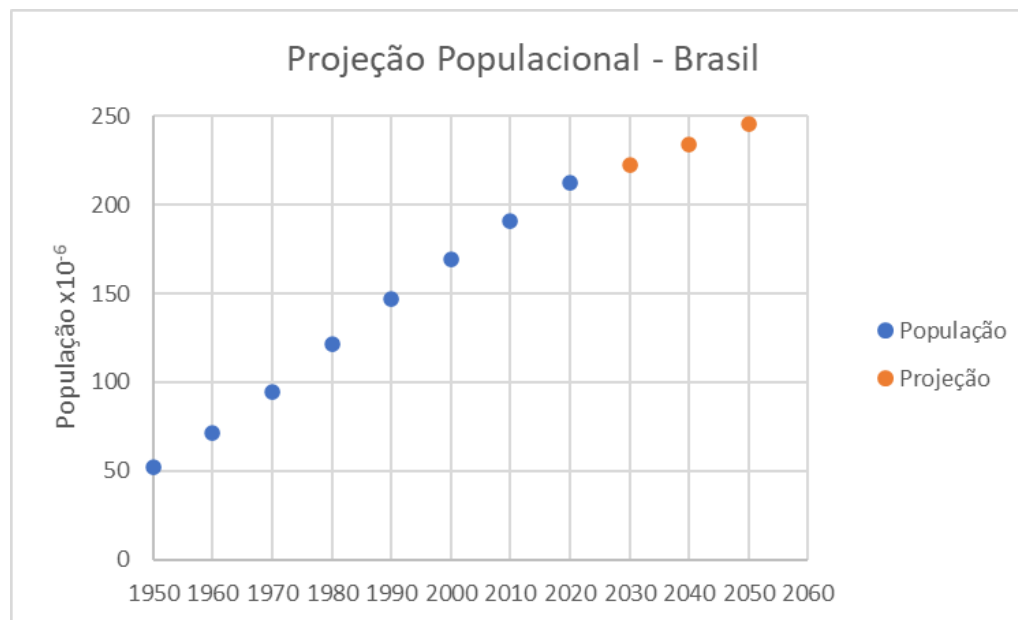


<http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>

Projeção da População Brasileira

Ano	População (10 ⁻⁶)
1950	51,94
1960	70,99
1970	94,51
1980	121,15
1990	146,92
2000	169,59
2010	190,76
2020	212,07
2030*	222,68
2040*	233,81
2050*	245,50

*projeção



Constatação

Emissão *per capita* anual de CO₂ por combustão de combustíveis fósseis: cerca de **5 toneladas** ↑

35,5 Gton/ano de CO₂

7,6 bilhões de **pessoas**

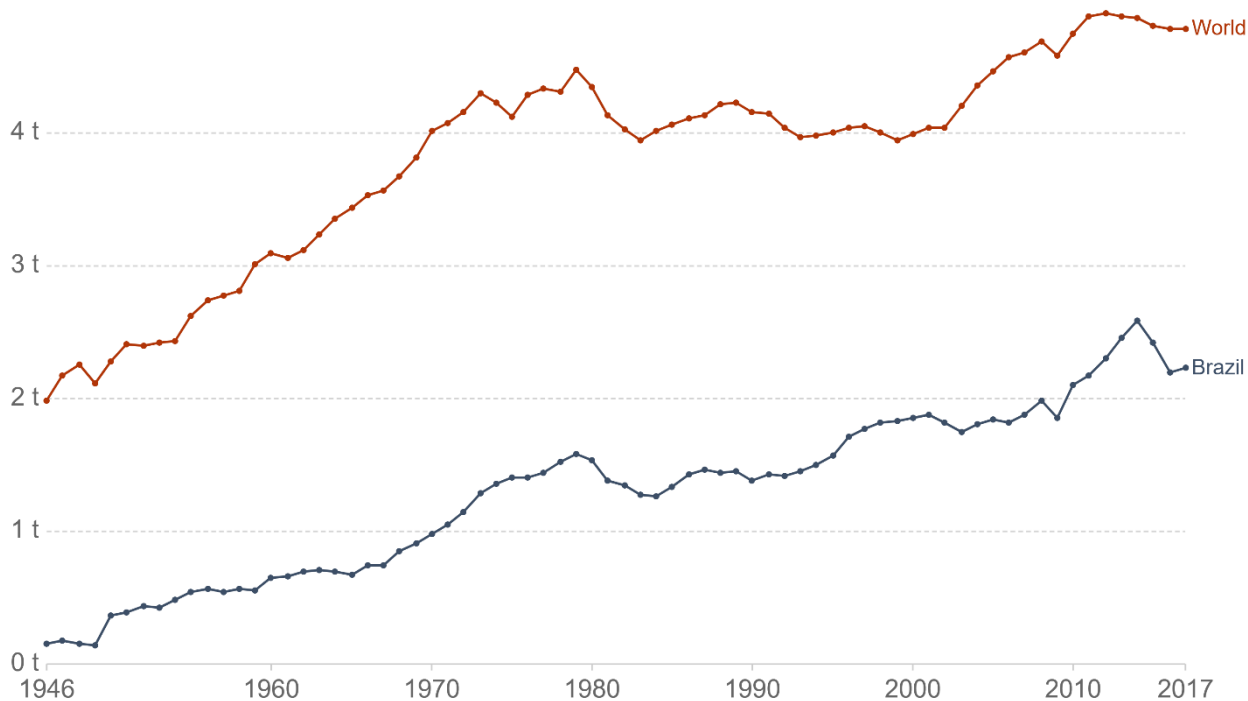
Billig et al, Journal of CO₂ Utilization 30 (2019) 130–141

Emissões de CO₂ *per capita*

Per capita CO₂ emissions

Carbon dioxide (CO₂) emissions from the burning of fossil fuels for energy and cement production. Land use change is not included.

Our World
in Data

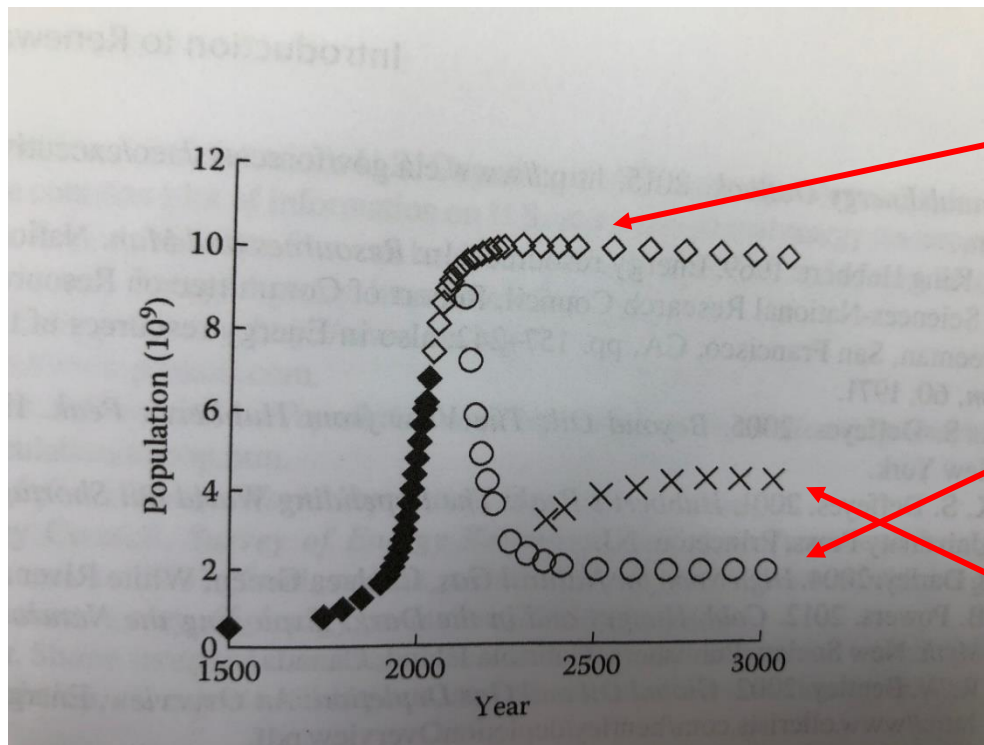


Source: OWID based on CDIAC; Global Carbon Project; Gapminder & UN

Note: CO₂ emissions are measured on a production basis, meaning they do not correct for emissions embedded in traded goods.

OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY

Quais os cenários futuros para a humanidade?



1 – Transição ordenada para uma sociedade sustentável sem crescimento populacional

2 – Catástrofe

3 – Catástrofe com alguns sobreviventes

A superpopulação e o consumismo estão destruindo o planeta Terra!

NÃO HÁ PLANETA B !!!!

Qual a sua pegada de carbono?

<http://www.carbonify.com/carbon-calculator.htm>

<http://www.carbon-footprint.com/calculator1.html>

Aluno 1

Total annual emissions	14.2800000000 tons
Total monthly emissions	1.1900000000 tons
No. of trees to offset per year	71.4 trees
No. of trees to offset per month	5.95 trees

Qual a sua pegada de carbono?

Aluno 2

***Emissões anuais
totais***

21.468 toneladas

***Emissões mensais
totais***

1.789 toneladas

***Nº de árvores a
compensar
por ano***

107.34 arvores

***Nº de árvores a
compensar
por mês***

8.945 arvores

1ª. Provocação

As metas de emissão de CO₂ devem ser *per capita* em vez de *por países!!!!* ↑

A compensação financeira, via créditos de carbono, *não é a solução!!!*

É justo os ricos usarem seu *poder financeiro* para manter um padrão de vida elevado (*consumo de energia*) em detrimento dos pobres???

Alguns Mitos

EMISSÕES de CO₂

Vulcões

x

Combustíveis Fósseis



645 milhões de ton./ano



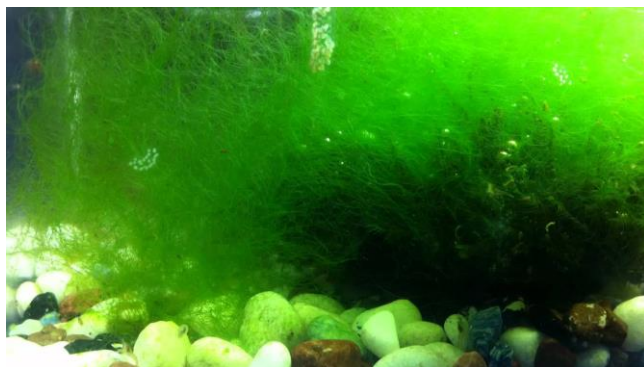
35,5 bilhões de ton./ano

Roode-Gutzmer (2017)

Alguns Mitos

Amazônia: pulmão do mundo?

Fitoplânctons



55% da produção de O_2
do planeta

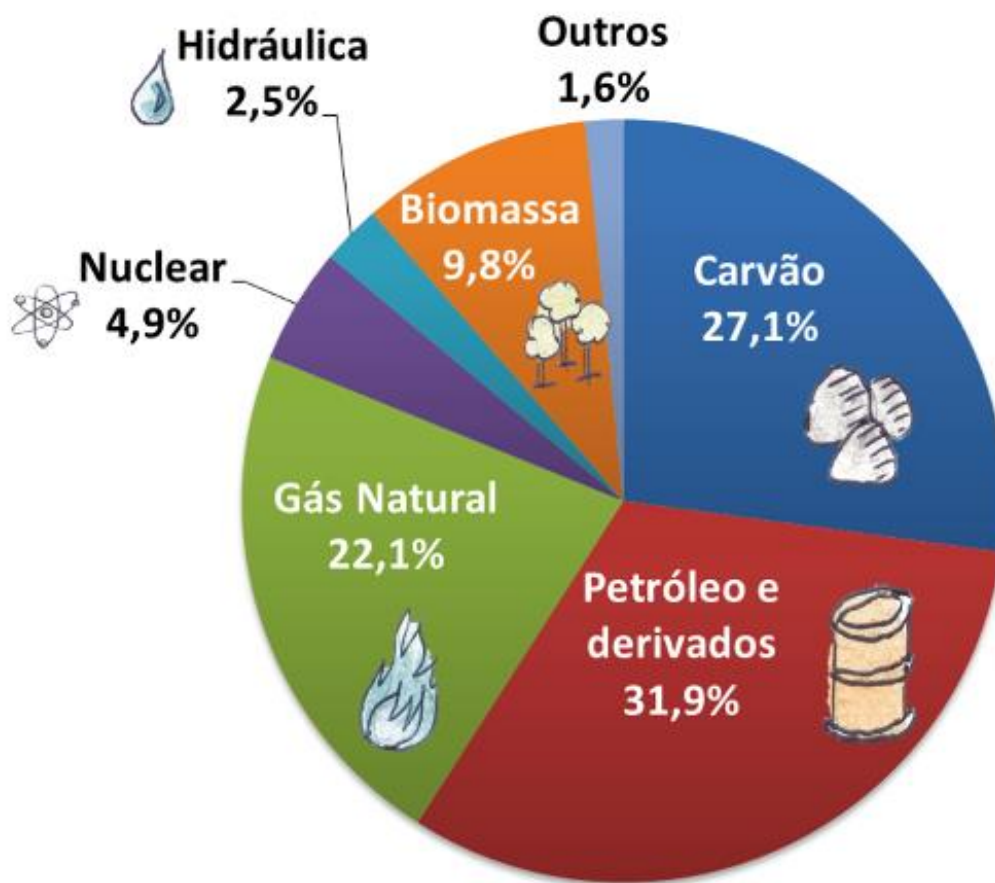
x

Floresta Amazônica



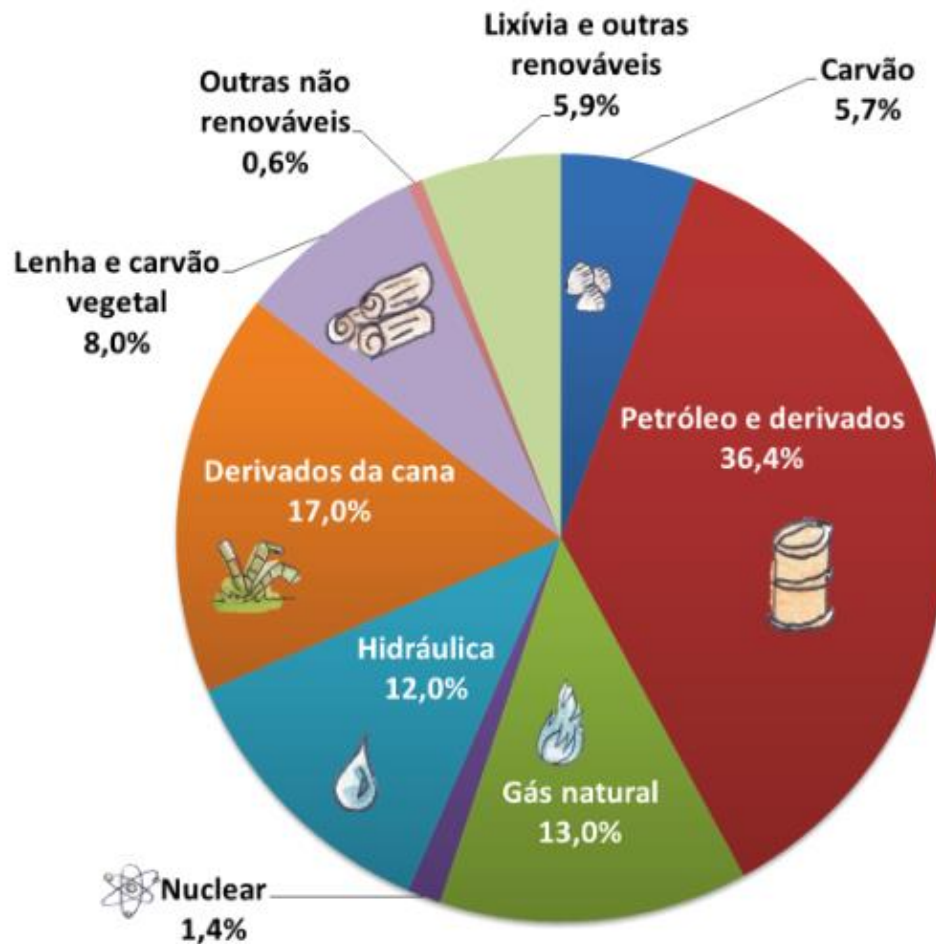
Converte em O_2 apenas
5% das emissões
antropogênicas de CO_2

Matriz Energética Mundial



Matriz Energética Mundial 2016 (IEA, 2018)

Matriz Energética Brasileira



Matriz Energética Brasileira 2017 (BEN,2018)

Reflexão

“90% do petróleo é usado como fonte de energia (através da queima). Apenas 10% do petróleo é usado como matéria-prima pela indústria química”

Pinto, J.C. (2020), Circularidade e Engenharia de Polímeros - Aula 01 – Apresentação
<https://youtu.be/cSo-BRgBddQ>

“The only way that carbon dioxide utilisation can make any difference in the carbon geocycle is the **production of synthetic fuels**”

Nunes da Ponte et al. (2020), 1st. Iberian Meeting on Supercritical Fluids, Santiago de Compostela, Spain.

2ª. Provocação

Quais seriam então as motivações para discutirmos captura e conversão de CO₂ em polímeros?

Onde os polímeros podem ser mais úteis?

Captura de CO₂

X

Conversão de CO₂

3ª. Provocação

O que é pior: **queimar plásticos** ou **despejá-los no meio ambiente?**

E se o consumo diminuir?

E se houver coleta seletiva?

E se houver reciclagem química?

Qual o impacto da EDUCAÇÃO nos hábitos de consumo da população?

Primeira Hipótese

A conversão de CO₂ em polímeros não é a principal solução

LOGO:

- Não queime plástico!
- Mas também não o descarte nos mares, rios, manguezais, no solo, etc.
- Recicle, reuse..... **economia circular!!!**

Segunda Hipótese

Polímeros podem ser usados para captura de CO₂ por absorção

Journal of Molecular Liquids 277 (2019) 594–605



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Molecular Liquids

journal homepage: www.elsevier.com/locate/molliq



Can common liquid polymers and surfactants capture CO₂?

Bhawna, Ashish Pandey, Divya Dhingra, Siddharth Pandey *

Department of Chemistry, Indian Institute of Technology Delhi, Hauz Khas, New Delhi 110016, India



Terceira Hipótese

Polímeros podem ser usados para captura de CO₂ por adsorção

International Journal of Greenhouse Gas Control 96 (2020) 103005



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

International Journal of Greenhouse Gas Control

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ijggc



CO₂ capture adsorbents functionalized by amine – bearing polymers: A review



Anish Mathai Varghese^a, Georgios N. Karanikolos^{a,b,c,*}

^a Department of Chemical Engineering, Khalifa University, P.O. Box 127788, Abu Dhabi, United Arab Emirates

^b Center for Catalysis and Separations (CeCaS), Khalifa University, P.O. Box 127788, Abu Dhabi, United Arab Emirates

^c Research and Innovation Center on CO₂ and H₂ (RICH), Khalifa University, P.O. Box 127788, Abu Dhabi, United Arab Emirates

Quarta Hipótese

Polímeros podem ser usados para captura de CO₂ por membranas

Chinese Journal of Chemical Engineering 26 (2018) 2238–2254

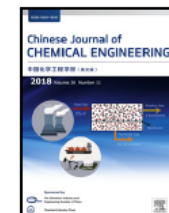


ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Chinese Journal of Chemical Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/CJChE



Review

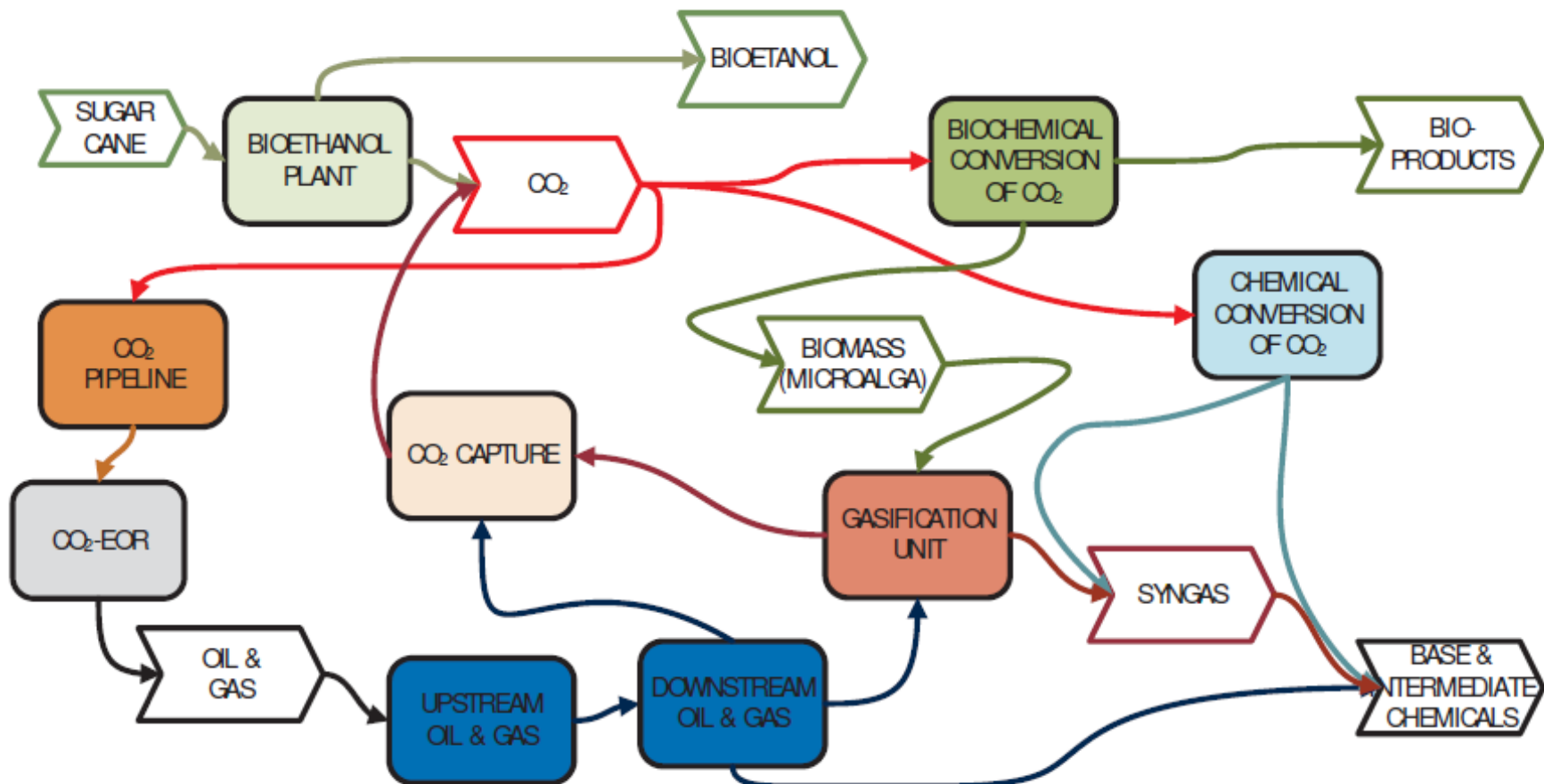
Recent advances in polymeric membranes for CO₂ capture

Yang Han, W.S. Winston Ho *

William G. Lowrie Department of Chemical and Biomolecular Engineering and Department of Materials Science and Engineering, The Ohio State University, 151 West Woodruff Avenue, Columbus, OH 43210-1350, USA



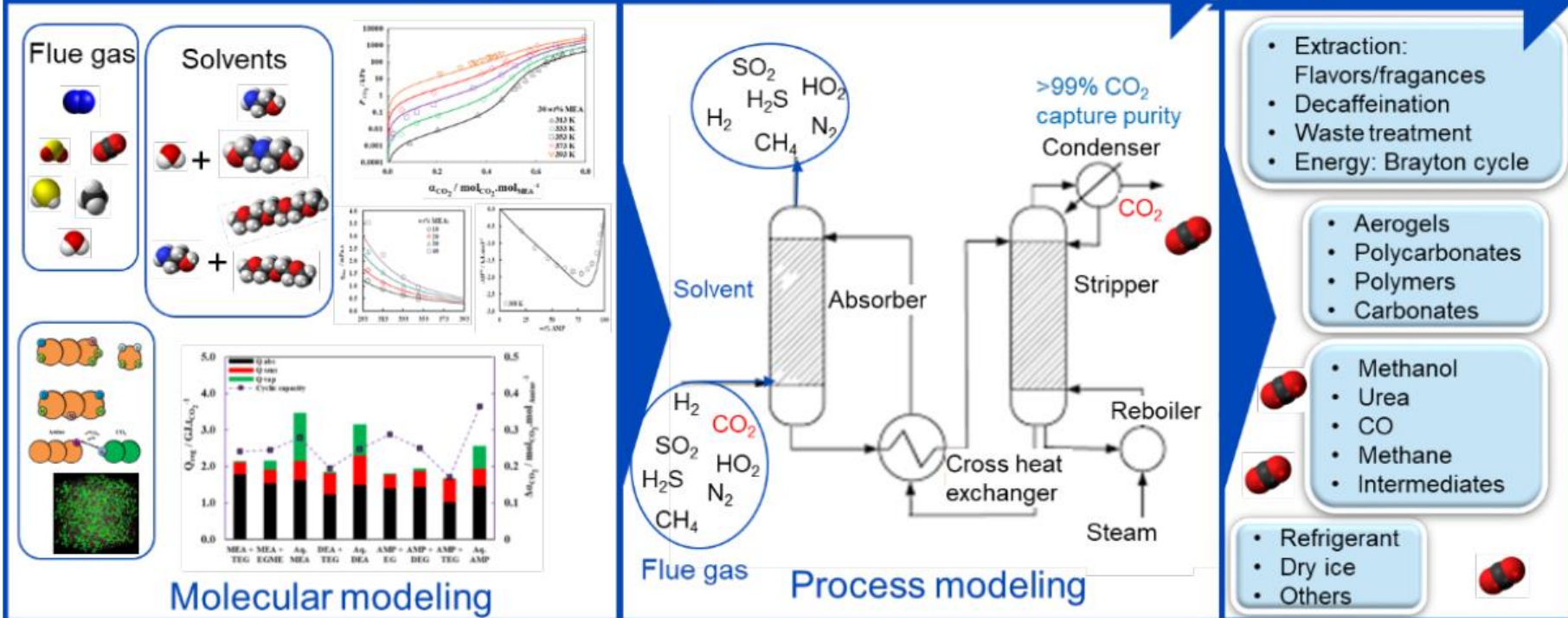
Captura e Utilização de CO₂ (CCU)



Diversidade de Opções

CO₂ capture and separation

CO₂ utilization



Vega et al. (2020), 1st. Iberian Meeting on Supercritical Fluids, Santiago de Compostela, Spain.

Captura de CO₂

“It is important that we explore all possibilities for carbon capture, and that as researchers we **create as many options** to promote this goal **as possible**.”

Unfortunately, this process is very similar to the lottery; at the end of the day, it is likely that **only one or two of these options will survive**.

Unlike the lottery, however, a “losing ticket” is not worthless. Even “unsuccessful” strategies for carbon capture will allow us to gain **invaluable insights into the syntheses and properties of novel materials**”

Smit, B., Reimer, J.A., Oldenburg, C.M., Bourg, I.C., “Introduction to Carbon Capture and Sequestration”, Imperial College Press, 2014.

Métodos de Captura de CO₂

- **Captura pré-combustão**

O CO₂ é separado do combustível antes da combustão

Qual o combustível?

- **Captura pós-combustão**

O CO₂ é separado dos produtos da combustão

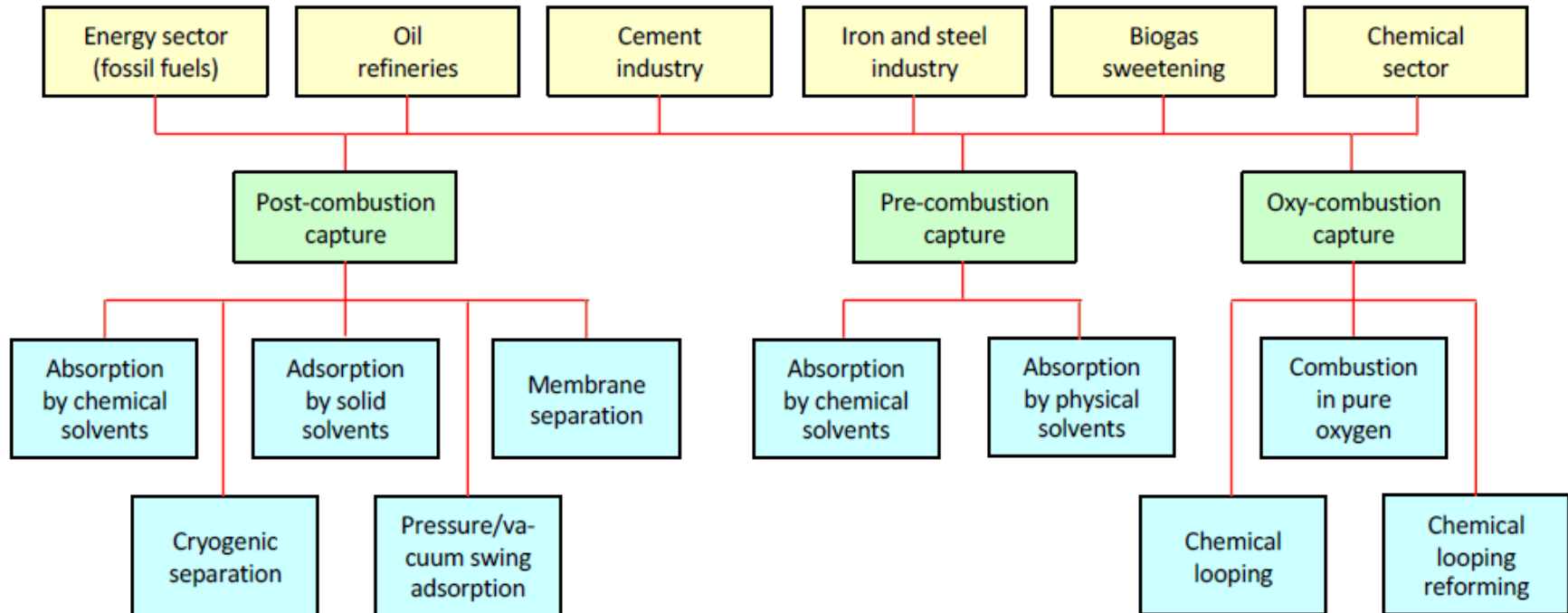
Quais os produtos da combustão?

- **Captura oxi-combustão**

O CO₂ é separado dos produtos da combustão, que usa oxigênio, em vez de ar

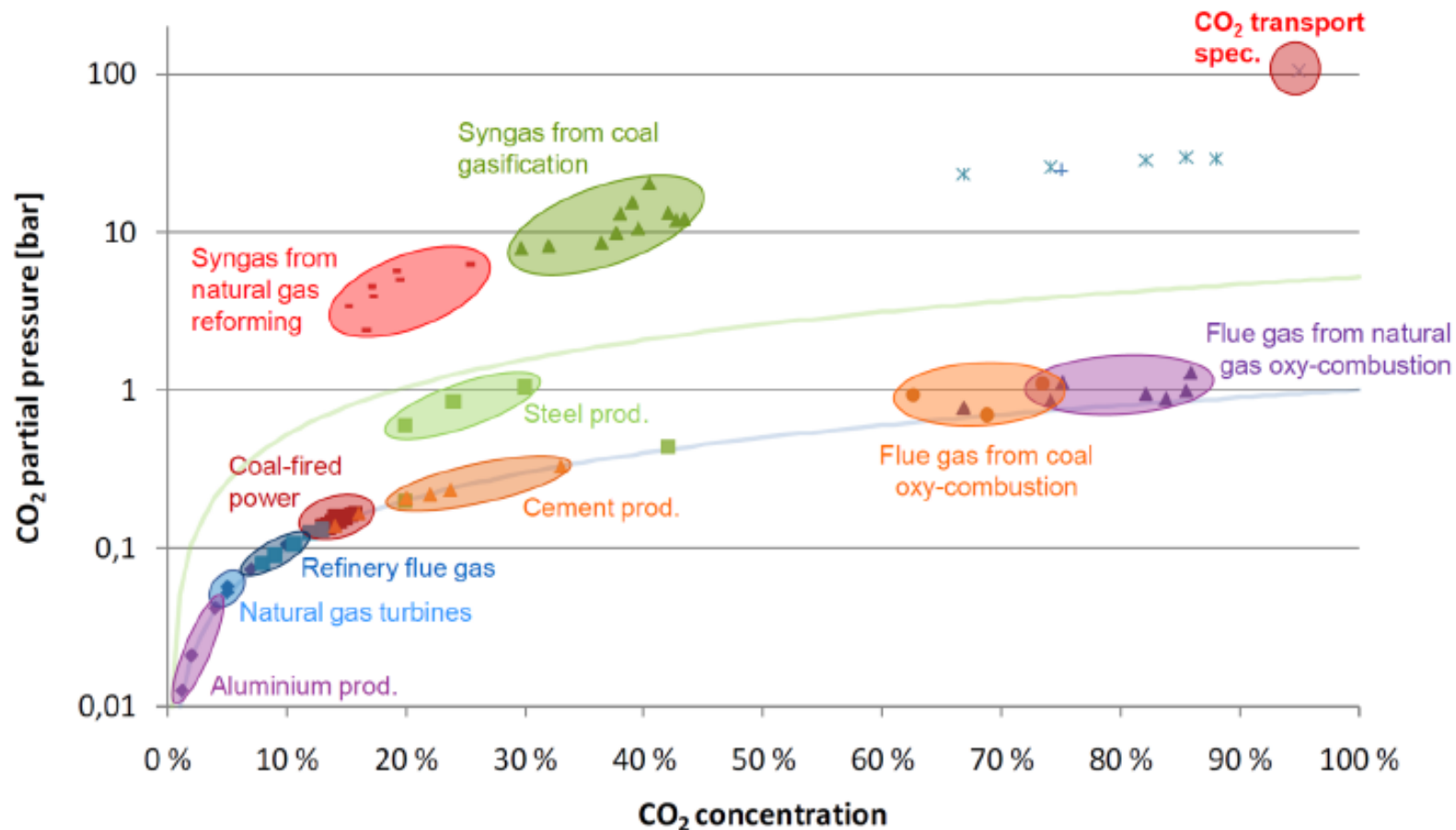
Quais os produtos da combustão?

Métodos de Captura de CO₂



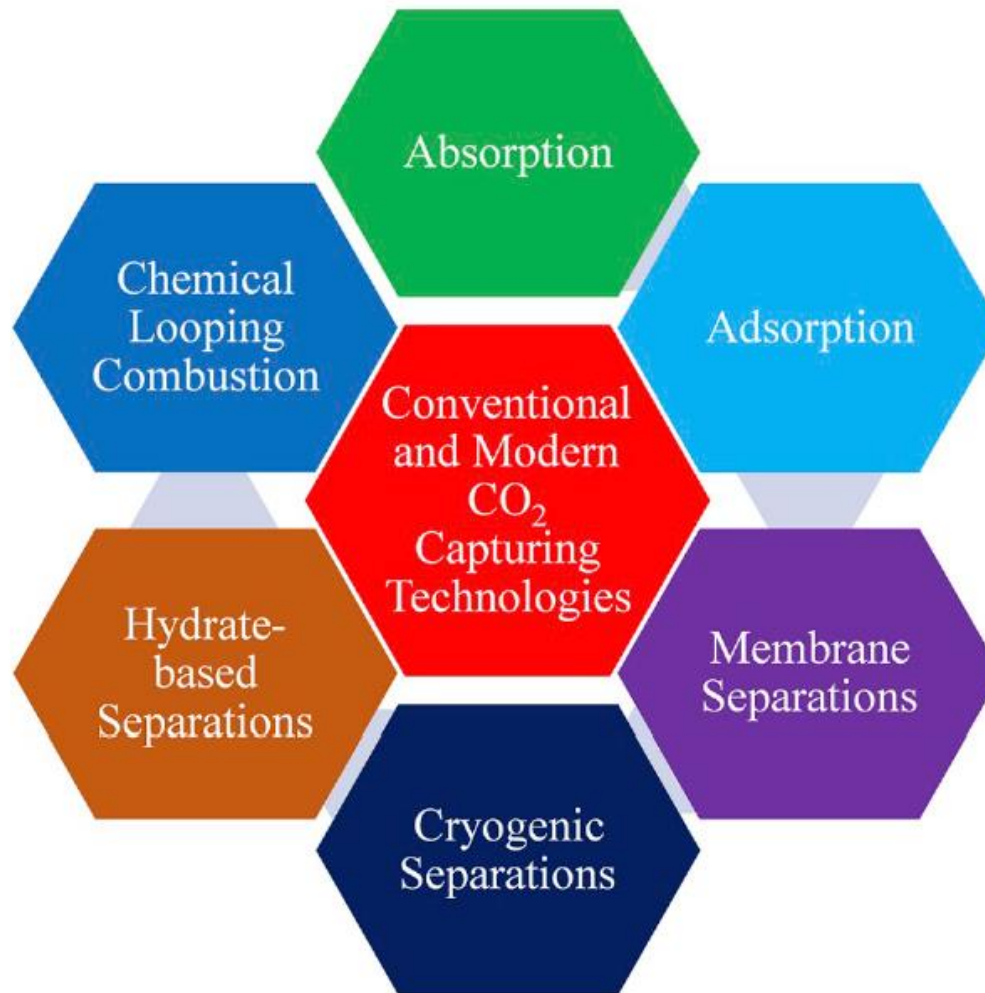
Cau (2018), World Energy Demand and Related Issues to CO₂ Production, Int. CCS Summer School, Italy.

Captura de CO₂ de Processos Industriais



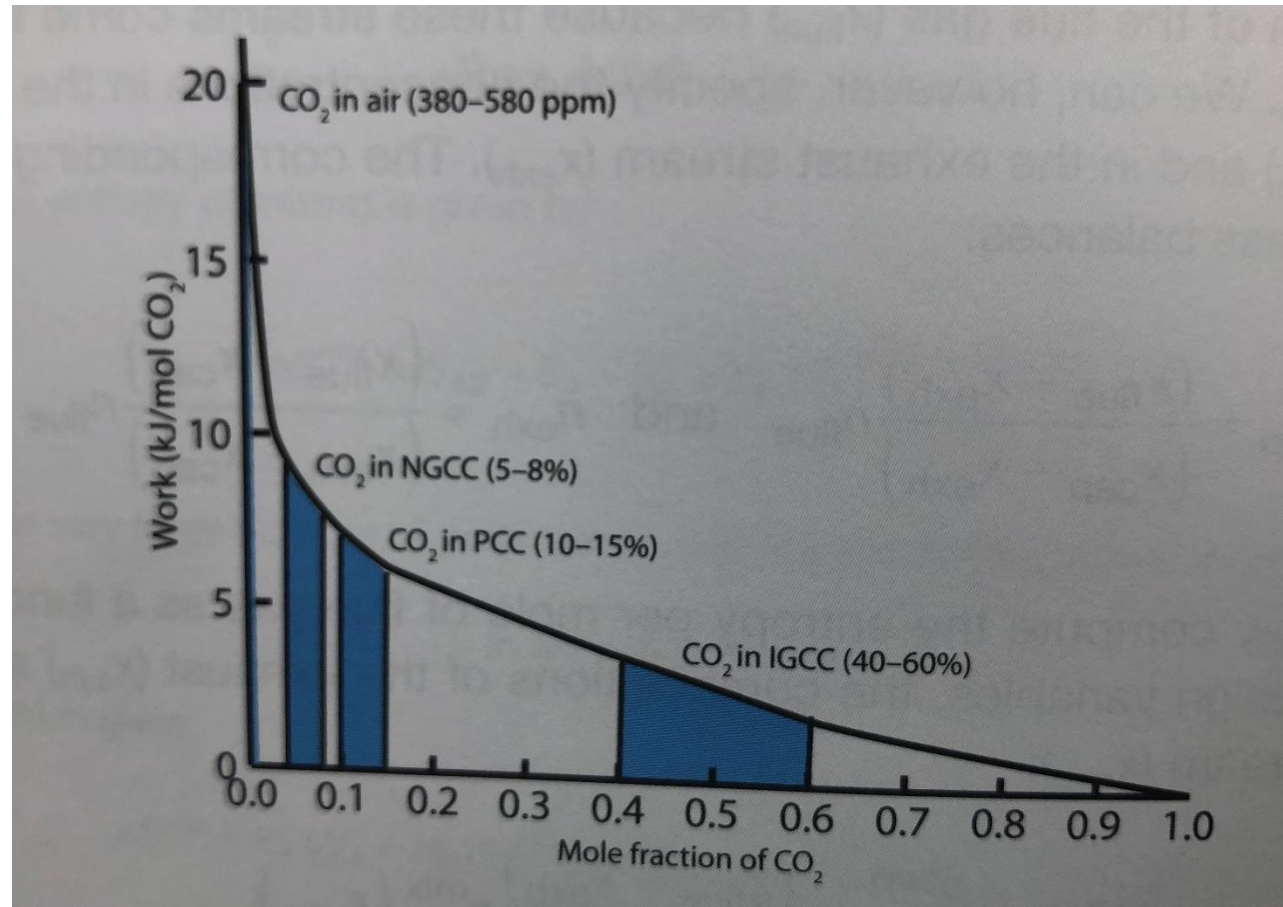
Lockwood (2018), World Energy Demand and Related Issues to CO₂ Production, Int. CCS Summer School, Italy.

Tecnologias de Captura de CO₂



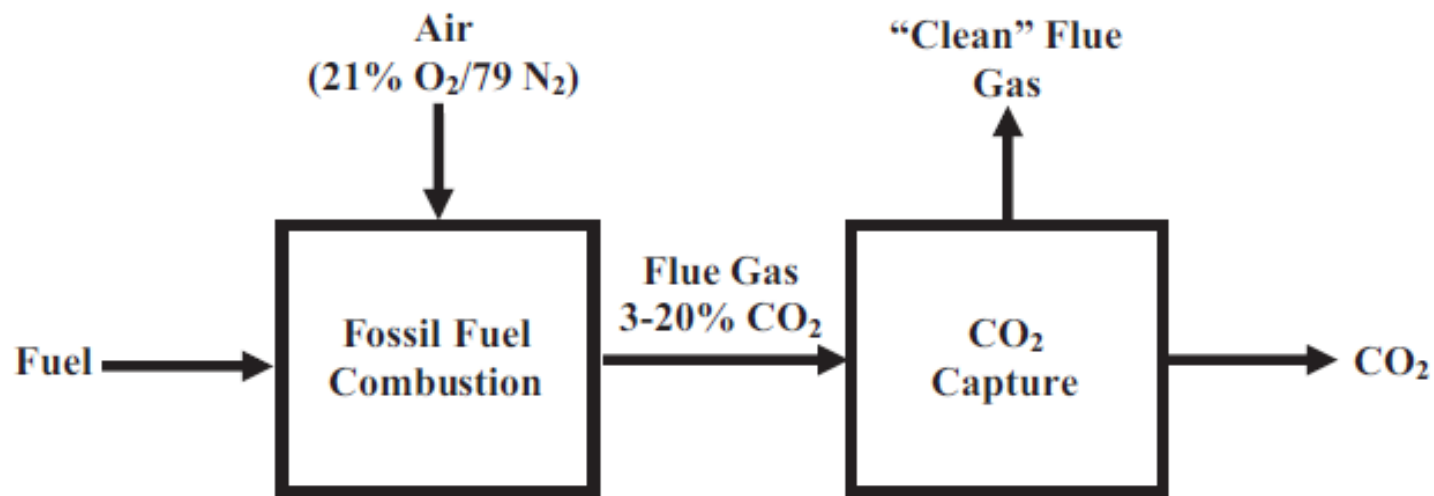
Mukhtar et al. (2020), J. Nat. Gas Sci. Eng. 77, 103203

Trabalho mínimo para capturar 100% do CO₂ em função da sua concentração inicial no gás de combustão

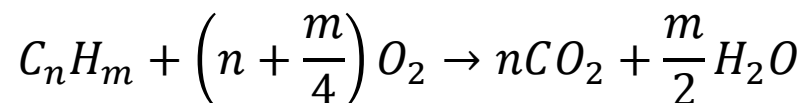


Smit et al (2014), "Introduction to Carbon Capture and Sequestration", Imperial College Press

Captura de CO₂ Pós-combustão



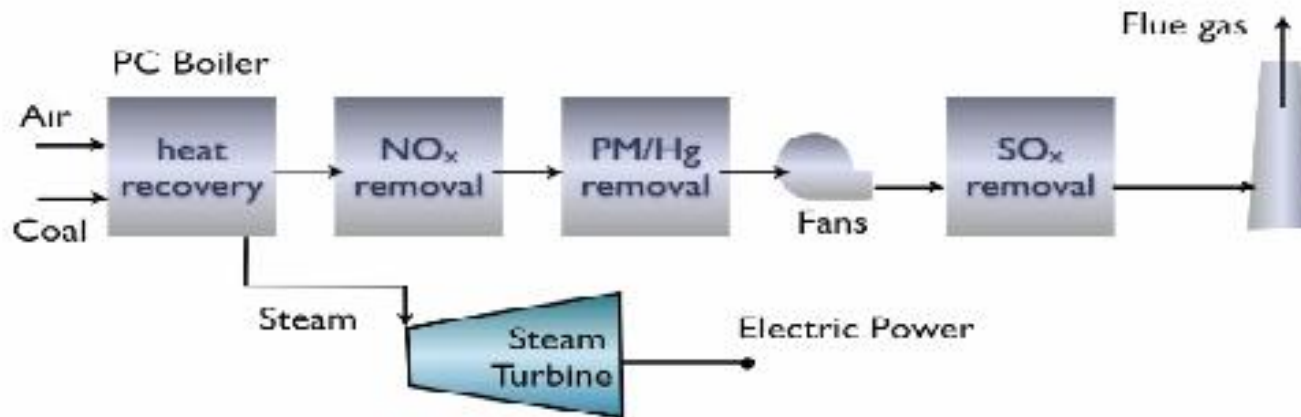
Spigarelli & Kawatra (2013), J. CO₂ Utilization 1, 69-87



Qual o teor de CO₂ nos produtos da combustão?
Qual a “especificação” desejada para o CO₂ a remover dos produtos da combustão?

Planta de Potência à Base de Carvão (usina termoeletrica)

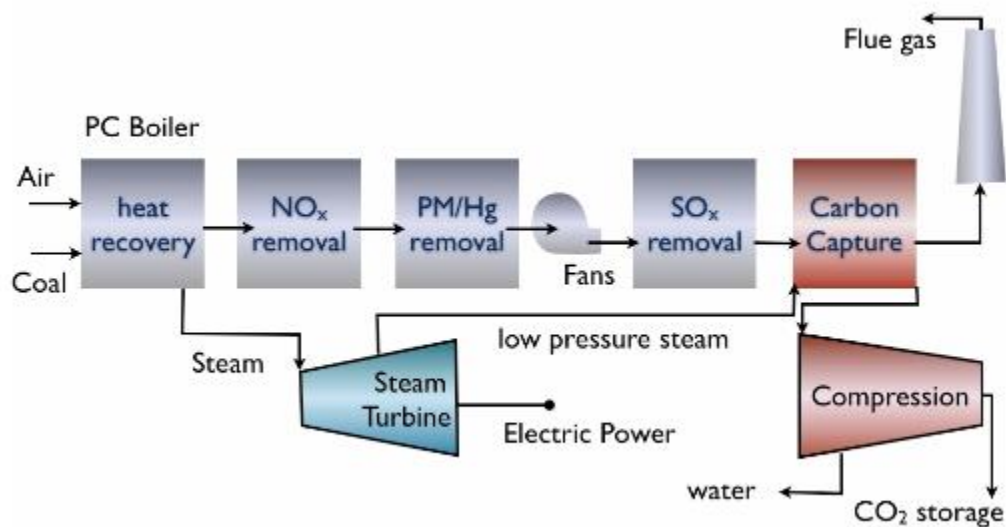
Sem captura de CO₂



<https://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/p911#t=suppl>

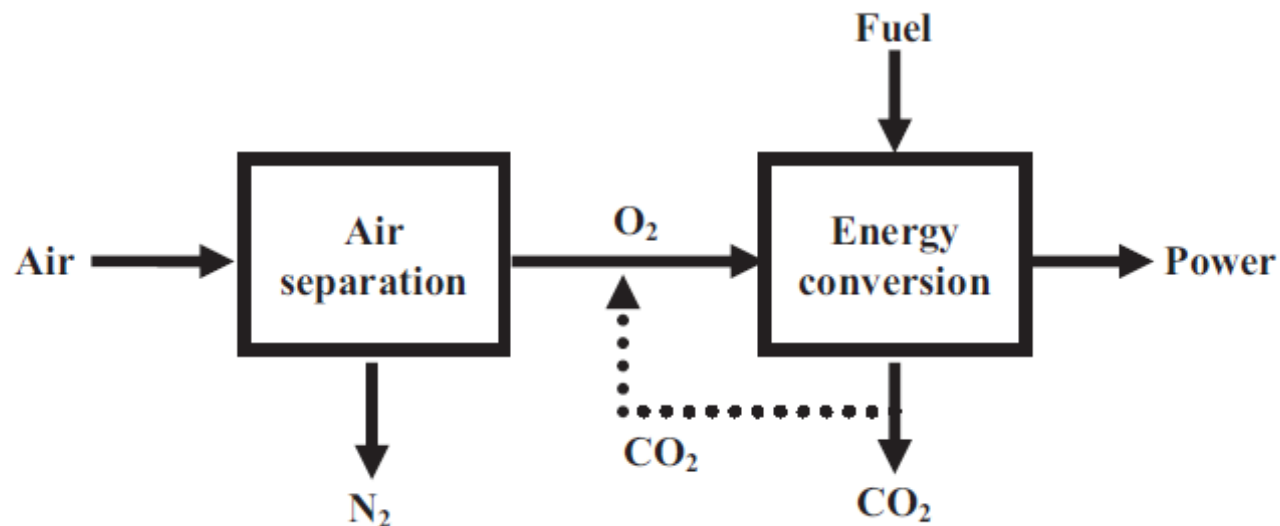
Planta de Potência à Base de Carvão (usina termoeleétrica)

Captura pós-combustão



<https://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/p911#t=suppl>

Captura de CO₂ Oxi-combustão

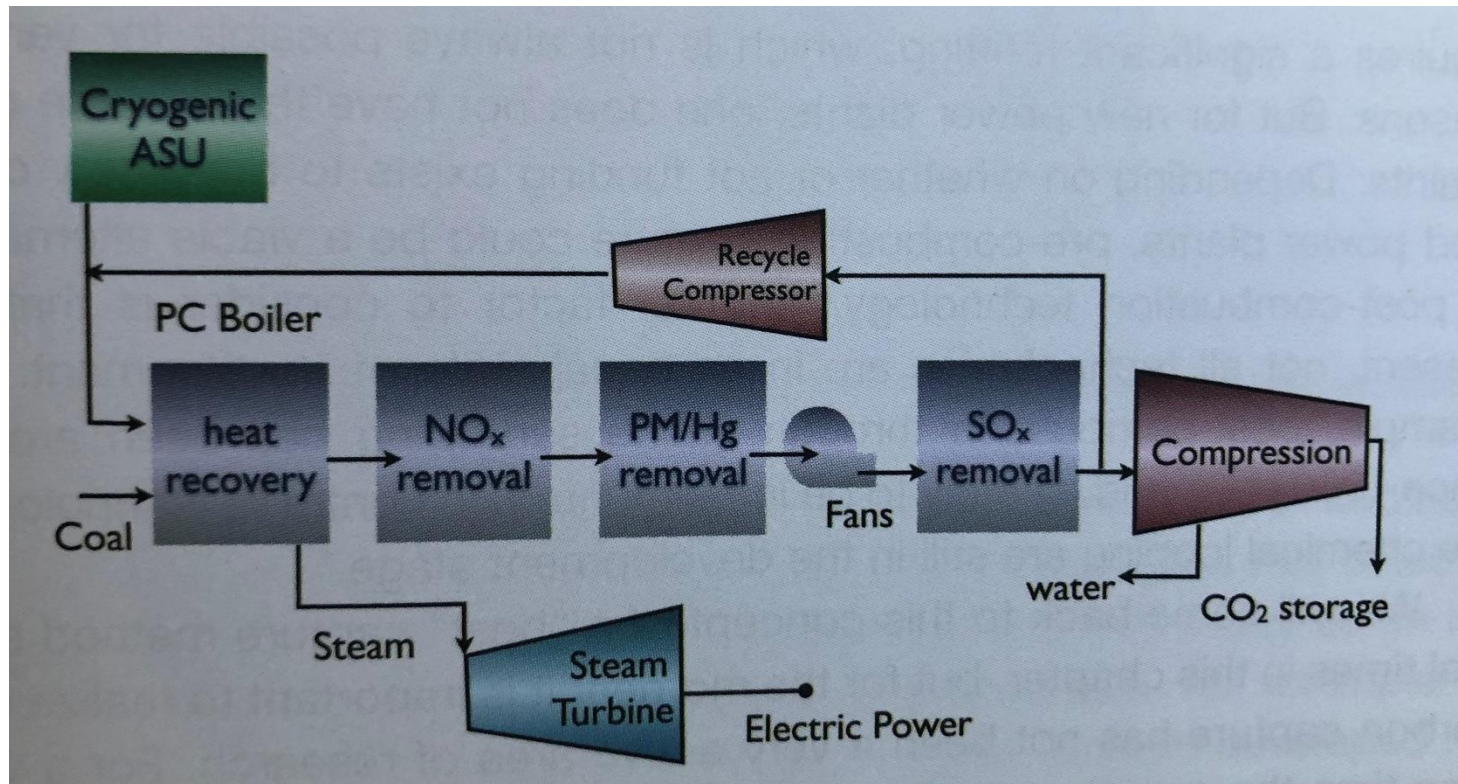


Spigarelli & Kawatra (2013), J. CO₂ Utilization 1, 69-87

Por que gastar dinheiro para separar o O₂ do N₂?
Qual a vantagem da combustão usando apenas O₂?
Qual a pureza do O₂ separado do N₂?

Planta de Potência à Base de Carvão (usina termoeétrica)

Captura por Oxi-combustão)

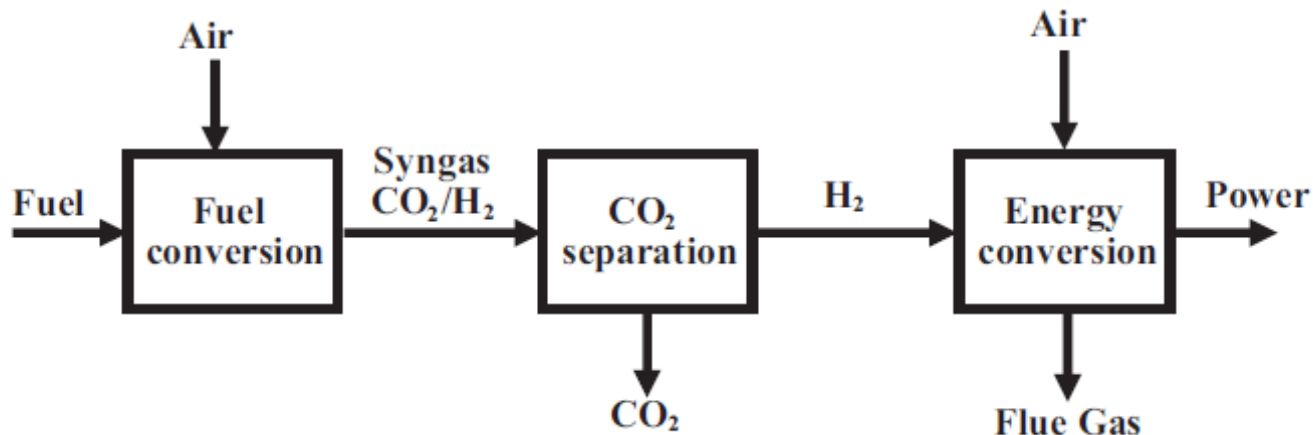


Captura de CO₂ por Oxi-combustão

- Consiste em fazer a combustão do combustível usando oxigênio puro ao invés de ar
- O gás de combustão teria apenas H₂O + CO₂
- O oxigênio puro é obtido do ar, por separação criogênica (\$\$\$) – **etapa limitante em termos de custo**

Captura de CO₂ Pré-combustão

Qual o teor de CO₂ nos produtos da gaseificação?
Qual a “especificação” desejada para o CO₂ a remover do produtos da gaseificação?

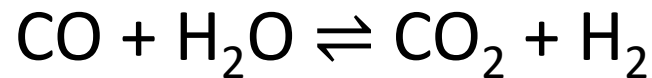


Spigarelli & Kawatra (2013), J. CO₂ Utilization 1, 69-87

Captura de CO₂ por Pré-combustão - IGCC

- Gasificação: converte o combustível em gás de síntese (mistura de CO + H₂)

- Reação de deslocamento do gás d'água:



Aumenta o teor de H₂ na mistura

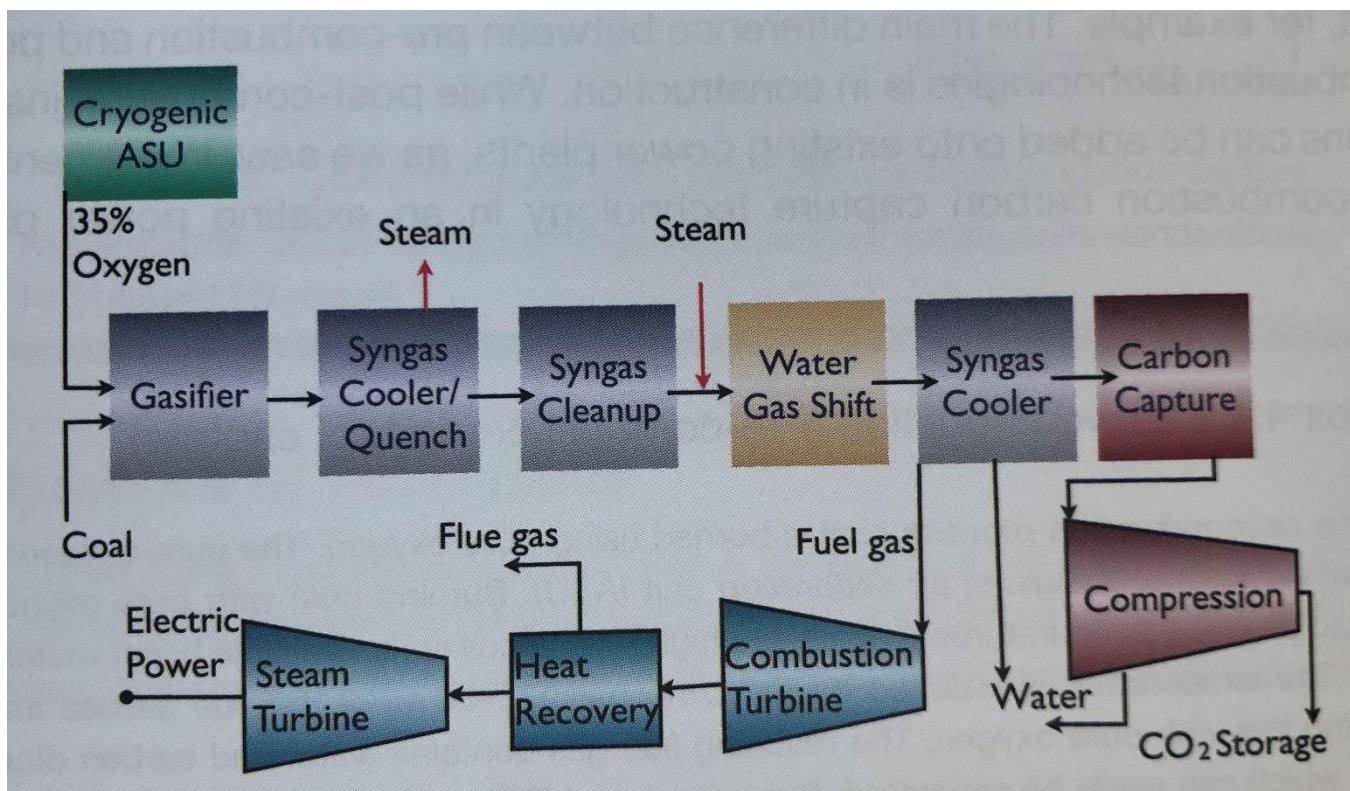
- O CO₂ é separado do H₂ antes da combustão

Separação da mistura CO₂, CO e H₂, a alta pressão

- O H₂ é sofre combustão para gerar o calor desejado

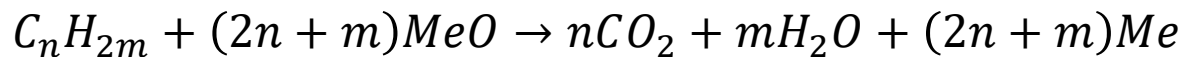
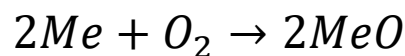
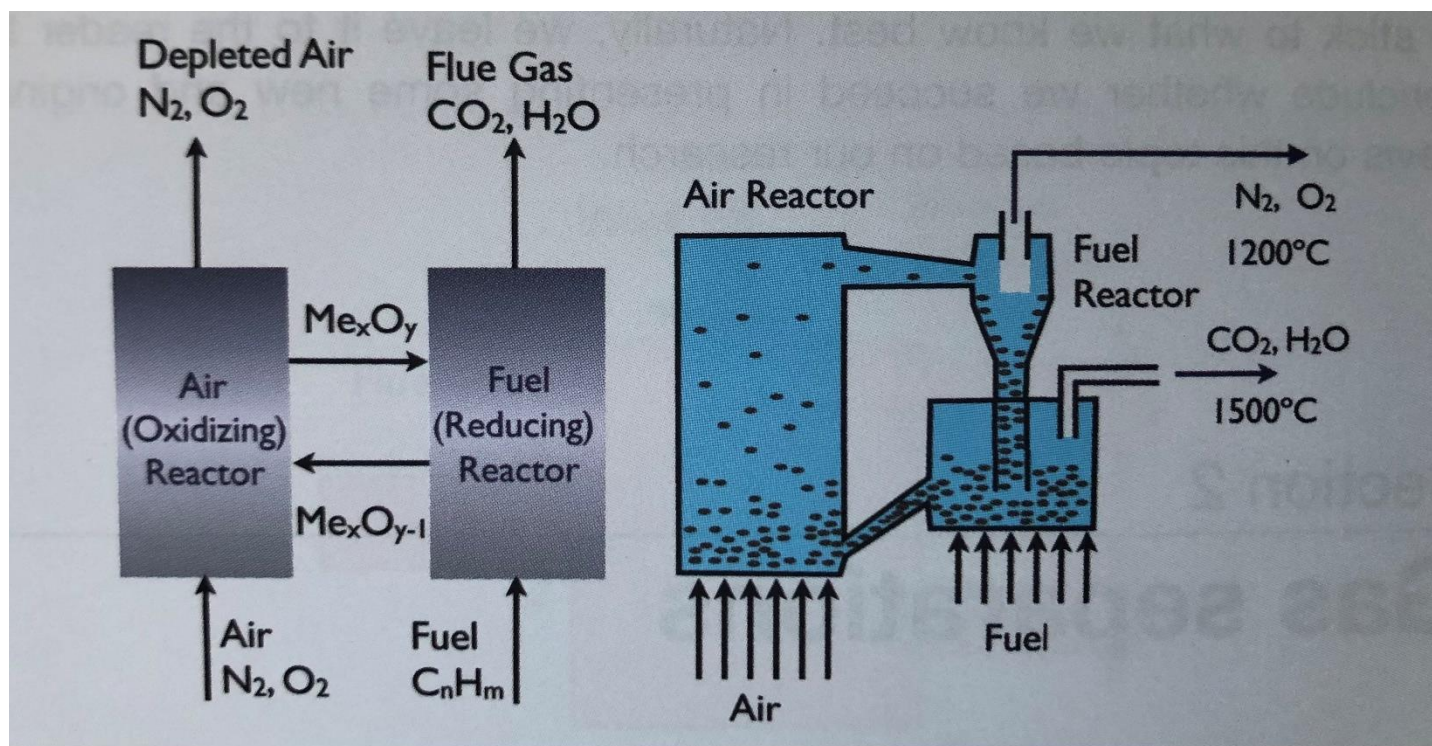
Planta de Potência à Base de Carvão (usina termoeétrica)

Captura Pré-combustão - IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle)



Planta de Potência à Base de Carvão (usina termoeleétrica)

Captura Pré-combustão - Loop Químico



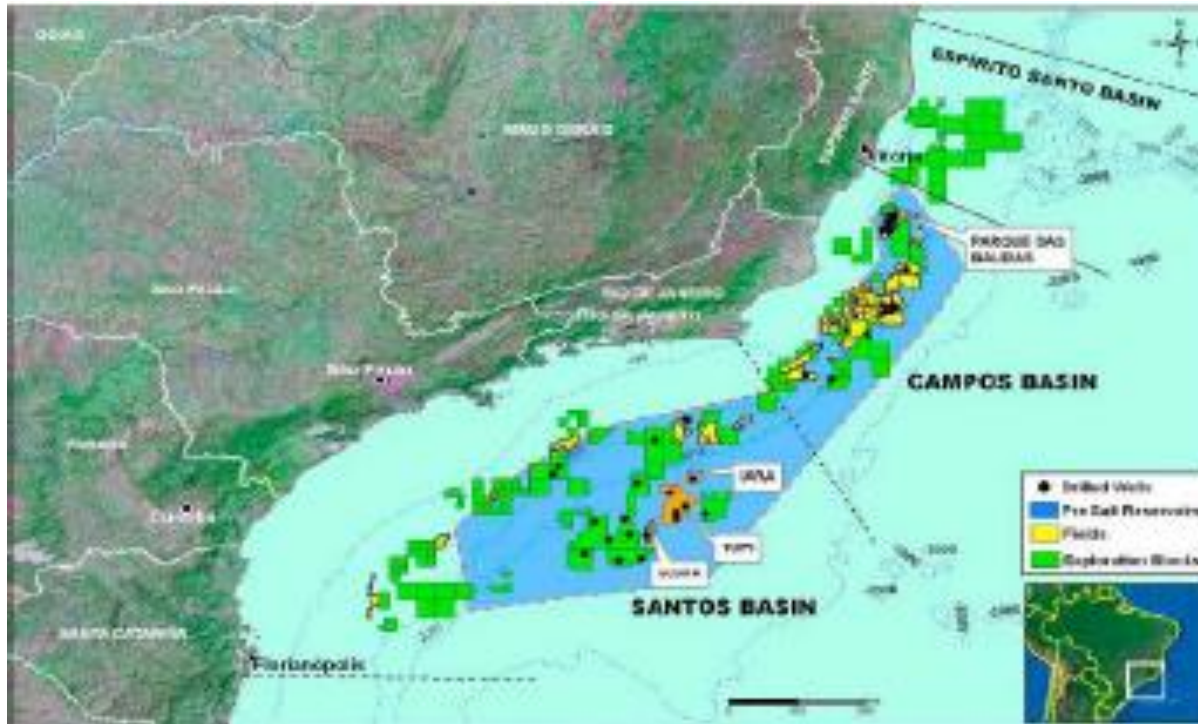
Captura de CO₂ Pré-combustão

Tabela 2.2: Composição típica de gás natural no Brasil.
Fonte: (VAZ, MAIA e SANTOS, 2008).

Composição (%vol.)	Ceará/ Rio Grande do Norte	Sergipe/ Alagoas	Bahia	Espírito Santo	Rio de Janeiro	São Paulo	Amazonas
C ₁	74,53	81,32	81,14	88,16	79,69	87,98	68,88
C ₂	10,40	8,94	11,15	4,80	9,89	6,27	12,20
C ₃	5,43	3,26	3,06	2,75	5,90	2,86	5,19
C ₄	2,81	1,84	1,39	1,55	2,13	1,16	1,80
C ₅	1,30	0,74	0,72	0,44	0,77	0,27	0,43
C ₆₊	1,40	0,42	0,30	0,44	0,44	0,07	0,18
N ₂	1,39	1,51	1,43	1,62	0,80	1,16	11,12
CO ₂	2,74	1,97	0,81	0,24	0,50	0,23	0,20
H ₂ S (mg/m ³)	1,50	7,50	7,60	7,50	6,70	Traços	Traços

Qual o teor de CO₂ no GN nos campos do pré-sal brasileiro?
Qual a “especificação” desejada para o CO₂ a remover do GN?

Pré-sal: oportunidade para captura e conversão de CO₂ em FPSO



10-40% CO₂
10,8 milhões de toneladas de CO₂ por ano
(0,03% da geração de CO₂ no mundo)

Fonte: ANP

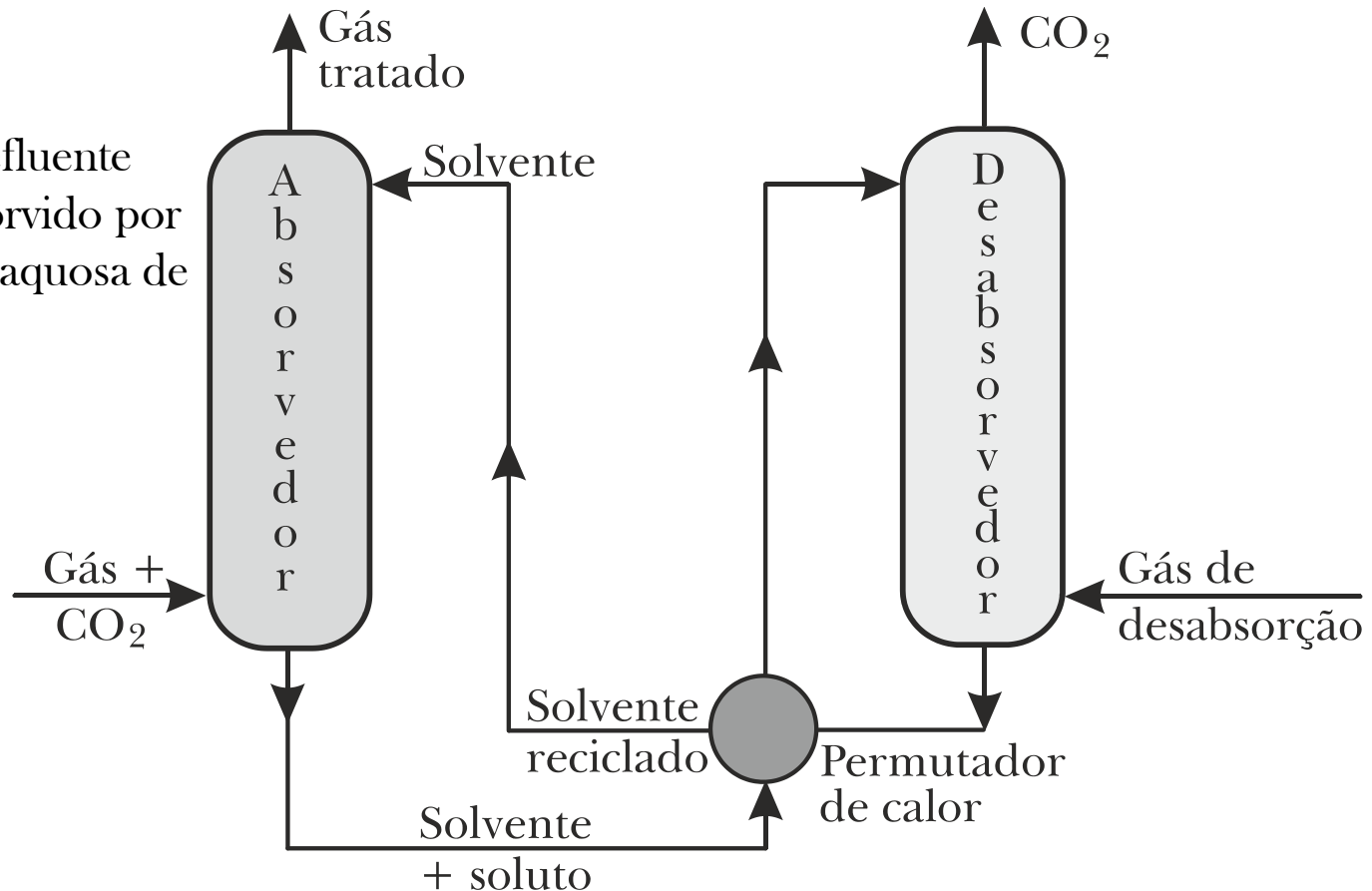
Pré-sal: teor de CO₂ no gás associado

Teor de CO ₂ no gás produzido	Fração do gás produzido disponível para escoamento, descontando o gás usado para geração elétrica (artigo OTC)	Fração do gás produzido disponível para escoamento e para geração elétrica na plataforma	Fração do gás produzido permeado nas membranas (corrente rica em CO ₂)	Fração de CO ₂ no gás permeado nas membranas
10%	70%	80%	20%	35%
20%	56%	66%	34%	50%
30%	45%	55%	45%	60%
40%	36%	46%	54%	69%
45%	30%	40%	60%	70%
50%	27%	37%	63%	75%

Fonte: ANP

Absorção e Stripping

CO₂ de um efluente gasoso é absorvido por uma solução aquosa de uma amina

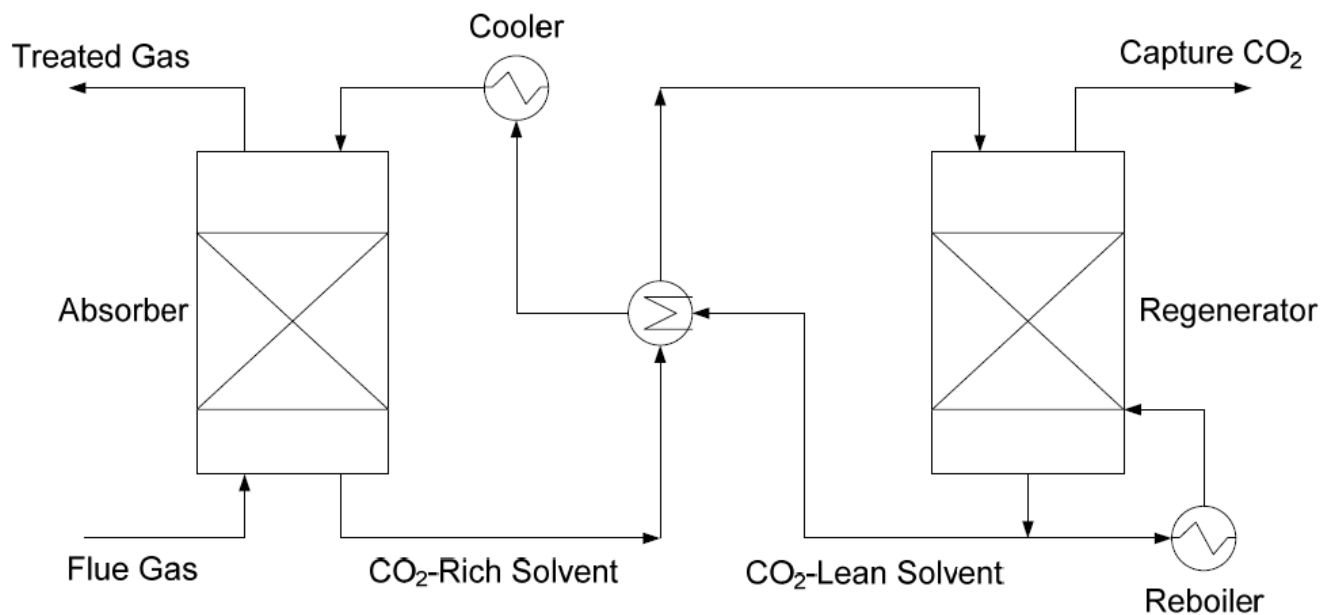


Exemplos Industrias da Absorção

Na maioria dos casos, o soluto está contido nos gases efluentes de reatores químicos

Soluto	Absorvente	Tipo de Absorção
Acetona	Água	Física
Acrilonitrila	Água	Física
Amônia	Água	Física
Etanol	Água	Física
Dióxido de enxofre	Água	Física
Formaldeído	Água	Física
Dióxido de carbono	NaOH (aq.)	Química irreversível
Ácido clorídrico	NaOH (aq.)	Química irreversível
<u>CO₂ e H₂S</u>	<u>Monoetanolamina (aq.)</u>	<u>Química reversível</u>
CO ₂ e H ₂ S	Dietileno glicol	Química reversível

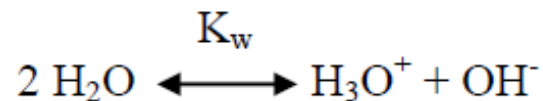
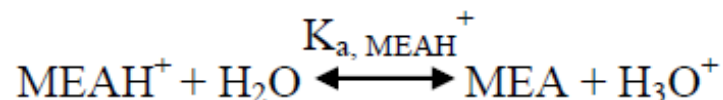
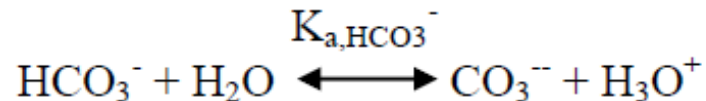
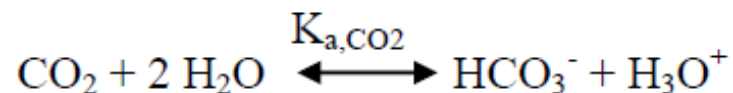
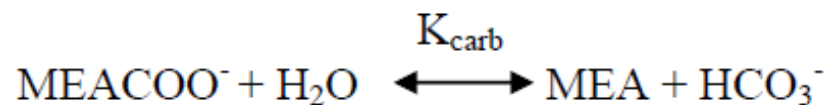
Absorção com Reação Química



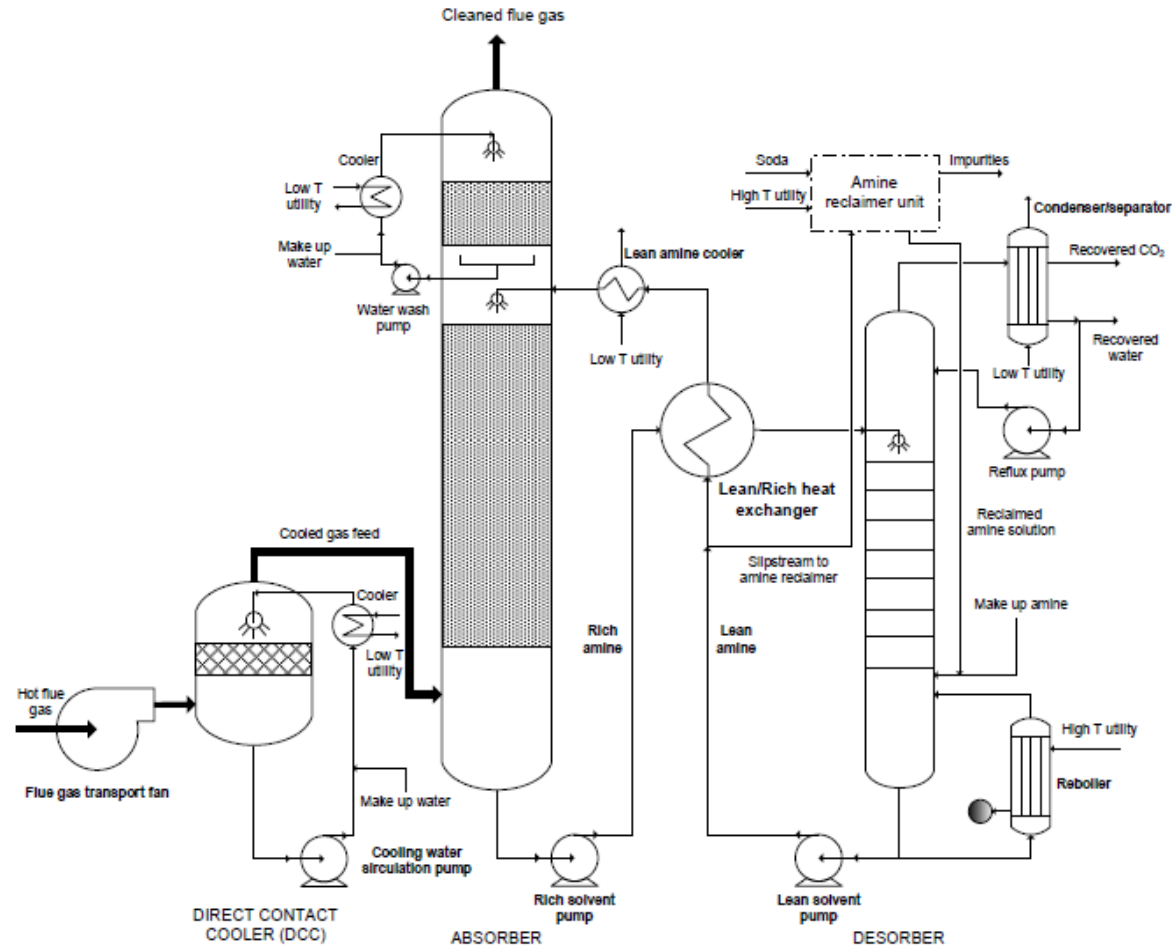
Configuração típica de uma sistema de absorção de CO₂ e posterior regeneração do absorvente

Equilíbrio Químico

Reações que ocorrem na fase líquida quando o CO_2 é absorvido por uma solução aquosa de MEA:

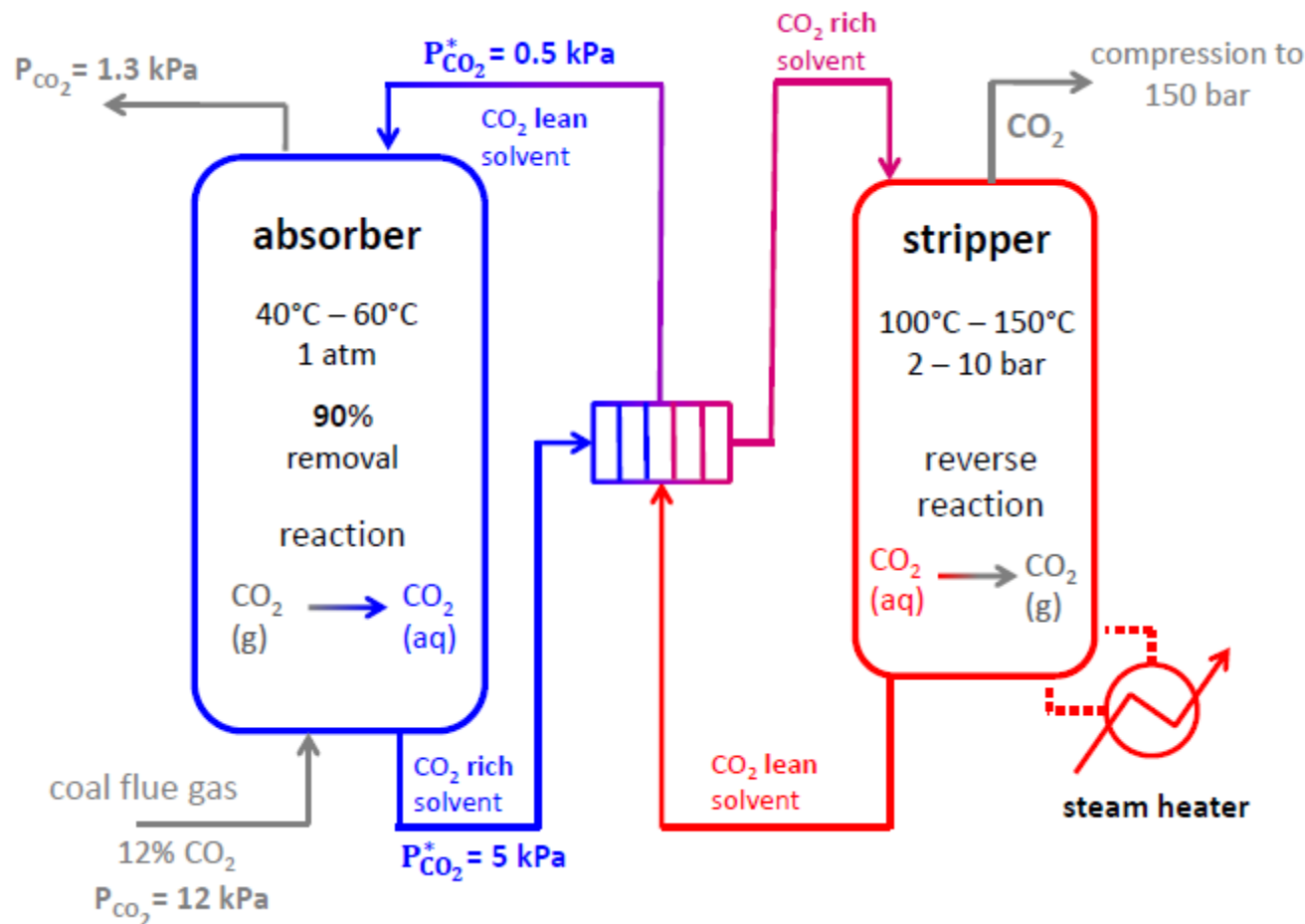


Absorção com Reação Química



Configuração típica de uma sistema de absorção/stripping de CO₂ usando solução aquosa de aminas

Absorção com Reação Química



Configuração típica de uma sistema de absorção/stripping de CO₂ usando solução aquosa de aminas

Especificações típicas de um processo de captura de CO₂ por absorção

Process	Inlet CO₂ (vol%)	Outlet CO₂ (vol%)	P_{TOT} (atm)
Natural gas treatment	0 - 50	1 - 2	10 - 70
Ammonia	17 - 19	0.01 - 0.2	30
Coal power plant	10 - 15	1 - 1.5	1 - 1.3
Natural gas power plant	2 - 3	0.2 - 0.3	1 - 1.3

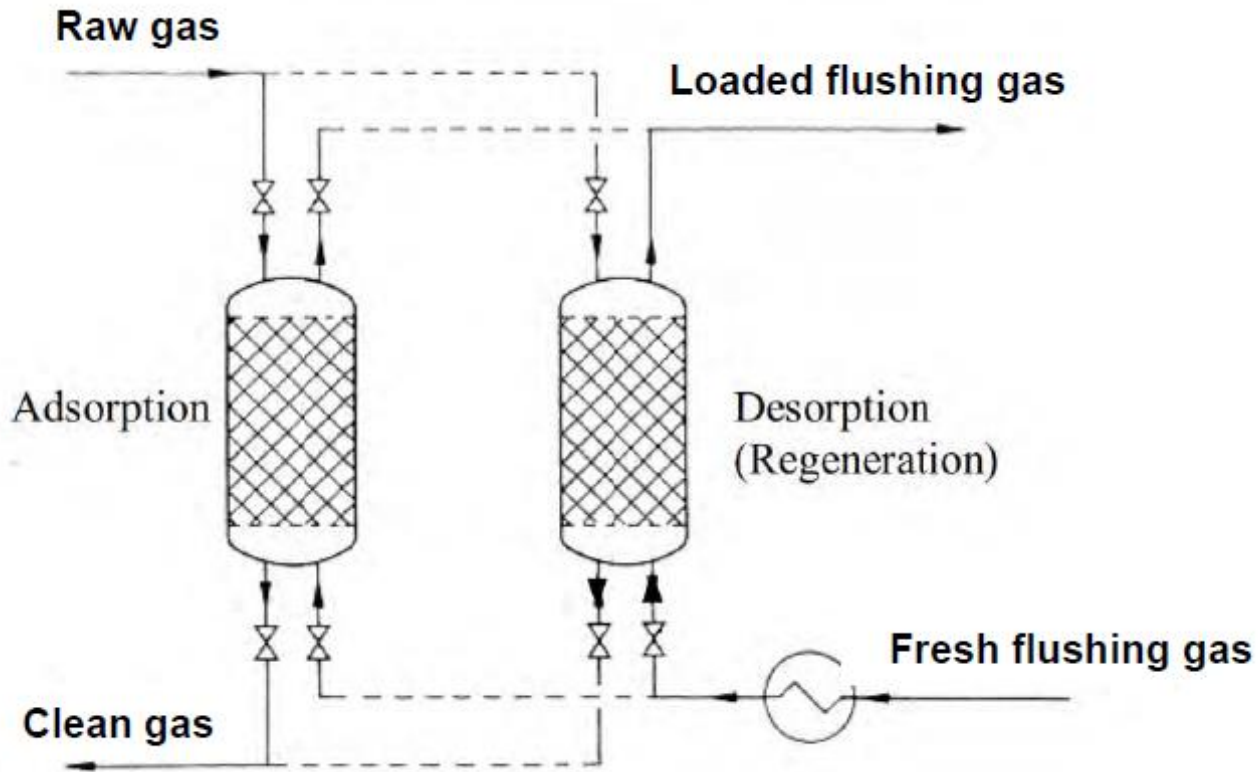
Aminas comumente usadas nos processos de absorção de CO₂

Class	Name	Structure
Primary Amine	Monoethanolamine (MEA)	$\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{N}(\text{H})_2$
	Diglycolamine (DGA)	$\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{N}(\text{H})_2$
Secondary Amine	Diethanolamine (DEA)	$\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{N}(\text{H})-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$
	Diisopropanolamine (DIPA)	$(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}-\text{CH}_2-\text{N}(\text{H})-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_3$
Tertiary Amine	Triethanolamine (TEA)	$\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{N}(\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH})_2$
	N-methyldiethanolamine (MDEA)	$\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{N}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$
Hindered Amine	2-amino-2-methyl-1-propanol (AMP)	$\text{HO}-\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{N}(\text{H})_2$

Condições típicas de um processo de captura de CO₂ por absorção com aminas

Solvent	Concentration of Solvent (MEA Concentration)	Temperature range
MDEA	27 wt% (3 wt%) 25 wt% (5 wt%) 23 wt% (7 wt%)	25-60 °C
PZ	2.0 M (30 wt%)	96 °C
TEA	0.1-0.5 M (0.1-0.5 M)	30-40 °C

Adsorção/Dessorção



20/10/2023

Adsorção

EXEMPLOS de ADSORÇÃO DE LÍQUIDOS:

- remoção de compostos orgânicos da água
- separação de parafinas e aromáticos
- recuperação de produtos da fermentação

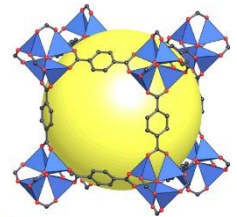
EXEMPLOS de ADSORÇÃO DE GASES:

- remoção de compostos sulfurados do gás natural
- remoção de odores do ar
- **captura pós-combustão de CO₂**

Adsorção

ADSORVENTES

- Partículas com tamanhos de 0,1 a 12 mm
- Estrutura porosa (volume poroso até 50% do volume total da partícula)
- A adsorção, geralmente na forma de monocamadas, ocorre na superfície interna dos poros do adsorvente
- Área típica da superfície dos poros: **100 a 2000 m²/g**
- Alguns adsorventes comerciais:
 - ✓ Carvão ativado (300 a 1200 m²/g) - **amorfo**
 - ✓ Sílica gel (600 a 800 m²/g) - **amorfo**
 - ✓ Alumina ativada (200 a 500 m²/g) - **amorfo**
 - ✓ Zeólitas – **crystalino** (peneira molecular)
 - ✓ Resinas poliméricas
 - ✓ **NANOMATERIAIS: Metal Organic Frameworks (MOFs)** →



(Vide: Fig. 6.5.1 e Fig. 6.5.3 <https://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/p911#animationsscreen>)



Alumina ativada



Zeólitas



Sílica-gel

Adsorção

O que você precisa saber?

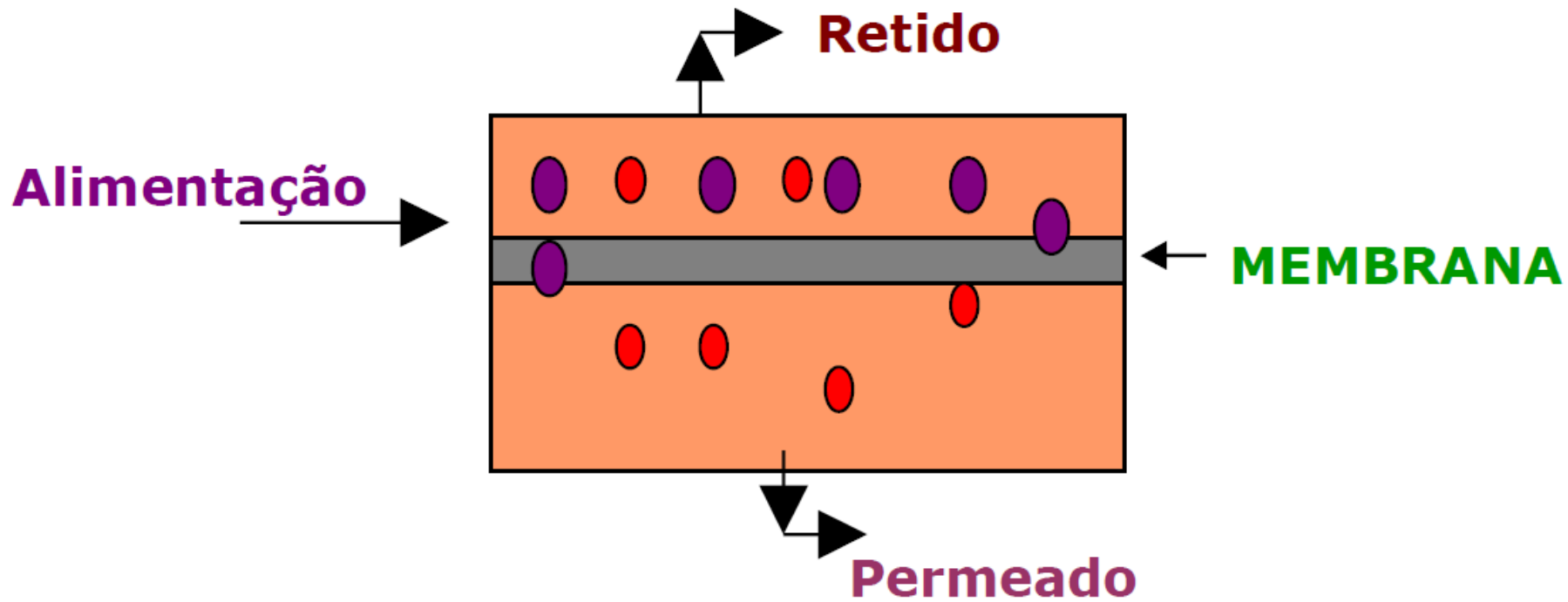
ADSORVENTES: propriedades e métodos de caracterização

TERMODINÂMICA DA ADSORÇÃO: isotermas de adsorção, correlações, modelos, entalpia de adsorção, equações de equilíbrio, etc.

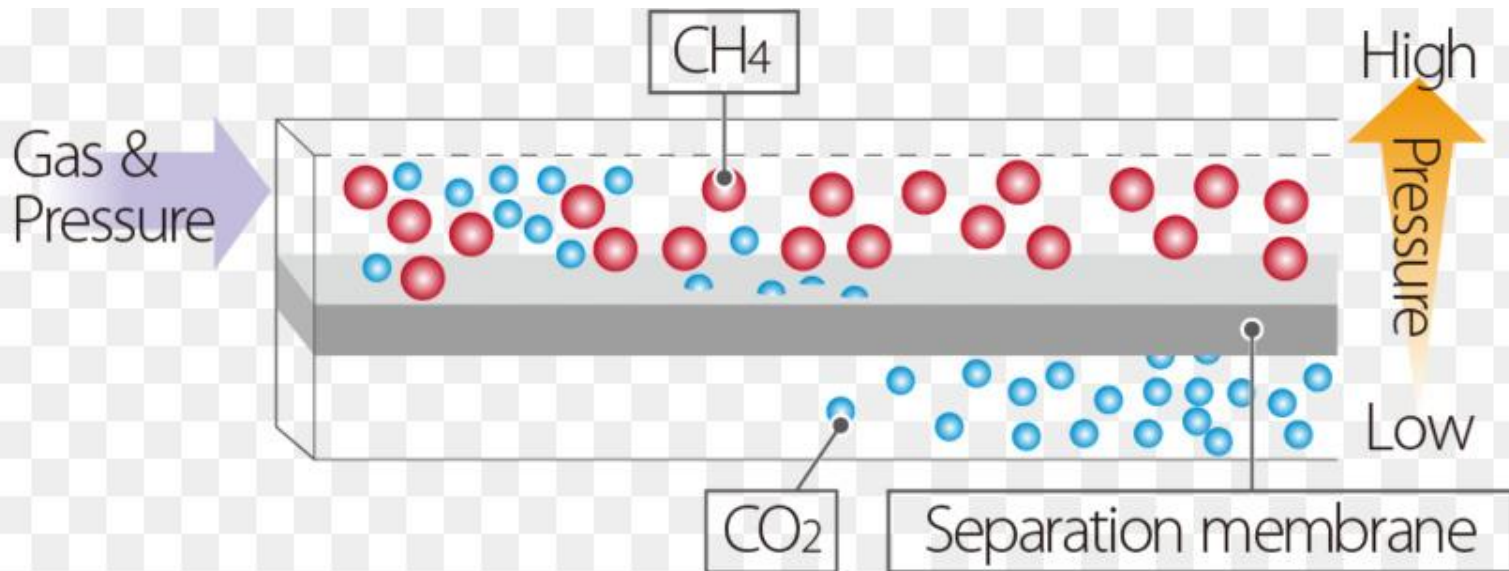
DIFUSÃO EM MEIO POROSO: tipos de poros e mecanismos difusão, determinação experimental de difusividade, etc.

CINÉTICA DA ADSORÇÃO: transferência de calor e massa, sistemas em batelada, sistemas contínuos, etc.

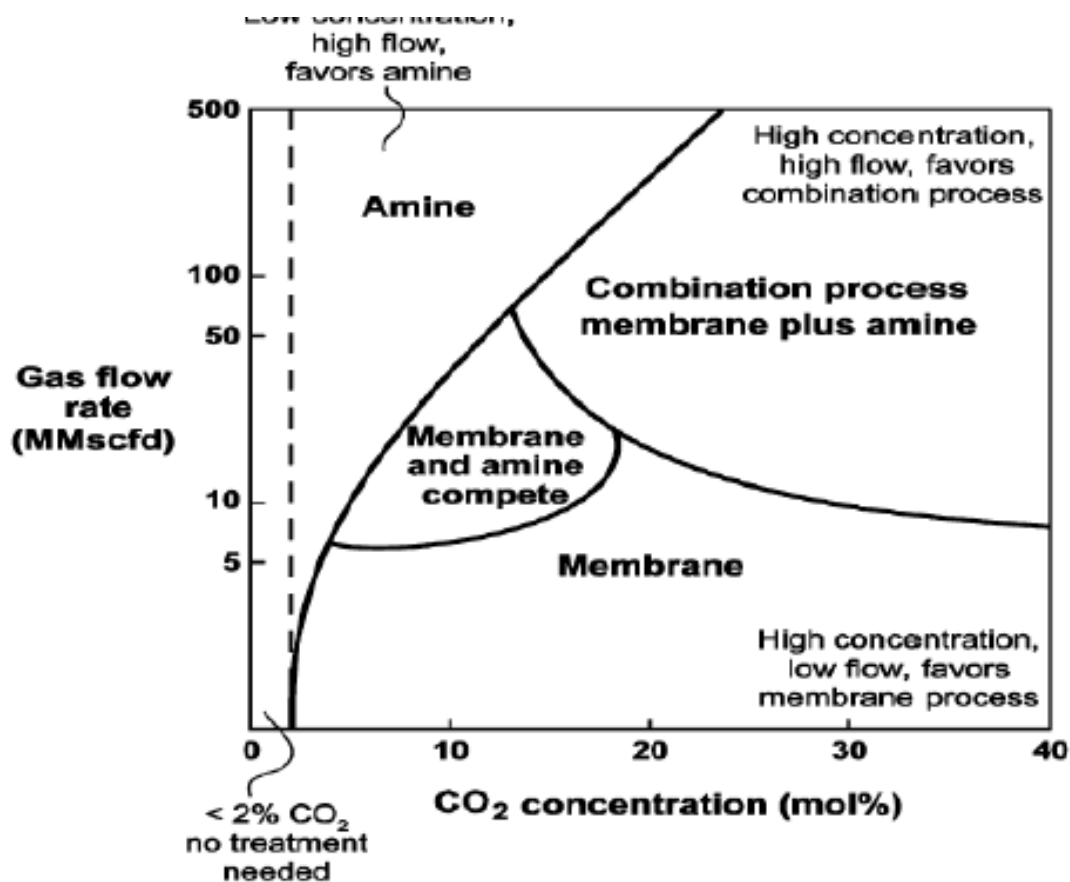
Separação por Membranas



Separação por Membranas



Captura de CO₂: Membranas e/ou Absorção



Captura de CO₂: Membranas e/ou Absorção

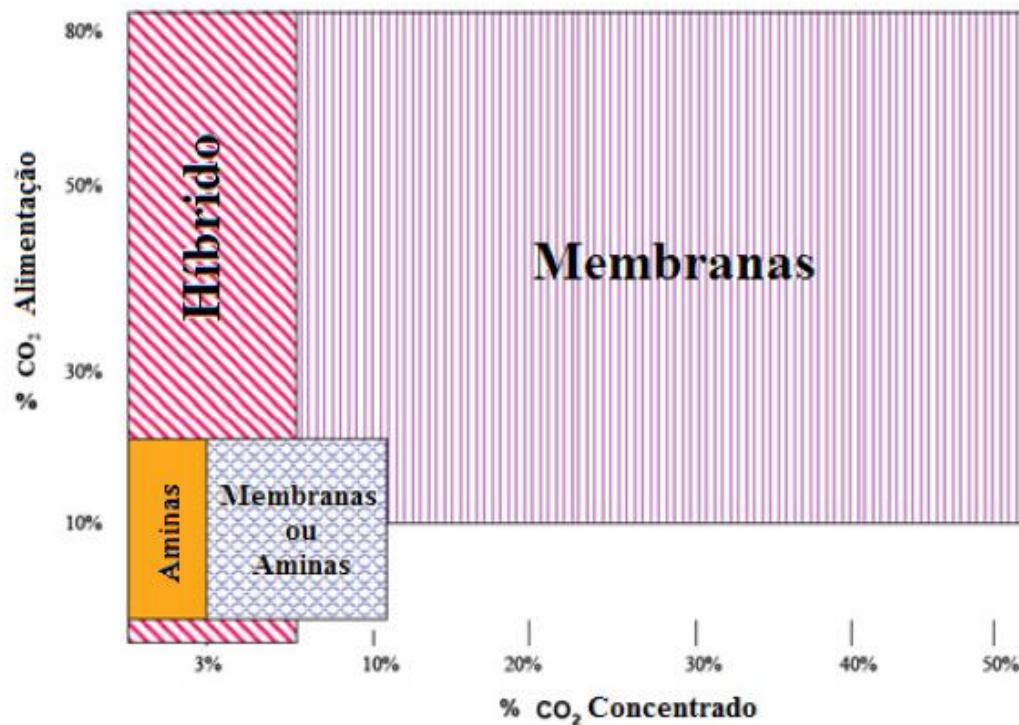
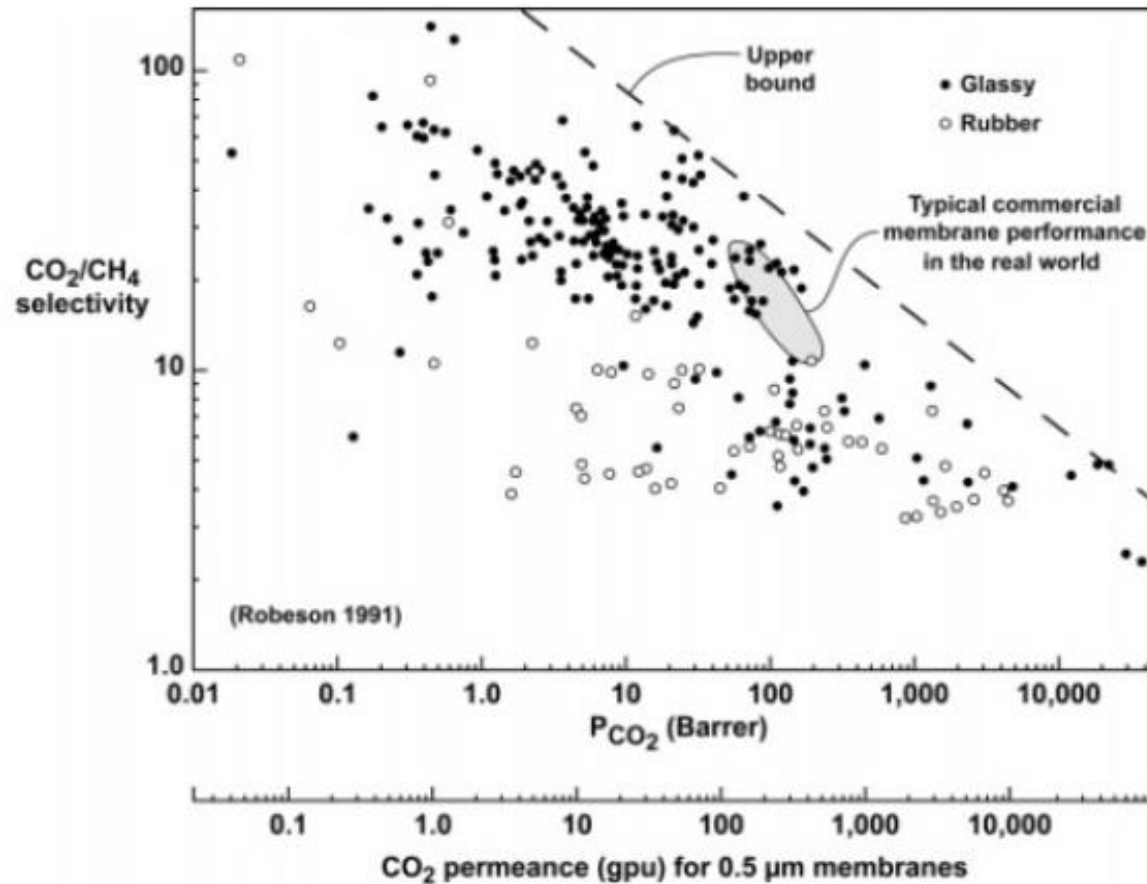
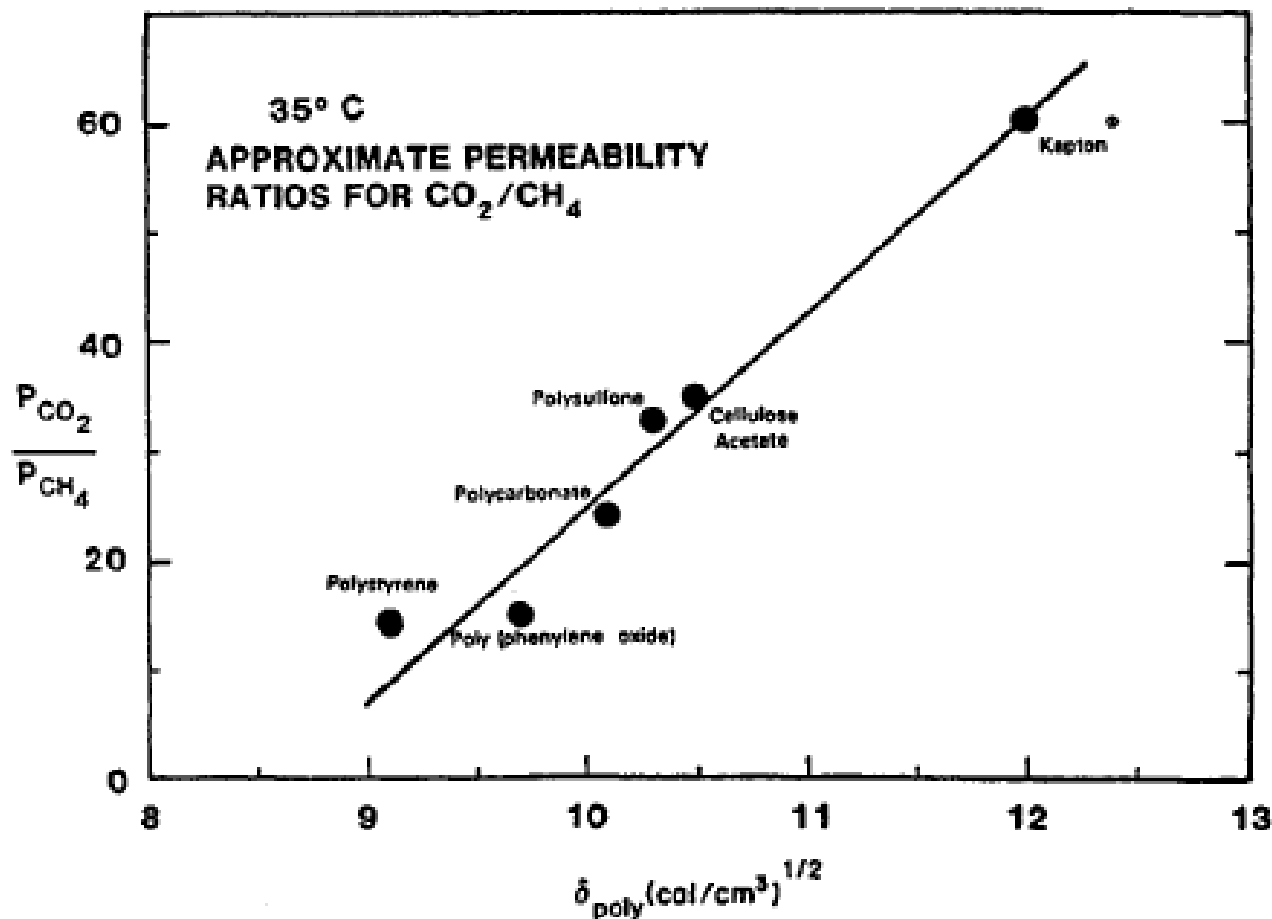


Figura 4: Escolha do método de separação (Fonte: NATCO, 2008).

Separação por membranas



Seletividade Ideal para a Mistura CO₂/CH₄ em Função do Parâmetro de Solubilidade de Polímeros



20/10/2025

Permeabilidade e Seletividade de Polímeros usados como Membrana na Separação CO₂/CH₄

Material	Permeabilidade do CO ₂ (Barrer)	Seletividade (α CO ₂ /CH ₄)
Acetato de celulose	6,3	30
Estéres celulósicos	26,5	1,4
Policarbonato	4,2	32,5
Polidimetisiloxano (PDMS)	2700	3,4
Polimida	10,7	42,8
Polimetilpropileno	84,6	5,8
Polióxido de fenileno	75,8	6,9
Polisulfona	5,6	22,4

Separação de CO₂ por membranas

Hollow-fiber membrane modules for CO₂ separation
SEPURAN® Evonik Industries
www.Evonik.de



20/10/2023

Separação por membranas

Journal of Membrane Science 612 (2020) 118278



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Journal of Membrane Science

journal homepage: <http://www.elsevier.com/locate/memsci>



Modeling of spiral wound membranes for gas separations. Part I: An iterative 2D permeation model

Ana Carolina S. Dias^a, Marília Caroline C. De Sá^a, Tahyná B. Fontoura^{a,*}, Diego Q. Menezes^a, Thiago K. Anzai^b, Fábio C. Diehl^b, Pedro H. Thompson^b, José Carlos Pinto^a

^a Programa de Engenharia Química/COPPE, Universidade Federal Do Rio de Janeiro, Cidade Universitária, CP 68502, CEP 21941-972, Rio de Janeiro, RJ, Brazil

^b Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello - CENPES, Petrobras, Petróleo Brasileiro SA, Rio de Janeiro, RJ, CEP 21941-915, Brazil







Separação por membranas



Article

Modeling of Spiral Wound Membranes for Gas Separations—Part II: Data Reconciliation for Online Monitoring

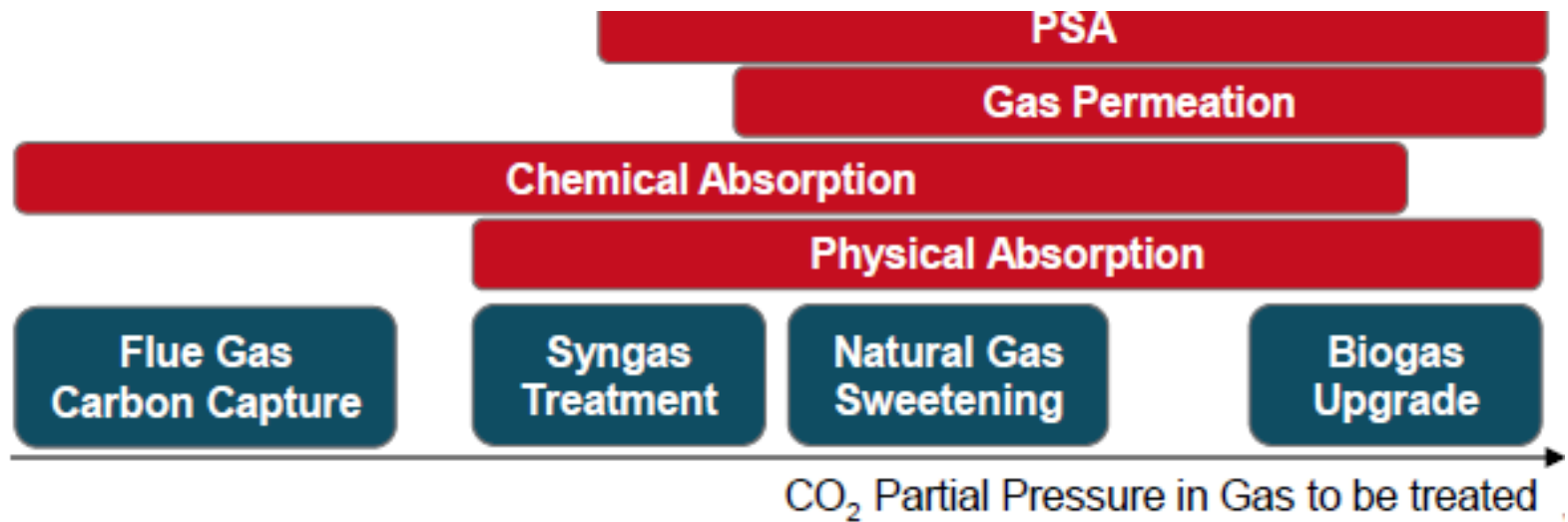
Diego Q. F. de Menezes ^{1,*} , Marília Caroline C. de Sá ¹ , Tahyná B. Fontoura ¹ ,
Thiago K. Anzai ², Fábio C. Diehl ², Pedro H. Thompson ² and José Carlos Pinto ¹ 

¹ Programa de Engenharia Química/COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro CEP 21941-972, RJ, Brazil; marilia@peq.coppe.ufrj.br (M.C.C.d.S.); tahyna@peq.coppe.ufrj.br (T.B.F.); pinto@peq.coppe.ufrj.br (J.C.P.)

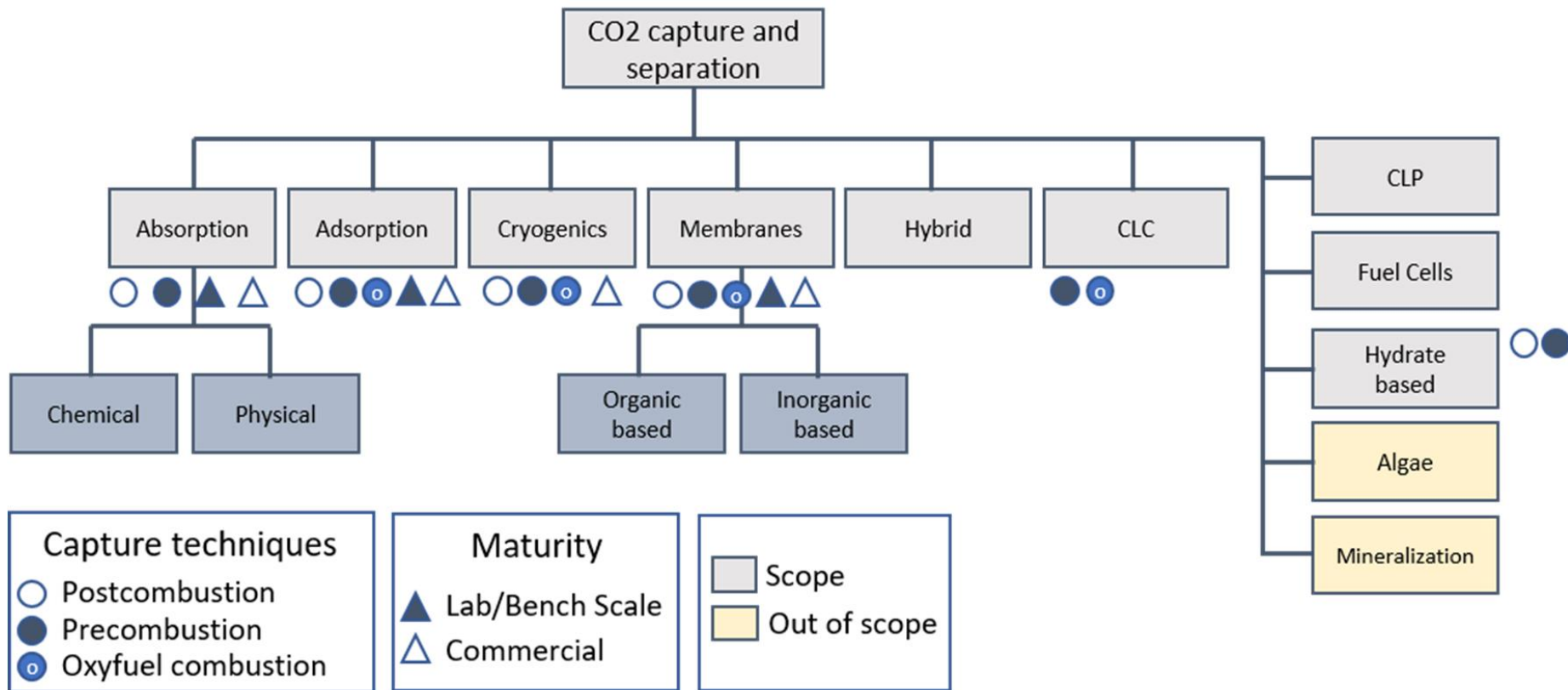
² Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello—CENPES, Petrobras—Petróleo Brasileiro SA, Rio de Janeiro CEP 21941-915, RJ, Brazil; tanzai@petrobras.com.br (T.K.A.); fabio.diehl@petrobras.com.br (F.C.D.); pedrothompson@petrobras.com.br (P.H.T.)

* Correspondence: dmenezes@coppe.ufrj.br; Tel.: +55-21-98807-7489

Qual o melhor processo para Captura de CO₂?



Técnicas de Separação e Captura de CO₂



Como escolher o processo para Captura de CO₂?

- A corrente gasosa está disponível a alta pressão?
- Qual a concentração do CO₂ na corrente gasosa?
- Qual é o objetivo da captura do CO₂?
- Quais os outros componentes da mistura gasosa?
- Quais os contaminantes da corrente gasosa (H₂S)?
- Qual a capacidade de processamento?
- Qual a localização da planta? (onshore/offshore)
- Quais as utilidades disponíveis? (vapor?)
- **Custos?**

Custos da Captura de CO₂

International Journal of Greenhouse Gas Control 17 (2013) 488–503



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

International Journal of Greenhouse Gas Control

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ijggc

A proposed methodology for CO₂ capture and storage cost estimates

Edward S. Rubin^{a,*}, Christopher Short^b, George Booras^c, John Davison^d,
Clas Ekstrom^e, Michael Matuszewski^f, Sean McCoy^g

^a Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA

^b Global Carbon Capture and Storage Institute, Canberra, Australia

^c Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, USA

^d International Energy Agency Greenhouse Gas Programme, Cheltenham, England, United Kingdom

^e Vattenfall AB, Stockholm, Sweden

^f US Department of Energy, National Energy Technology Laboratory, Pittsburgh, PA, USA

^g International Energy Agency, Paris, France

20/10/2023

Custos da Captura de CO₂

International Journal of Greenhouse Gas Control 40 (2015) 378–400



ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](#)

International Journal of Greenhouse Gas Control

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ijggc

The cost of CO₂ capture and storage

Edward S. Rubin^{a,*}, John E. Davison^b, Howard J. Herzog^c

^a Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA

^b International Energy Agency Greenhouse Gas Programme, Cheltenham, England, UK

^c Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA

20/10/2023

Qual o melhor método?

- A usina termelétrica já existe ou será construída uma nova?
- As tecnologias das plantas comerciais de captura de CO₂ não foram originalmente desenvolvidas para separar CO₂ dos gases de combustão (ex: absorção química usando aminas), mas sim para a remoção do gás ácido (CO₂, SO_x, H₂S) do gás natural
- É preciso adaptar as tecnologias atuais para a captura de CO₂ ou desenvolver novas tecnologias. Por muitos anos, não havia grande interesse na captura de CO₂, como há agora.
- A perspectiva é de grande e intenso desenvolvimento nos próximos anos, dada a prioridade do tema

Captura de CO₂ pós-combustão

- A captura de CO₂ pós-combustão é o método mais simples, porque pode ser facilmente acoplado a uma planta de potência pré-existente, ou seja, não há a necessidade da construção de uma planta inteiramente nova
- A desvantagem é que a unidade de captura do CO₂ pode ser muita grande, e talvez não haja espaço suficiente ao lado da planta de potência pré-existente para a sua instalação

Captura de CO₂ Pré-combustão

● PRINCIPAIS VANTAGENS

- Elevadas concentrações de CO₂ reduz os custos da separação
- Tecnologias podem ser aplicadas a novas plantas
- No caso da gaseificação, o gás de síntese não contém NOx nem SOx

● DESAFIOS

- EOR: plantas compactas altamente eficientes para operar em FPSO (*processo intensification*)
- Gaseificação: aumentar a eficiência energética do processo, p.ex., na reação de deslocamento gás-água (reação de shift)

Captura de CO₂ Pós-combustão

● PRINCIPAIS VANTAGENS

- Tecnologias podem ser aplicadas a unidades termoelétricas à base de carvão, gás natural e óleo combustível
- Pode ser usada para remoção de NO_x e SO_x
- Consumo de energia pode ser reduzido com o uso de solventes mais apropriados

● DESAFIOS

- Conseguir elevada separação do CO₂ a partir de soluções diluídas com baixa pressão parcial
- Evitar degradação do solvente devido a impurezas
- Evitar corrosão dos equipamentos
- Reduzir os custos de capital e gastos com energia

Captura de CO₂ Oxi-combustão

● PRINCIPAIS VANTAGENS

- Obtenção de CO₂ com elevada concentração
- Tecnologias podem ser aplicadas a plantas novas ou existentes
- Redução das emissões de NO_x

● DESAFIOS

- Redução do custo da etapa de separação criogênica do oxigênio do ar
- Redução do custo da separação de O₂ usando membranas (menor consumo de energia e maior seletividade)
- Evitar corrosão devido à elevada concentração de CO₂

Oportunidades

- Mercado de Créditos de Carbono
- Financiamento para a Transição Verde
- Regras Claras
- Emissões de CO₂ auditáveis

Mensagem Final

Há uma grande variedade de desafios e oportunidades na Engenharia Química e áreas correlatas para os profissionais que se dedicarem nos próximos anos à **CAPTURA E USO DE CO₂**, em várias dimensões:

- Científicas e tecnológicas
- Econômicas e sociais
- Ambientais e educativas
- etc...

Referências

- Geankoplis, C.J., Hersel, A.A., Lepek, D.H., Transport Processes and Separation Process Principles, Pearson, 5th ed., 2018.
- Habert, A. C., Borges, C. P., Nobrega, R., Processos de Separação por Membranas. Rio de Janeiro: E-papers, 2006. 180 p.
- J.D. Seader, E.J. Henley, D.,K. Roper, Separation Process Principles, 3rd. Ed., Wiley, 2011.
- Li, L., Wong-Ng, W., Hunag, K., Cook, L.P., Materials and Processes for CO₂ Capture, Conversion, and Sequestration, Wiley, 1st. ed., Hoboken, 2018.
- Mulder, M. (1996) Basic Principles of Membrane Technology. 2nd Edition, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Ruthven, D.M., Principles of Adsorption & Adsorption Processes, Wiley, 1984.

20/10/2023

Muito Obrigado!