

Captura, Usos e Armazenamento de CO₂ (CCUS) Cadeia Produtiva do Carvão Mineral

Oportunidades & Desafios

Workshop MME - SPE

Brasília, 13 de Setembro de 2019

Motivação para o armazenamento geológico de CO₂ CCUS

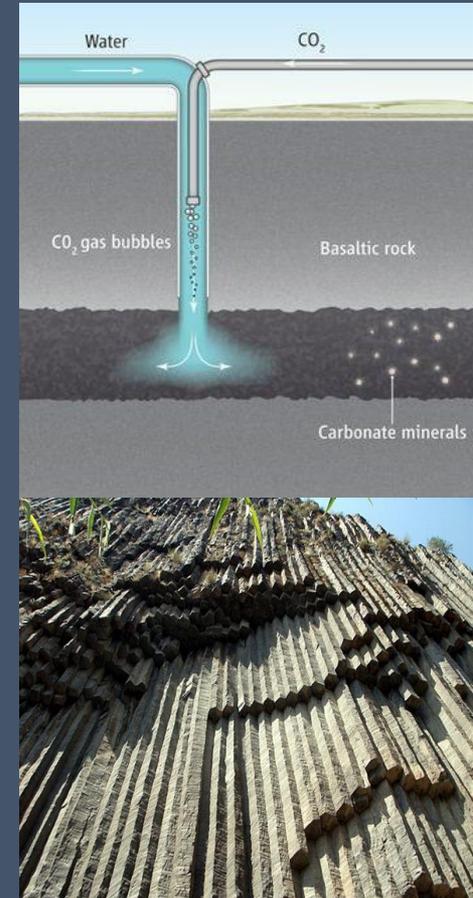
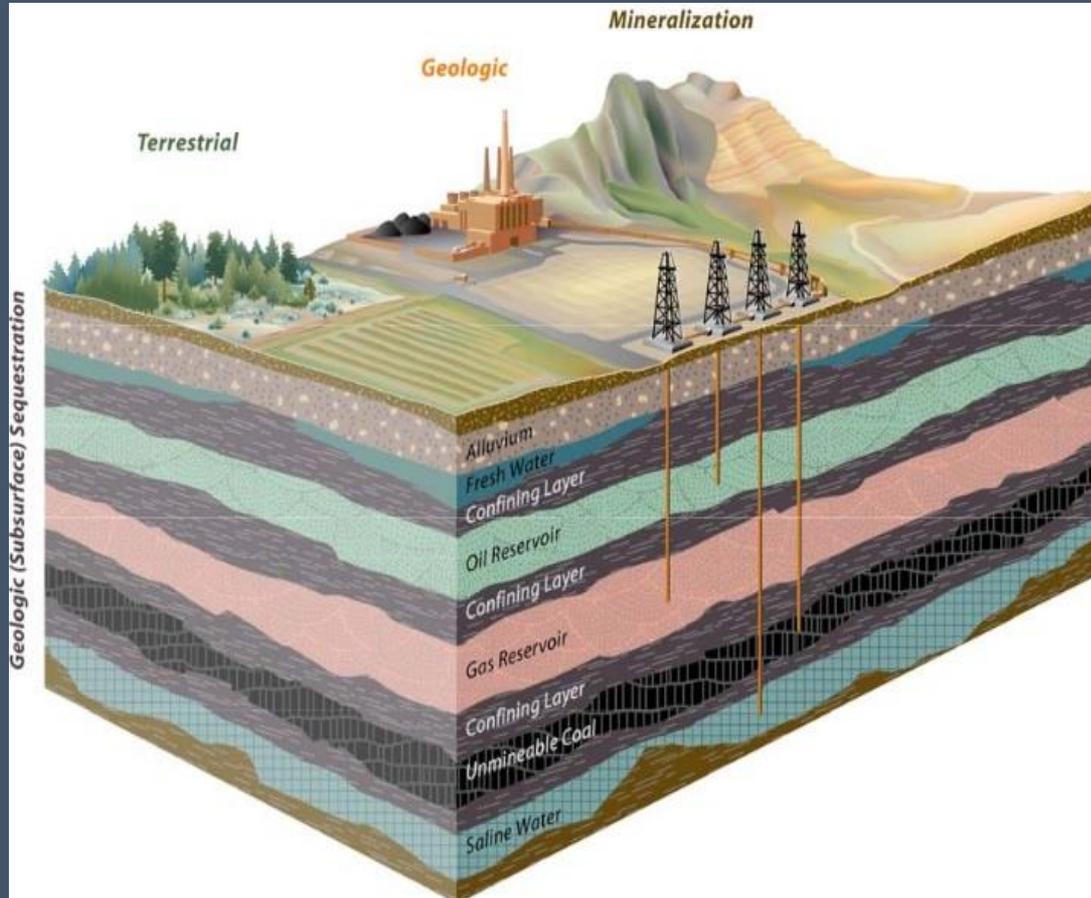
Ambiental: redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE)

Econômica: indústria do gás natural e petróleo (CBM/ECBM/EOR)

Social/Tecnológica: Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I)

**Cadeia produtiva do Carvão Mineral Nacional
SUSTENTÁVEL**

Alvos para o armazenamento geológico de CO₂ – CCUS



Etapas para o armazenamento de CO₂– CCUS

1 Capture

CO₂ capture separates CO₂ from gas, before it is emitted, using a chemical solvent. The captured CO₂ is separated from the solvent and compressed into a liquid form for transport.

2 Transport

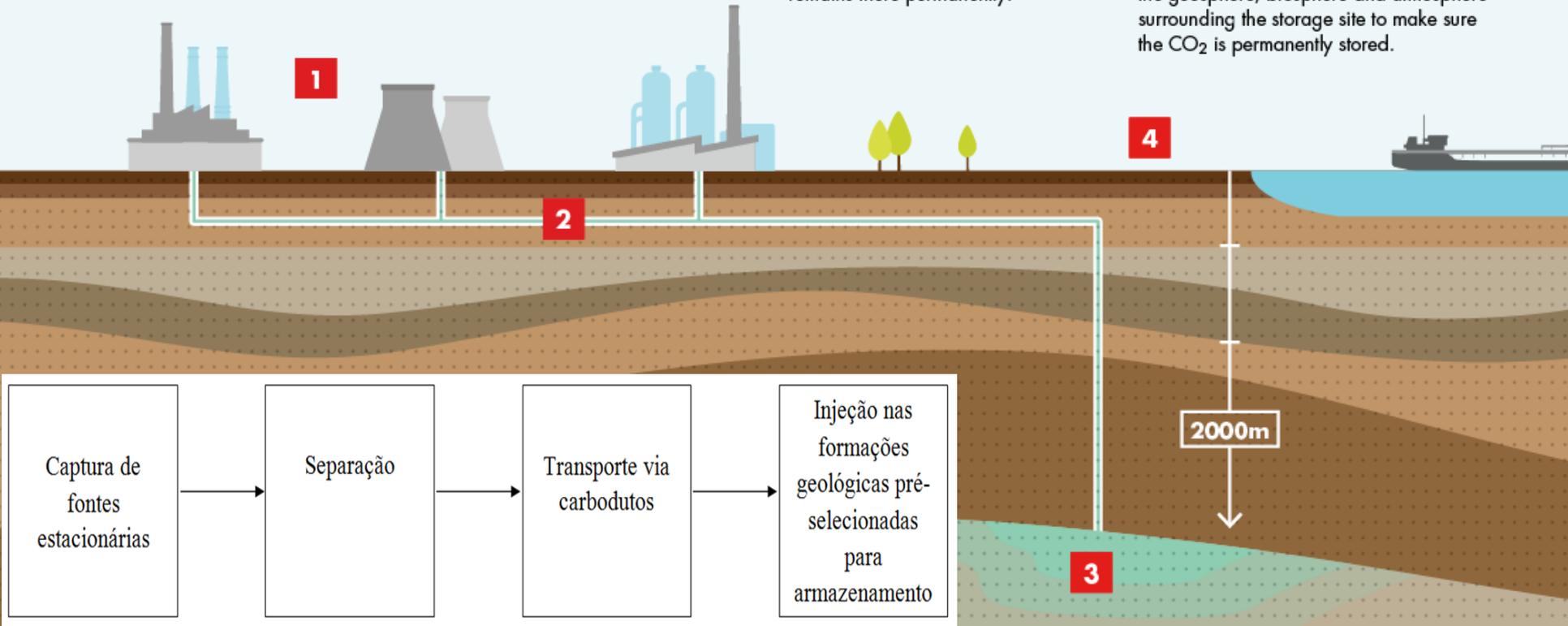
CO₂ is generally pumped along a pipeline, taking the CO₂ from the industrial site where it has been produced, to its storage site which may be onshore or offshore.

3 Storage

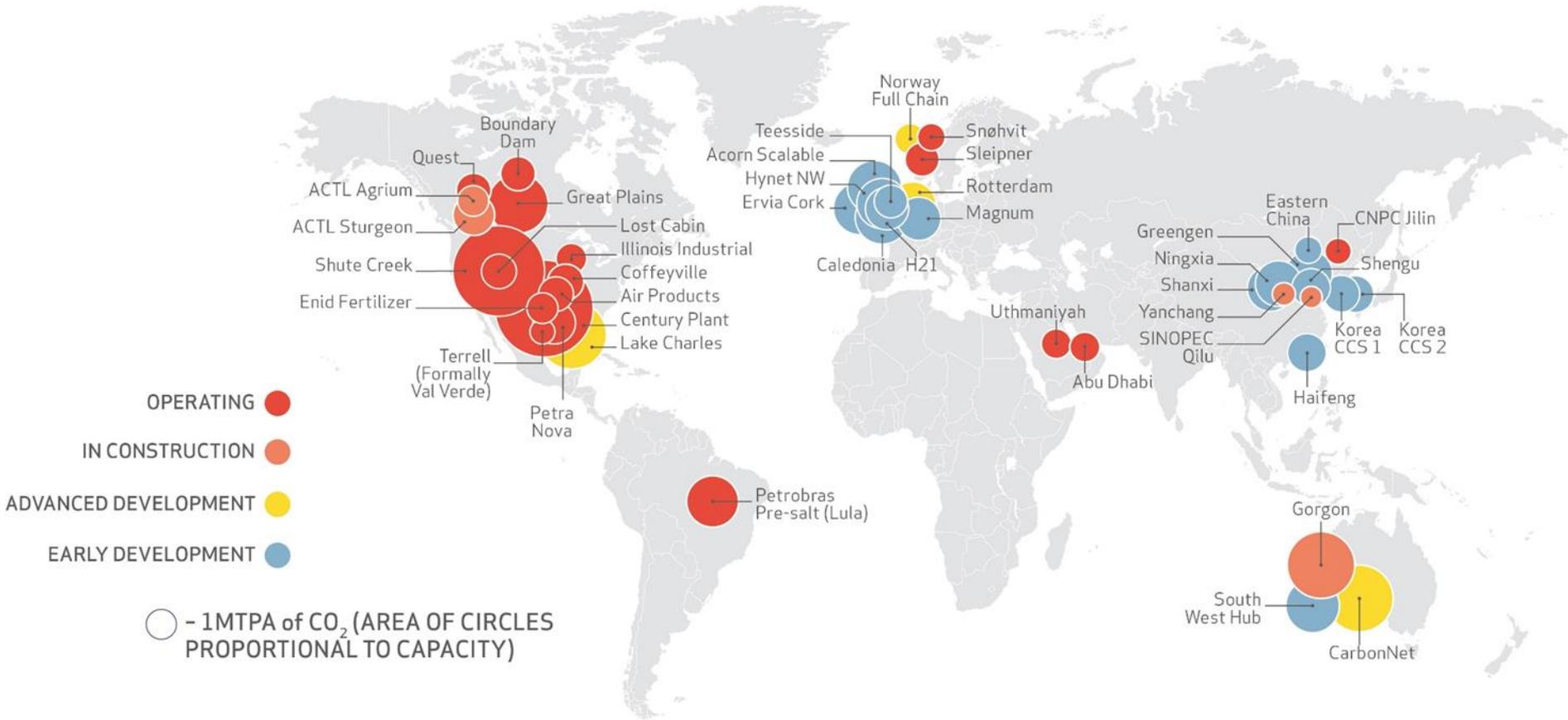
CO₂ is injected deep underground into the microscopic spaces in porous rocks. A layer of impermeable rock, called a cap rock, lies directly above the porous rocks ensuring that the CO₂ remains there permanently.

4 Measuring, monitoring & verification (MMV)

Monitoring of storage sites takes place within the storage reservoir, as well as at the injection well, where sensors can detect small changes in pressure or CO₂ levels. In addition, a number of monitoring technologies can be incorporated within the geosphere, biosphere and atmosphere surrounding the storage site to make sure the CO₂ is permanently stored.



Projetos de pesquisa – CCUS



Source: Global CCS Institute 2018

Captura, Usos e Armazenamento de carbono no Brasil - CCUS

Associação fontes emissoras-reservatórios;

Capacidade teórica;

Integridade de poços;

Reservatórios: camadas de

Carvão e aquíferos salinos;

Avaliação de rochas selo;

Modelagem de fluxo de CO₂;

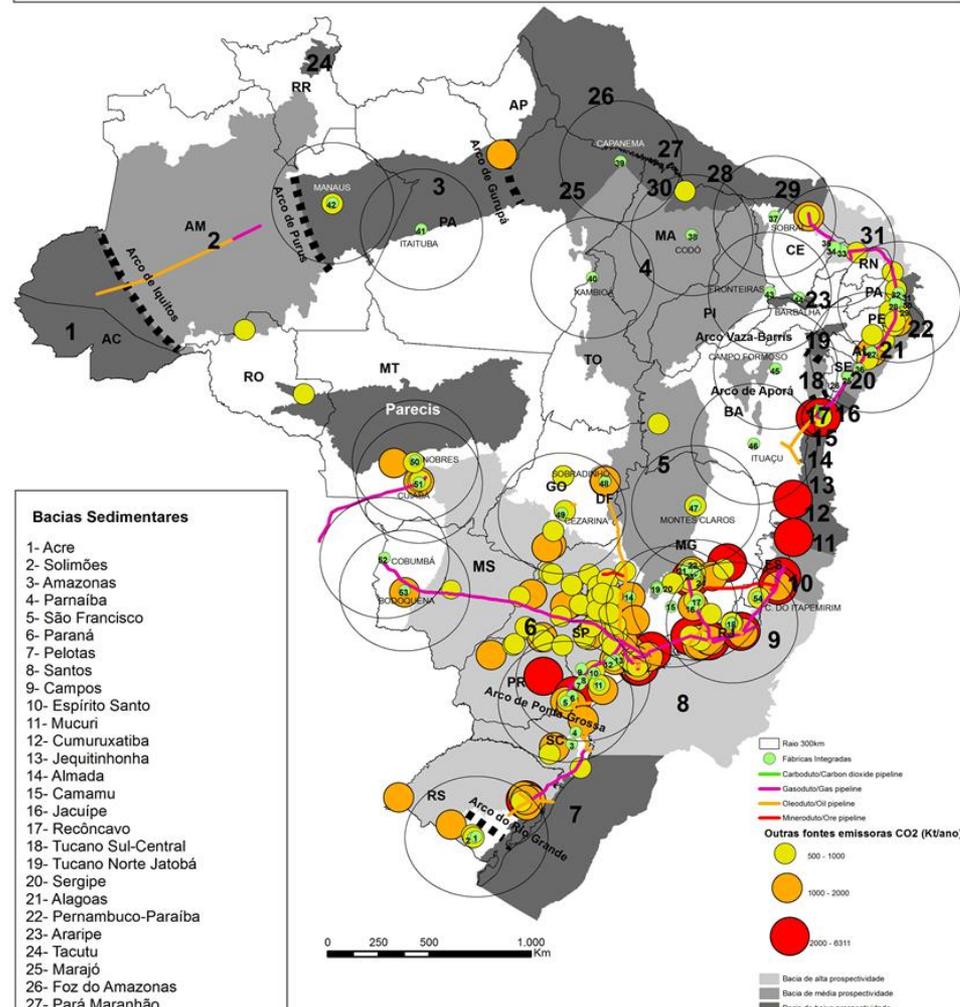
Injeção em Projetos Piloto.



Captura e Armazenamento de carbono no Brasil – CCUS

Fontes Emissoras - Bacias Indústrias do Cimento

Municípios unidades integradas				
1- Pinheiro Machado (RS)	12- Salto de Pirapora (SP)	23- Pedro Leopoldo (2 UI-MG)	34- Baraúna (RN)	45- Campo Formoso (BA)
2- Candiota (RS)	13- Santa Helena (SP)	24- Vespasiano (MG)	35- Quixeré (CE)	46- Ituaçu (BA)
3- Vidal Ramos (SC)	14- Itaú de Minas (MG)	25- N. Sra. do Socorro (SE)	36- Pacatuba (SE)	47- Montes Claros (MG)
4- Pomerode (PR)	15- Ijaci (MG)	26- Laranjeiras (SE)	37- Sobral (CE)	48- Sobradinho (ZUI-DF)
5- Balsa Nova (PR)	16- Barroso (MG)	27- São Miguel dos Campos (AL)	38- Codó (MA)	49- Cezarina (GO)
6- Rio Branco do Sul (PR)	17- Carandaí (MG)	28- Goiana (PE)	39- Capanema (PA)	50- Nobres (MT)
7- Adranópolis (PR)	18- Cantagalo (3 UI-RJ)	29- Caaporã (PB)	40- Xambioá (TO)	51- Cuiabá (MT)
8- Apiáí (SP)	19- Carmoal (MG)	30- Pitumbu (PB)	41- Itaituba (PA)	52- Corumbá (MS)
9- Itapeva (SP)	20- Arcos (2 UI-MG)	31- Alhandra (PB)	42- Manaus (AM)	53- Boduena (MS)
10- Ribeirão Grande (SP)	21- Sete Lagoas (MG)	32- João Pessoa (PB)	43- Fronteiras (PI)	54- C. do Itapemirim (ES)
11- Cajati (SP)	22- Matozinhos (MG)	33- Mossoró (RN)	44- Barbalha (CE)	



Bacias Sedimentares
1- Acre
2- Solimões
3- Amazonas
4- Paranaíba
5- São Francisco
6- Paraná
7- Pelotas
8- Santos
9- Campos
10- Espírito Santo
11- Mucuri
12- Cumuruxatiba
13- Jequitinhonha
14- Almada
15- Camamu
16- Jacuípe
17- Recôncavo
18- Tucano Sul-Central
19- Tucano Norte Jatobá
20- Sergipe
21- Alagoas
22- Pernambuco-Paraíba
23- Araripe
24- Tacutu
25- Marajó
26- Foz do Amazonas
27- Pará Maranhão
28- Barreirinhas
29- Ceará
30- B.-Viseu / São Luís / I. Nova
31- Potiguar

Bacias Sedimentares Brasileiras
Fontes Emissoras de CO2 Unidades Integradas de Cimento
 Modificado de: Boletim de Geociências, Petrobrás, V. 15, n. 2. 2007 e Brazilian Atlas of CO2 Capture and Geological Storage 2015.

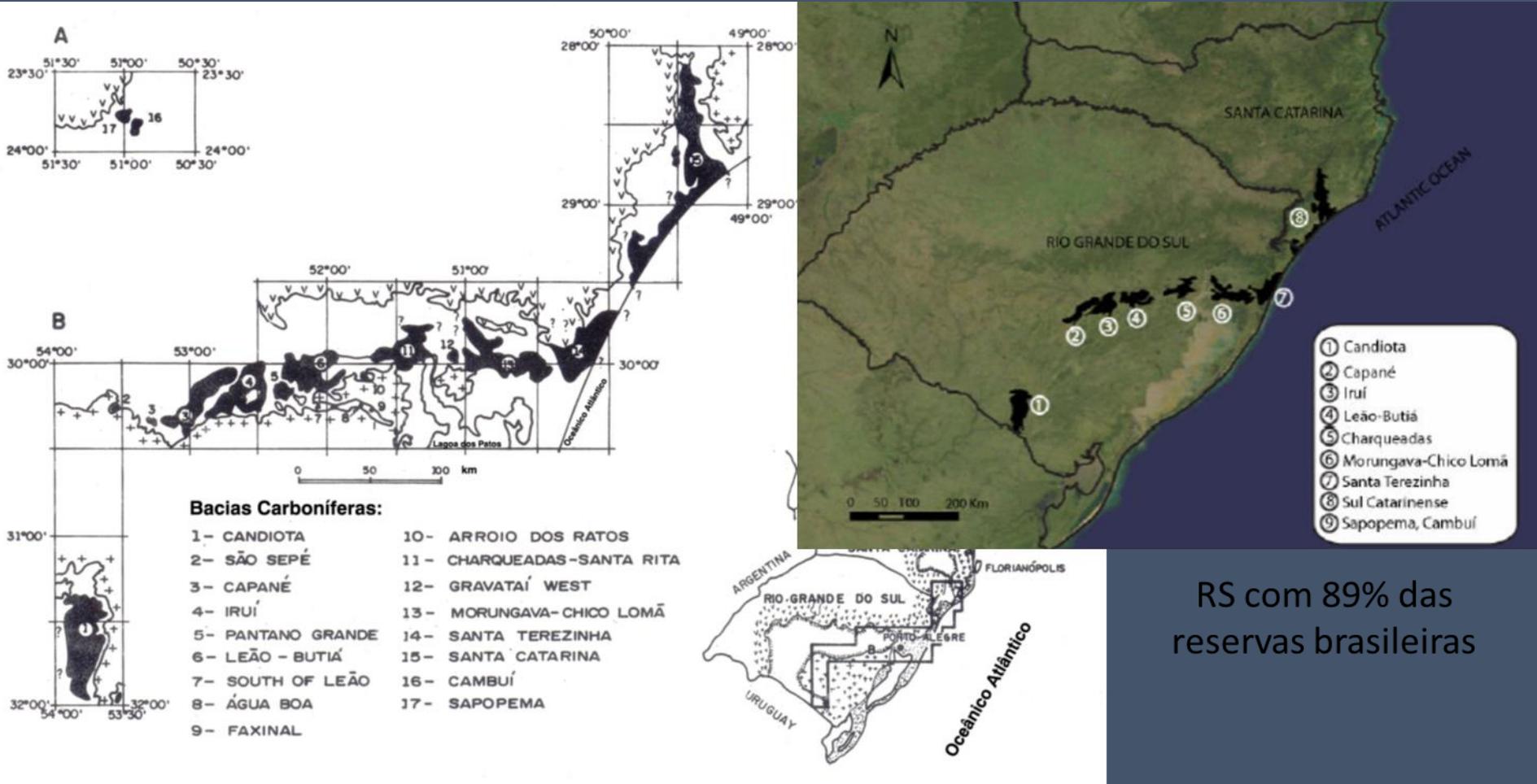
CCUS nas Bacias Carboníferas do Brasil



Stage	Lithostratigraphy	
KUNGURIAN	Passa Dois Group	Irati Formation
	Guatá Group	Palermo Formation
ARTINSKIAN		
SAKMARIAN	Itararé Group	Rio do Sul Formation

lithostratigraphy after Schneider et al. (1974)

CCUS nas Bacias Carboníferas do Brasil



RS com 89% das reservas brasileiras

Desafios e alternativas para o aproveitamento das camadas profundas de carvão

- Baixo preço do carvão no mercado;
- Elevada cobertura e reduzidas taxas de extração de minério;
- Altos custos de tecnologias de lavra (câmaras e pilares/*longwall*);
- Excesso de restrições ambientais bloqueando os recursos da União

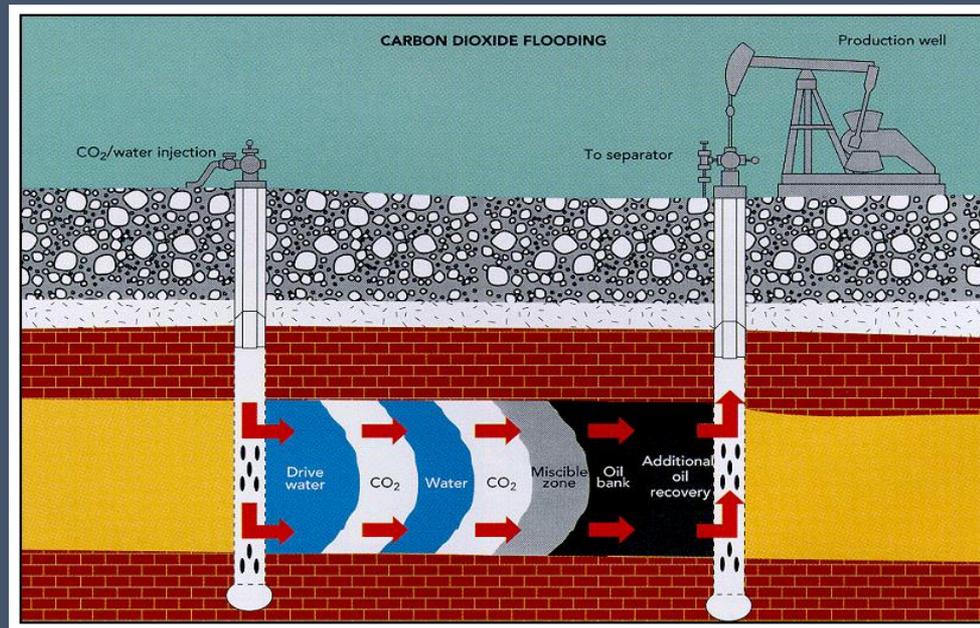
Alternativas potenciais para a exploração das camadas de carvão:

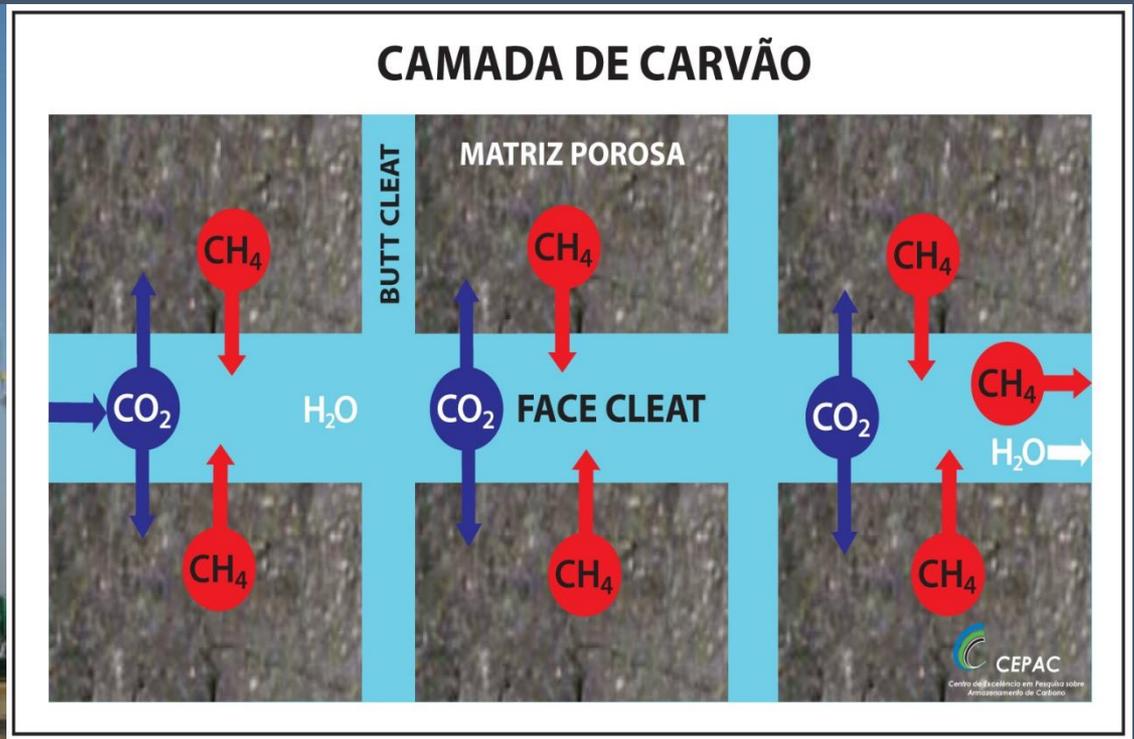
Clean Coal Technologies (CCT)

- *Coalbed Methane (CBM)*;
- *Enhanced Coalbed Methane (ECBM)*;
- Gaseificação *in situ* de carvão mineral (UCG);
- Usinas termelétricas com CCUS acoplado.

CBM – ECBM - CCUS

- CBM – redução da pressão hidrostática na camada de carvão com o metano sendo liberado do carvão em função do gradiente de pressão;
- ECBM – recuperação avançada de metano remanescente contido em camadas de carvão através da injeção de dióxido de carbono (ECBM).



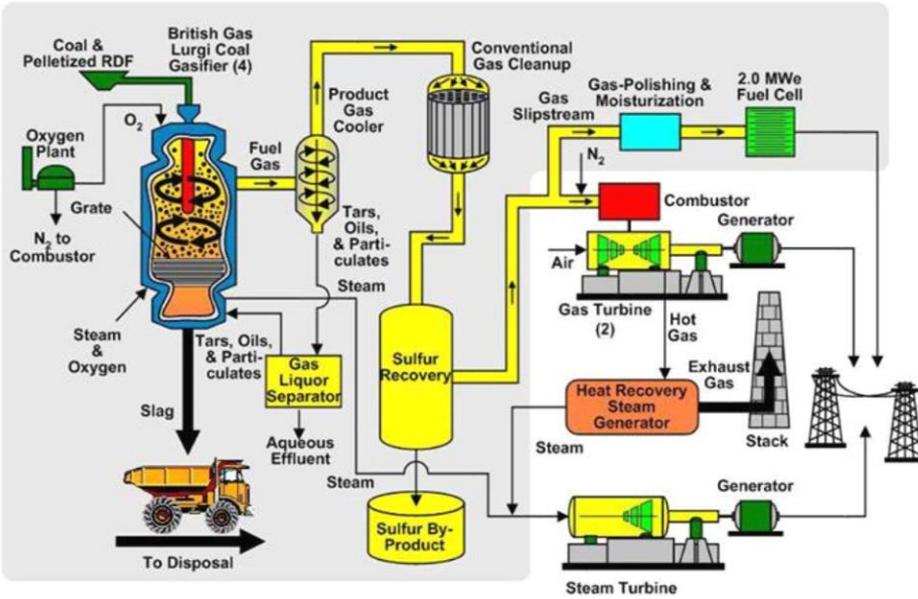


Depleção dos poços de CBM;

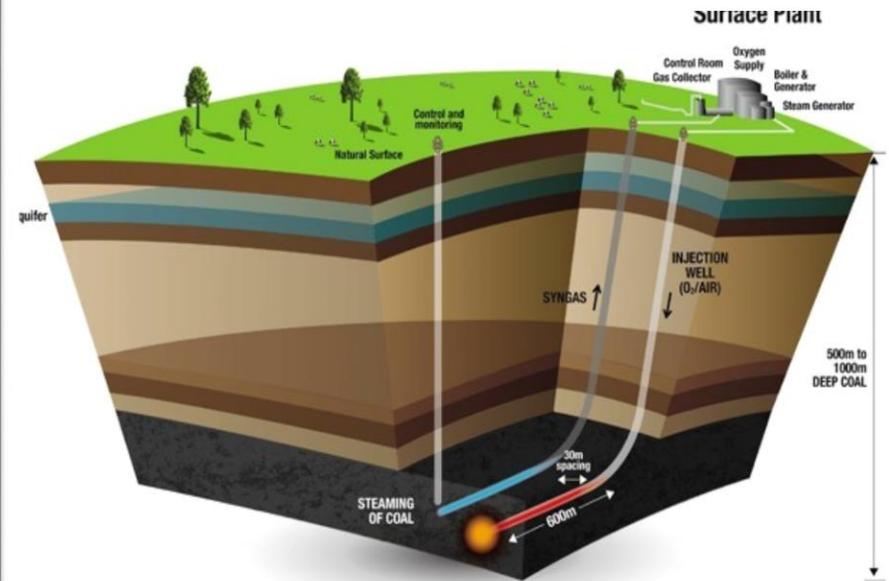
Injeção de CO_2 , adsorção de CO_2 e dessorção do CH_4 (relação 2:1 CO_2/CH_4);

Aumento da taxa de produção de CH_4 e, como subproduto, o CO_2 fica armazenado nas formações geológicas.

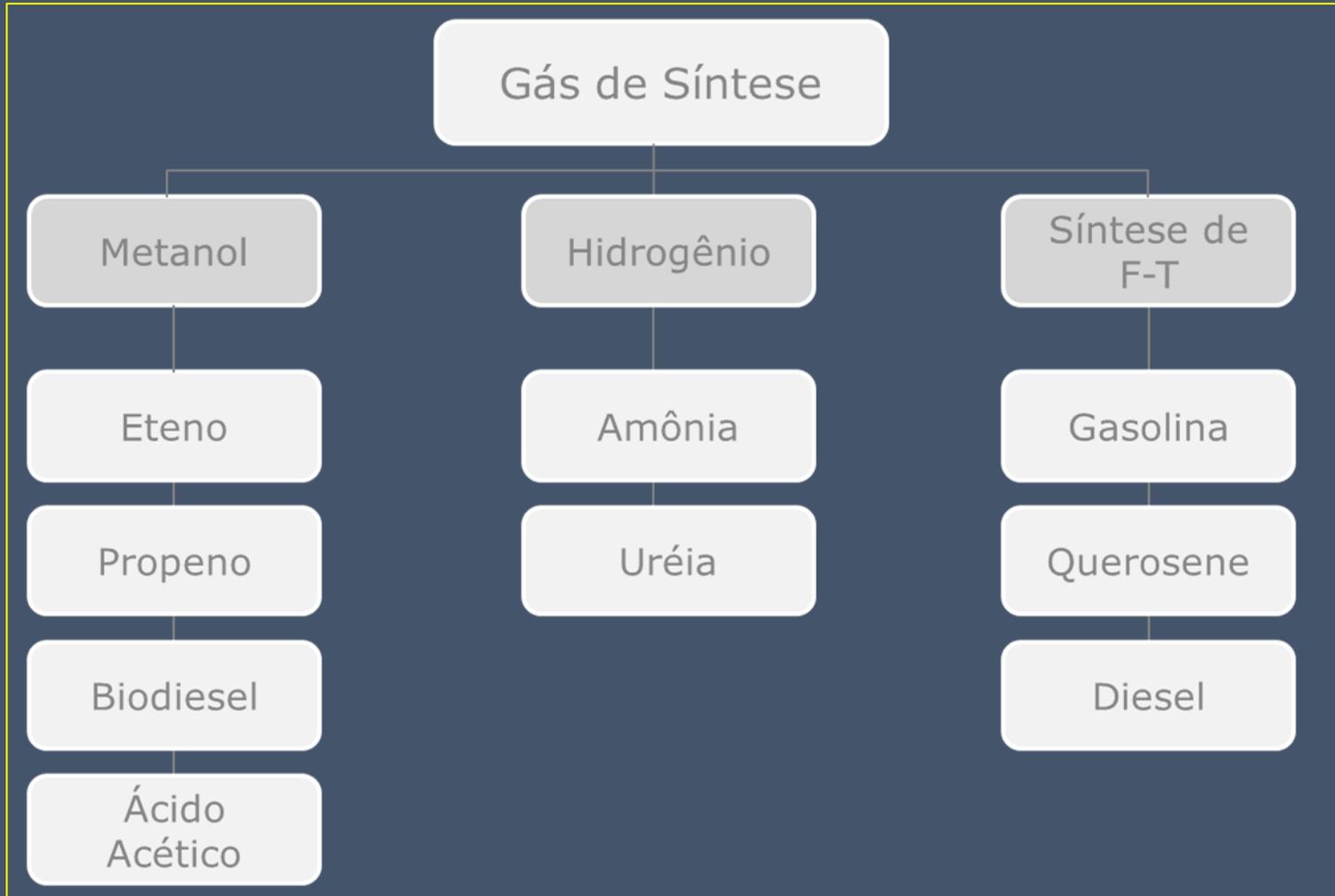
Gaseificação de carvão mineral em superfície



Gaseificação de carvão mineral *in situ* (UCG)



Gás de síntese (SYNGAS)



Armazenamento do CO2

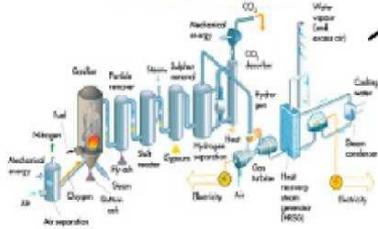
Oxy-combustion



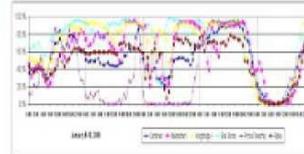
Post-Combustion



Pre-combustion

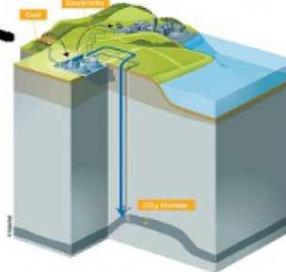


Intermittent Renewables



CO2 Transport

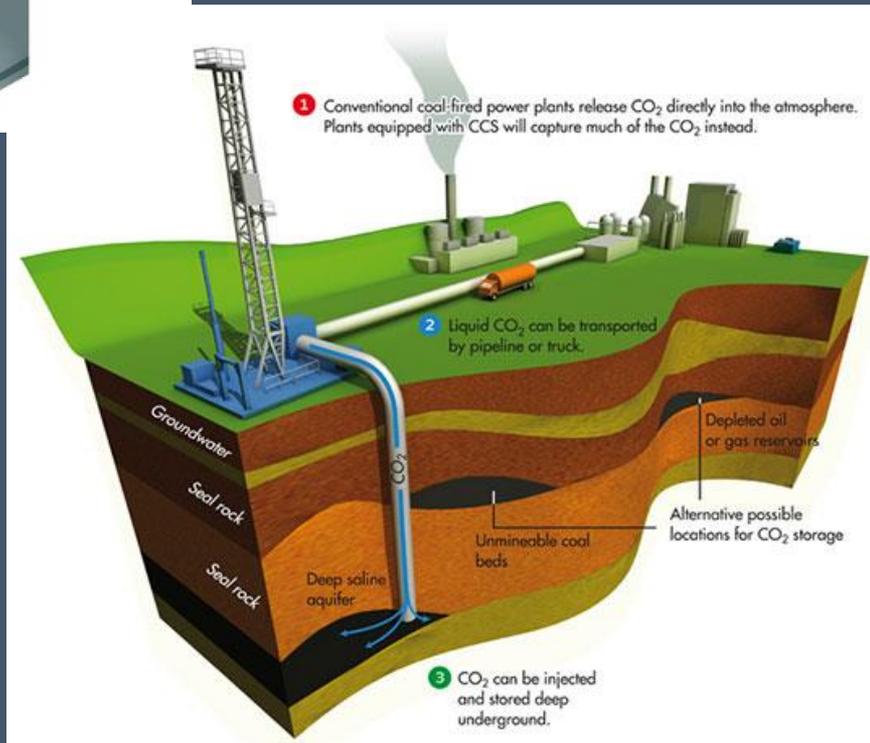
CO2 Storage



1 Conventional coal-fired power plants release CO₂ directly into the atmosphere. Plants equipped with CCS will capture much of the CO₂ instead.

2 Liquid CO₂ can be transported by pipeline or truck.

3 CO₂ can be injected and stored deep underground.



Áreas de pesquisa, desenvolvimento e inovação

1. Carbon Capture, Use and Storage (CCUS)
2. Exploração e produção de Gás (CBM – UCG – PCTs - Shale Gas)
3. Monitoramento ambiental (MMV)
4. Biotecnologia
5. Desenvolvimento de protótipos e equipamentos



1. Modelagem Geológica & Geoquímica
2. Monitoramento Ambiental (rochas selo)
3. Geofísica Aplicada
4. Cadeia produtiva e logística (infraestrutura, carbodutos)
5. Desenvolvimento de novos materiais (polímeros, entre outros)

Exploração de reservatórios não-convencionais

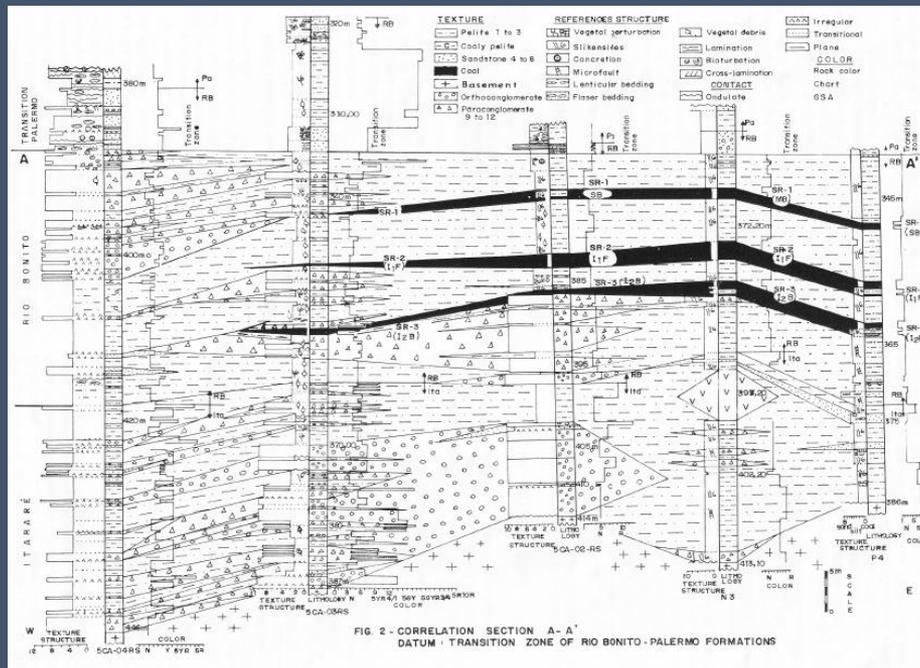
Caracterização Geológica dos Potenciais Alvos

Continuidade das unidades/formações

Espessura - Cobertura

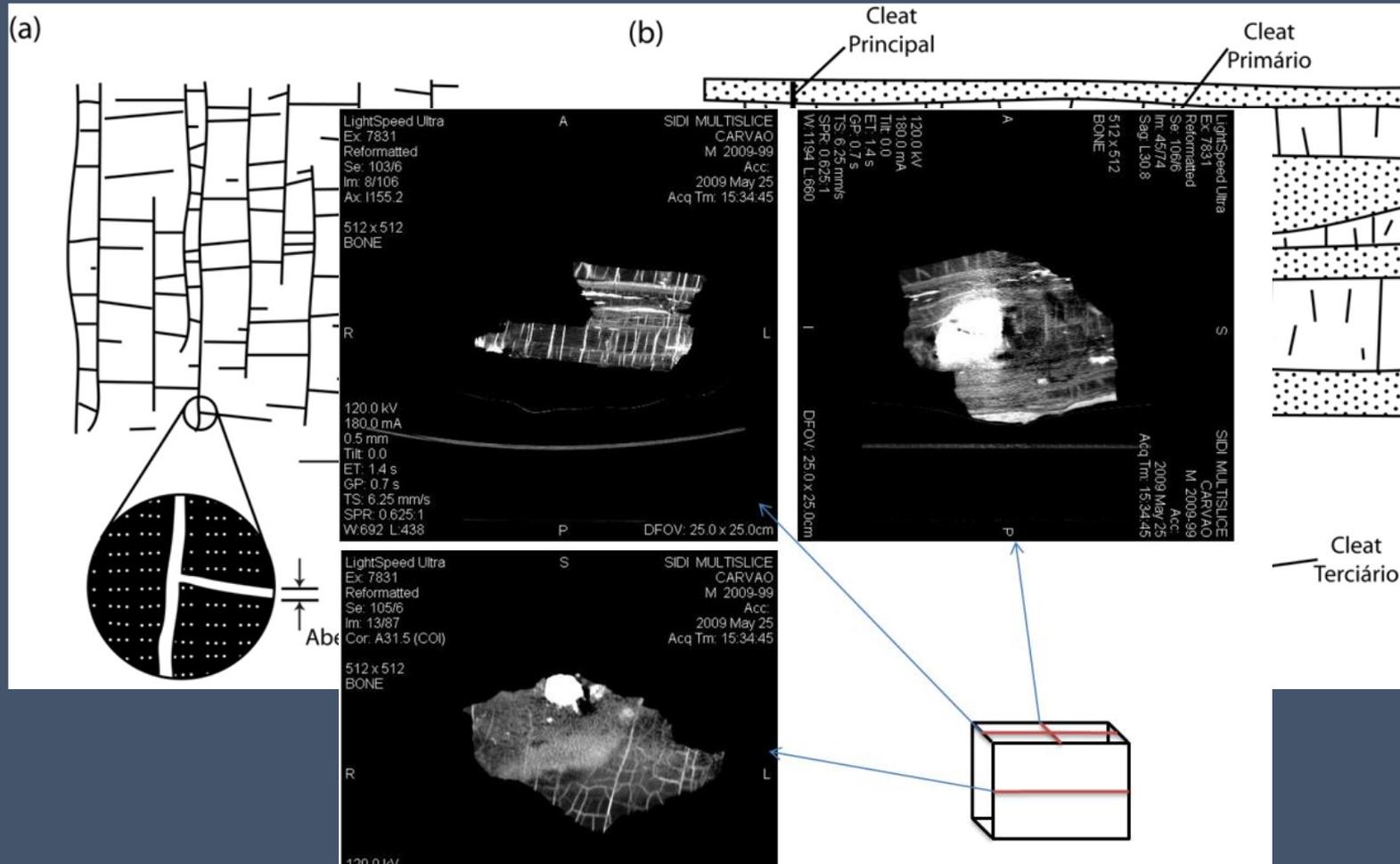
Potenciais “Rochas selo”

Geologia estrutural - Contexto hidrogeológico local e regional



Exploração de reservatórios não-convencionais

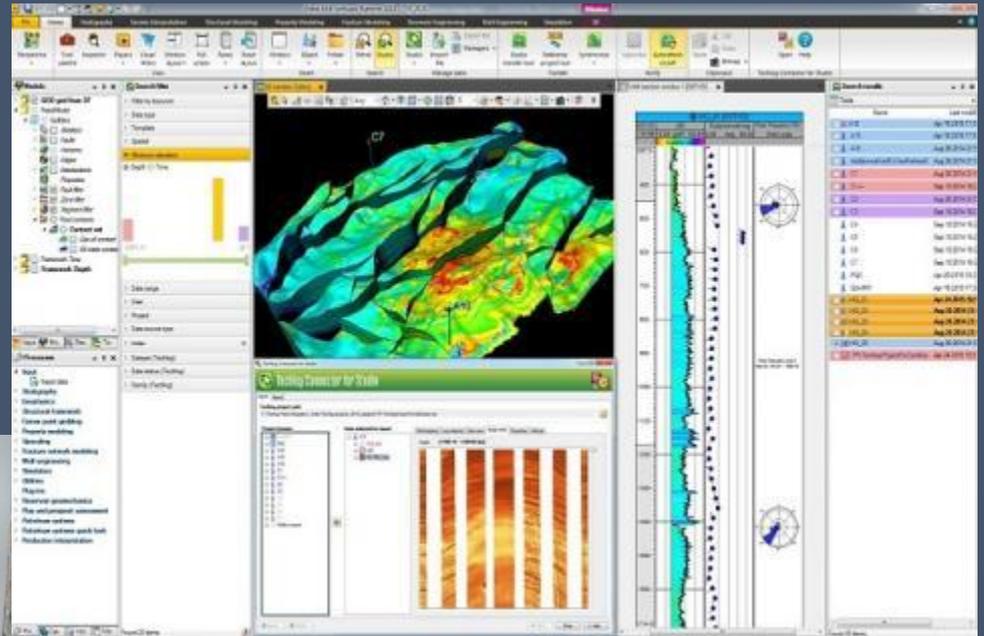
Análise do sistema de cleats do carvão



Exploração de reservatórios não-convencionais

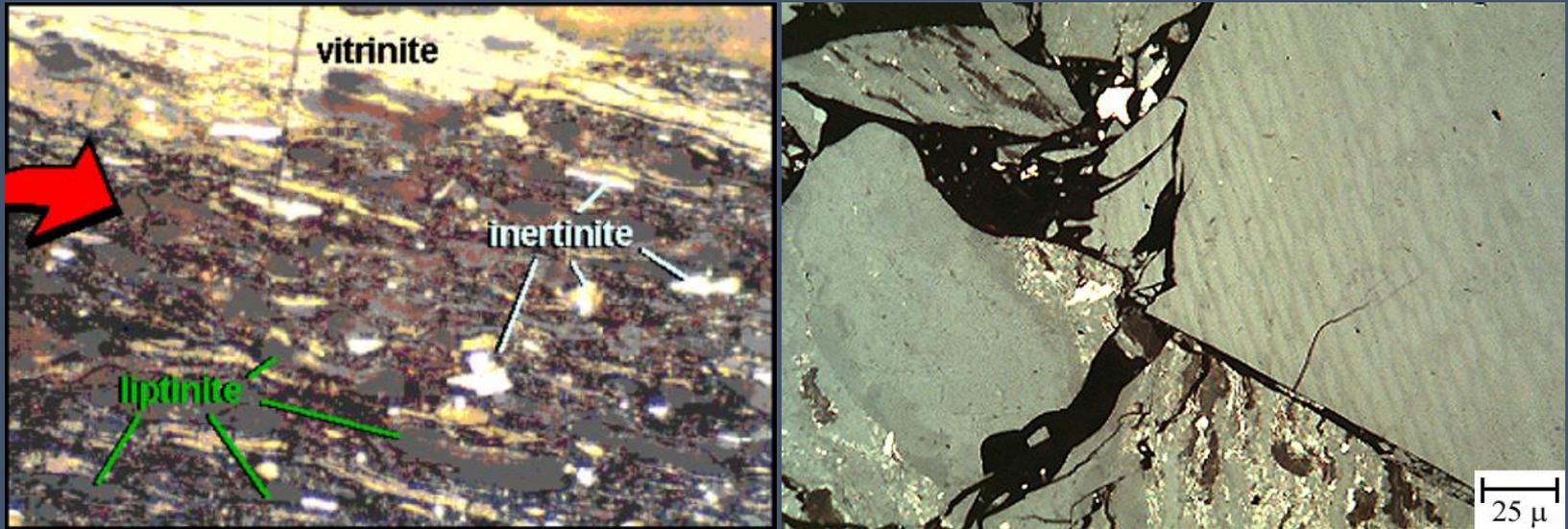
Caracterização petrofísica dos reservatórios (CBM, CCS, Shale Gas, rochas selo)

Simulação da capacidade de armazenamento e produção de gás



Influência da composição macerática

Petrografia de amostras de carvão x Isotermas
composição macerática (grupo maceral vitrênio – liptinita – inertinita e matéria mineral)



Em amostras com maiores teores de vitrinita o grau de adsorção de CO₂ e CH₄ é maior

Adsorção

- A adsorção é um processo de acumulação e concentração de um ou mais constituintes contidos num gás ou líquido sobre superfícies sólidas.

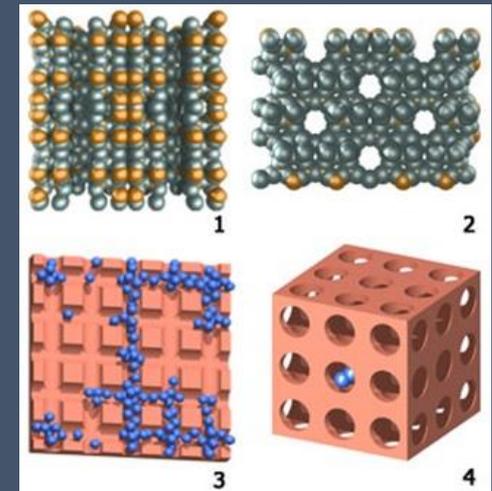
Do que depende o grau de adsorção de um gás em carvão mineral?

Temperatura;

Pressão;

Rank – grau de carbonificação;

Área superficial.



Análises Geoquímicas

Análises de isótopos estáveis (C, O, H, N, S)

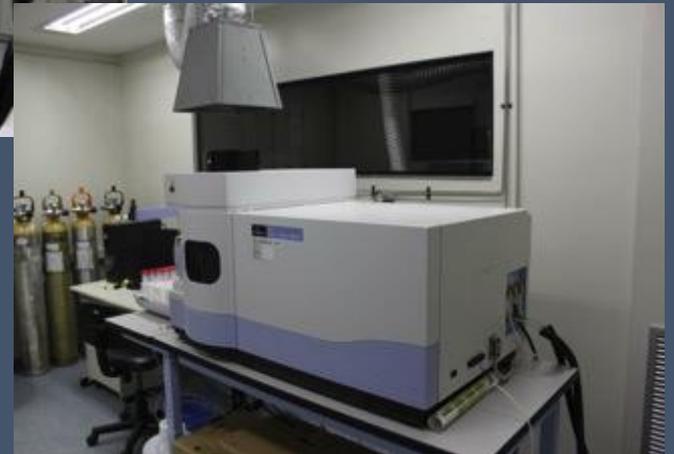
Análises de amostras de gases (C1-C5, CO₂, H₂S, traçadores, etc)

Análises de água (ICP-EOS e Cromatografia iônica)

Análises elementares (C, H, N, S, COT)

Análises termogravimétricas pressurizadas (300 bar)

Análises de Infravermelho (FTIR)



Análise do comportamento de carvão sob influência da injeção de CO₂



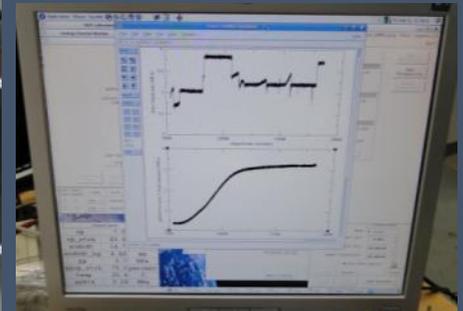
Plugs para micro-CTs



Análise de isotermas



Medições de permeabilidade de alta precisão

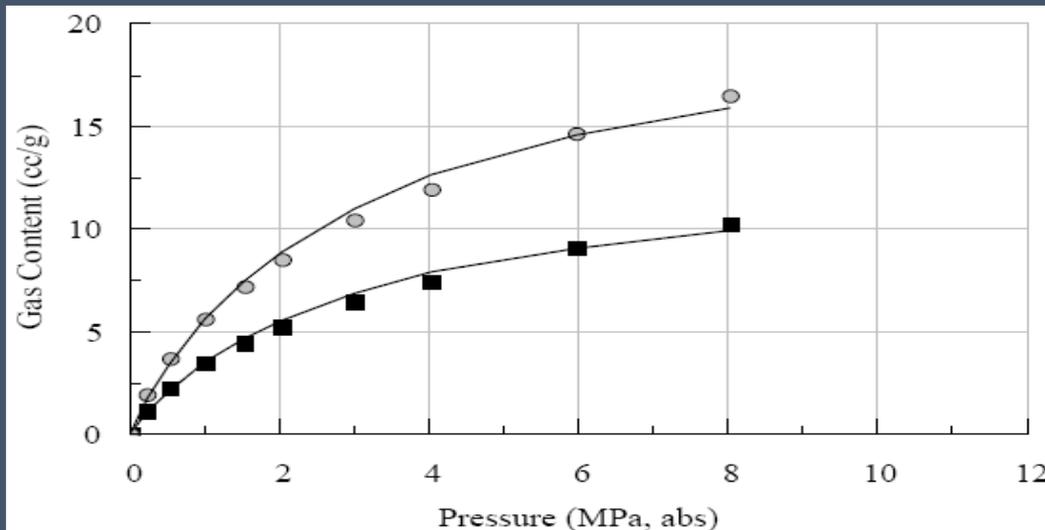


Isoterma de adsorção

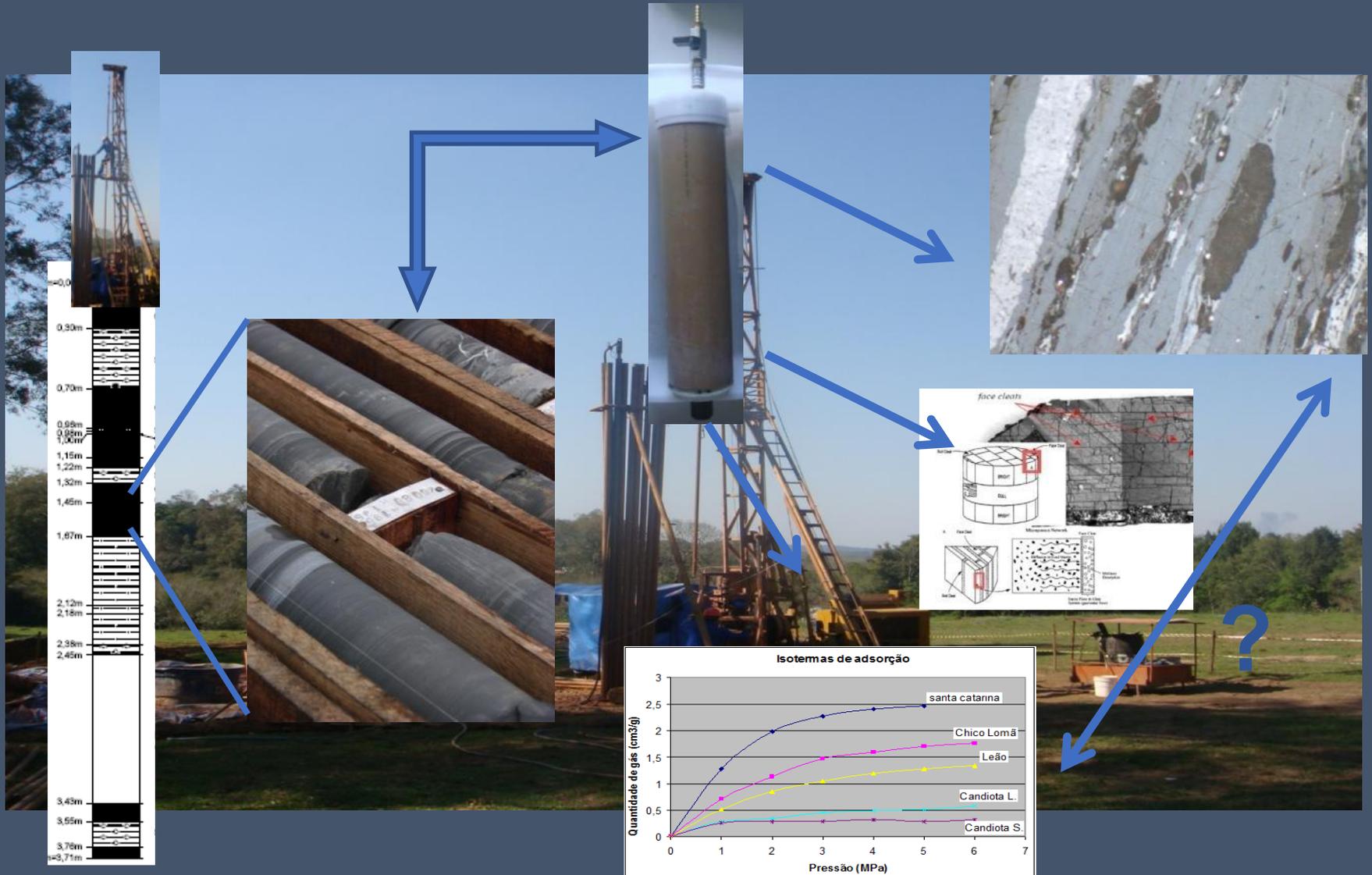
Curvas que descrevem a quantidade de gás adsorvido em função da pressão (ou concentração) do gás, medido à temperatura constante.

Análises termogravimétricas pressurizadas (300 bar) (PTGA – Balança de suspensão magnética)
Teste indireto na investigação de CCGS, CBM/ECBM e shale gas

- Determinar a capacidade de armazenamento máxima de gas em camadas de carvão a diferentes pressões;
- Estimar o grau de saturação pela diferença entre capacidade máxima e o volume real de gas;
- Determinar a pressão crítica de dessorção e condições operacionais em poços de produção;



Relação entre composição, litotipos e conteúdo de gás

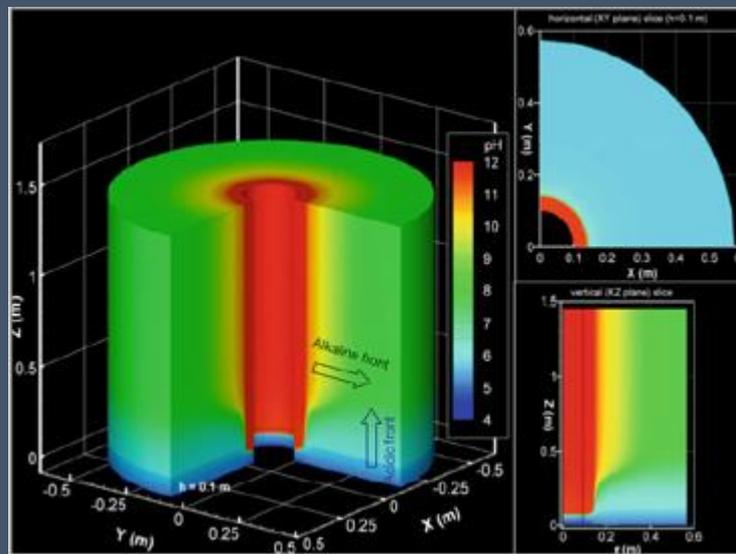
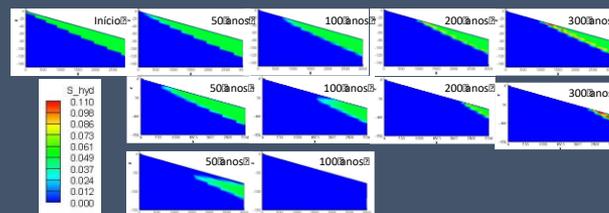
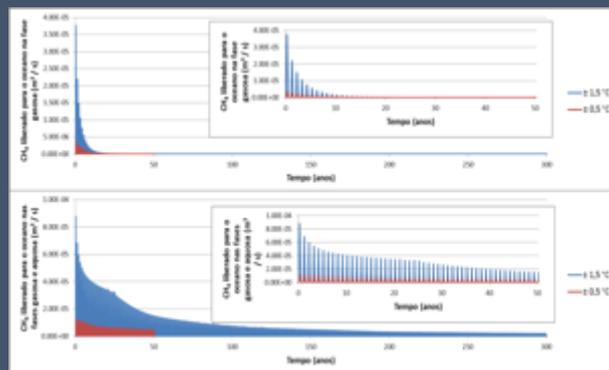


Modelagem experimental



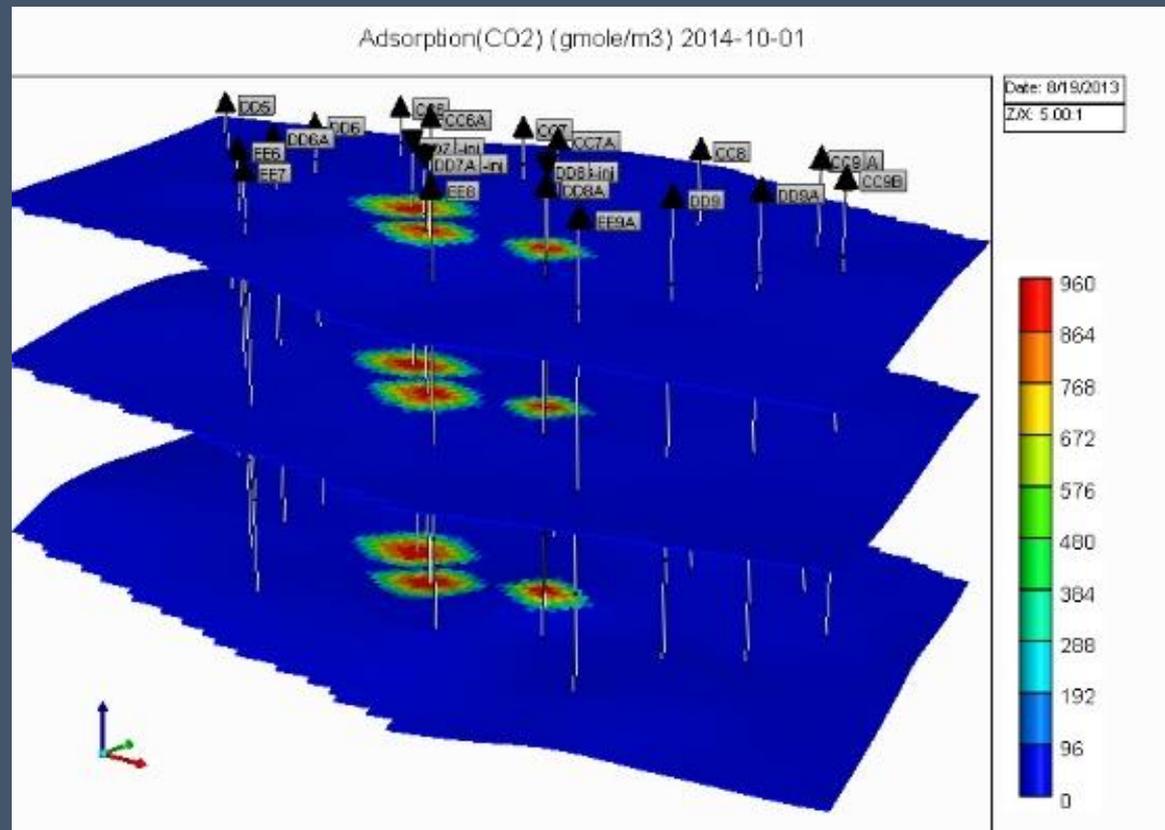
Modelagem Geoquímica

Experimentos de fluxo,
Autoclaves e modelagem numérica de reservatórios

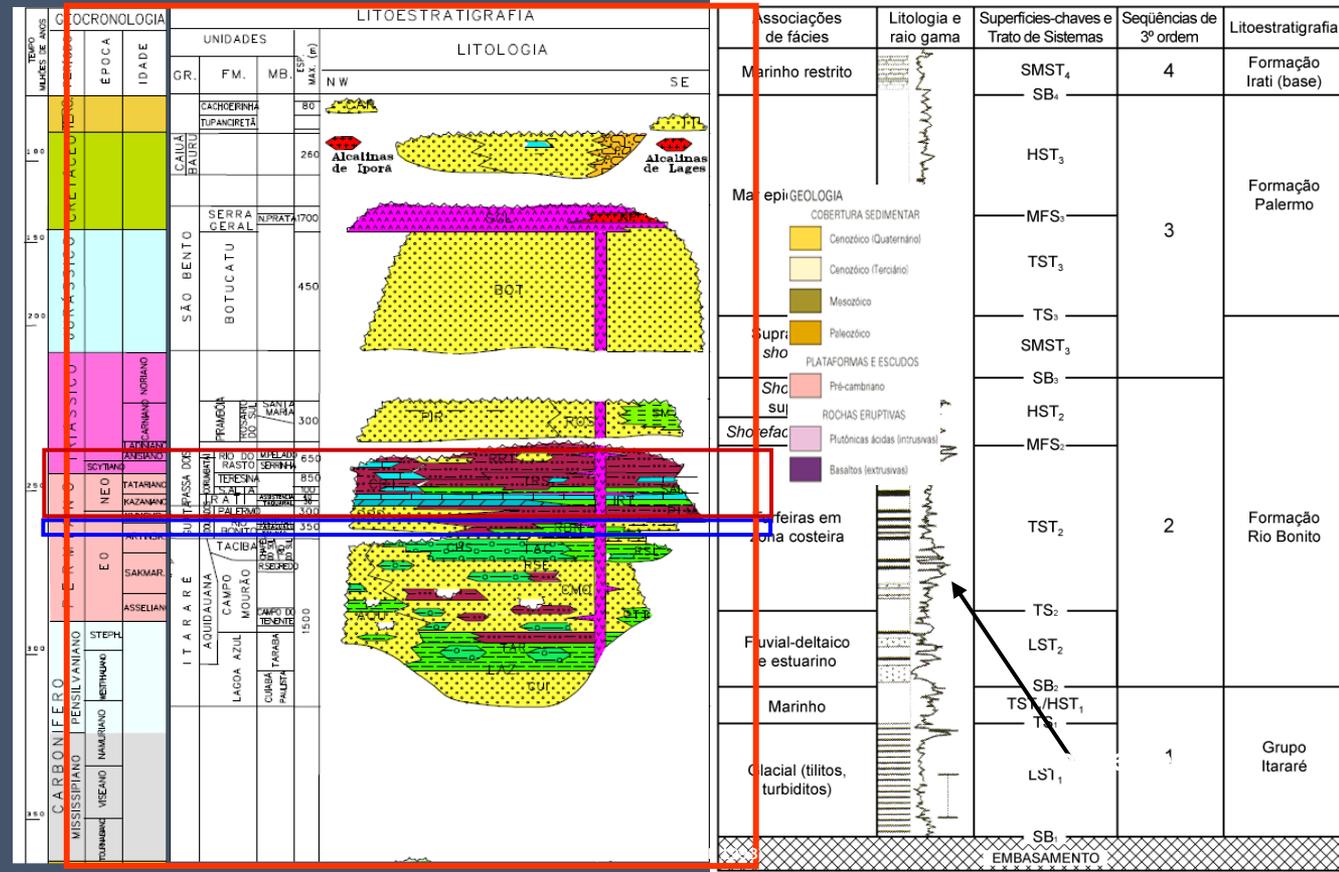


Modelagem de fluxo de CO₂

Interações CO₂-água-rocha;
Integridade de poços;
Modelagem de fluxo de CO₂;
Simulação de vazamentos de CO₂
Utilização de traçadores.



Potenciais rochas selo

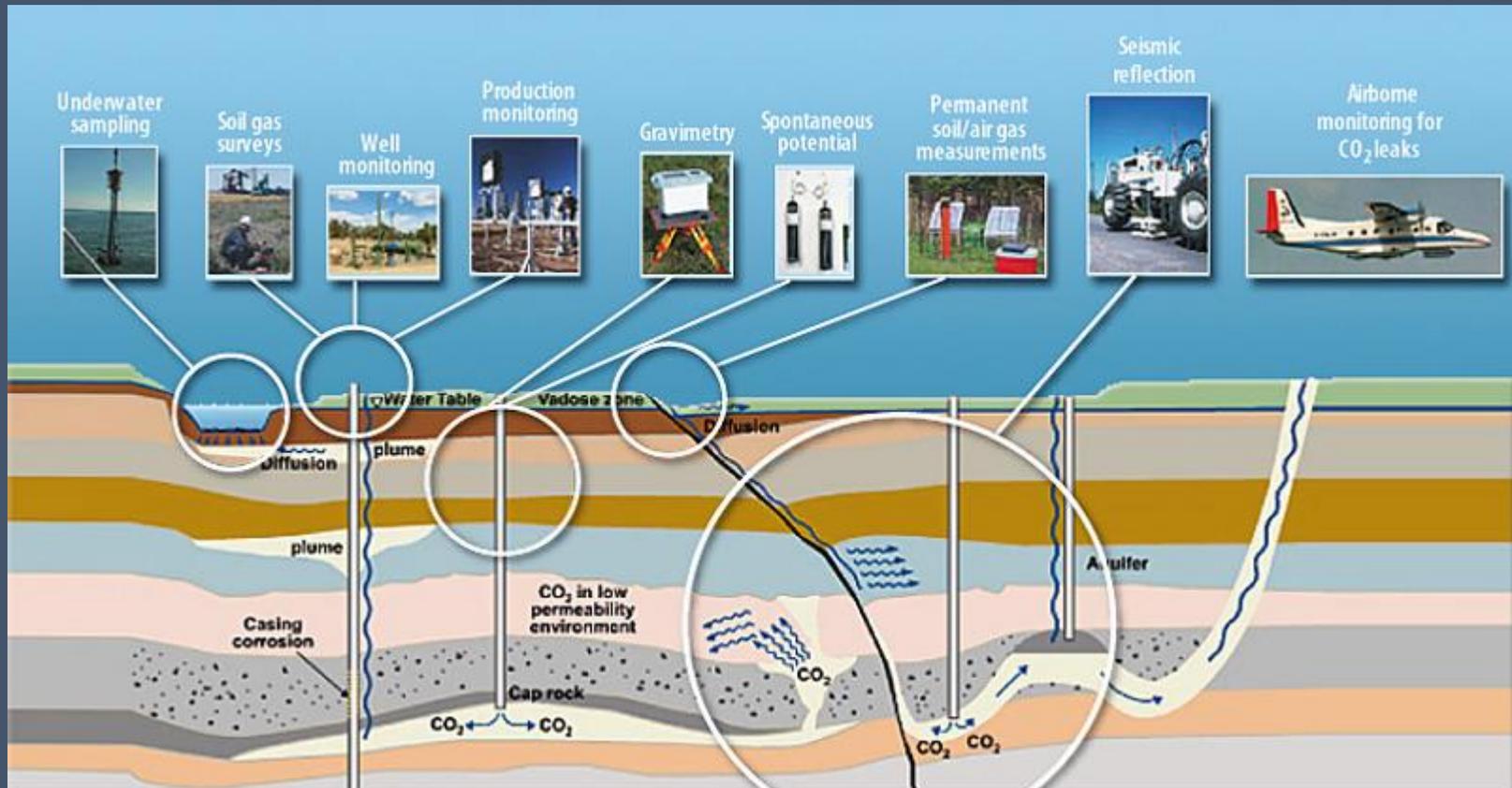


Difusão – ruptura – capilaridade – abertura de fraturas – reatividade – permeabilidade – mineralogia - conectividade e homogeneidade

Monitoramento e avaliação de impactos ambientais em projetos de CCS

Experimentos controlados simulando vazamento CO₂

- MMV CO₂ ar, solo e poços;
- MODELAGEM NUMÉRICA E TAXAS DE INJEÇÃO;
- MEDIÇÃO CONTÍNUA DA ELETRORESISTIVIDADE;
- INJEÇÃO DE TRAÇADORES GASOSOS;
- EQUIPAMENTOS ATMOSFÉRICOS (LIDAR, LOGGER CAMPBELL E SENSORES CARBONCAP)



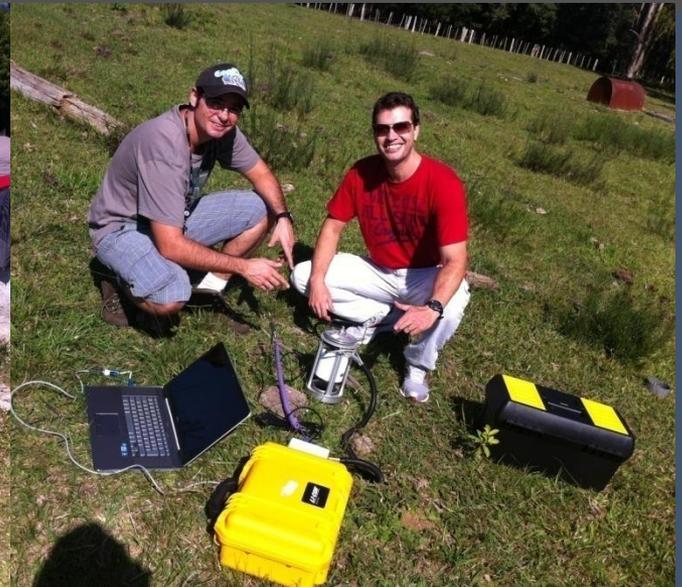
Monitoramento e avaliação dos potenciais impactos ambientais

Medidas de concentração e fluxo de CH₄/CO₂ do solo

Medidas de concentração e fluxo de CO₂ do solo

Sistema da LI-COR contendo uma câmara de fluxo dinâmica e um analisador infravermelho - Soil CO₂ Flux Chamber (LI8100-A)

O método consiste em colocar a câmara de fluxo sobre colares de PVC de 10 cm de diâmetro interno, inseridos a 3,1 cm no solo. A câmara tem um volume interno de 955 cm³, com uma área exposta para o solo de 83,7 cm²



Monitoramento Ambiental Gases

Amostragem de água e concentrações de gases em poços de monitoramento



Monitoramento Ambiental Recursos Hídricos

Amostragem de água e concentrações de gases em poços



Estratigrafia genômica comparada (Bacia do Paraná)

Extração e sequenciamento de DNA (amostras de formações geológicas)

Análise de DNA e RNA de comunidades microbianas e virais

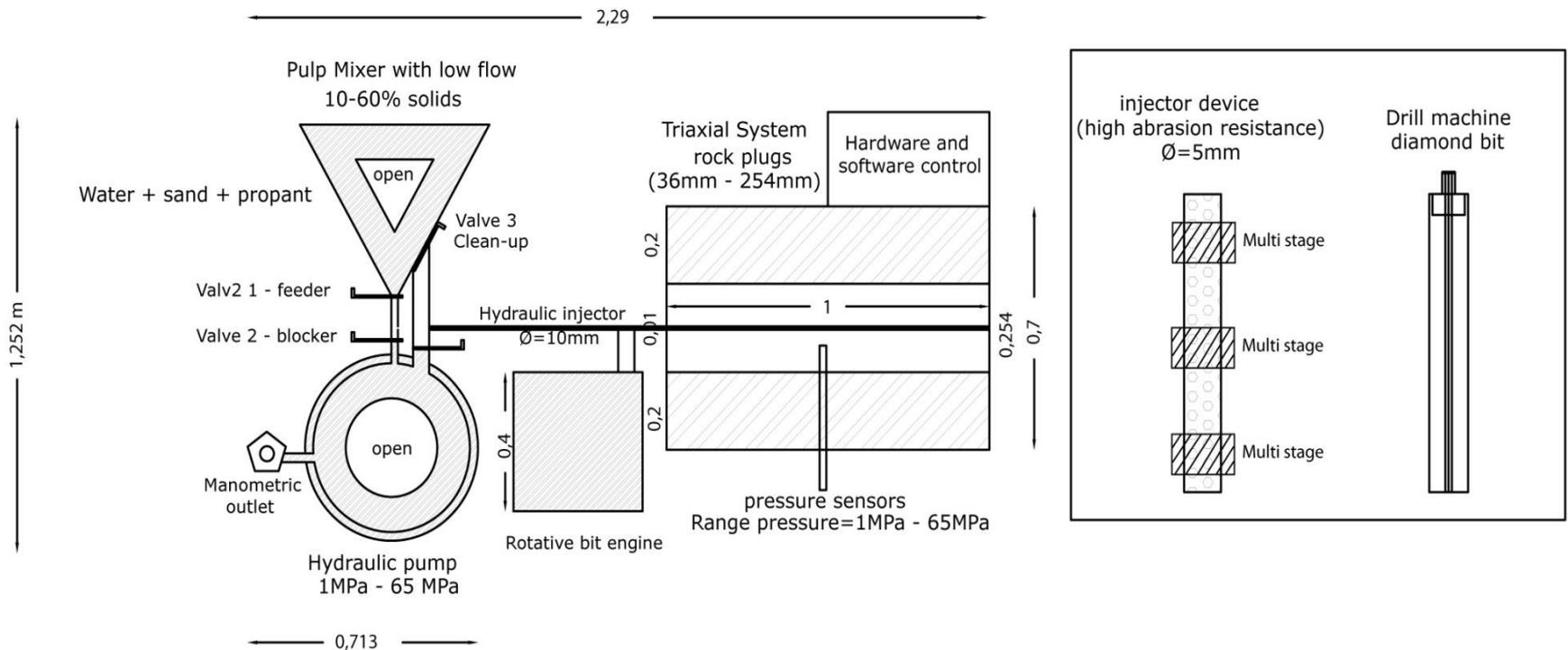


Conversão de CO₂ em combustíveis por bactérias engenheiradas sinteticamente.

Desenvolvimento de protótipos e equipamentos

Protótipo para simular o comportamento geomecânico de rochas selo e reservatórios “não convencionais” durante o fraturamento hidráulico e a injeção de CO₂

(ajustes de fatores de segurança e operacionais para o processo de injeção de CO₂ e exploração de recursos “não convencionais”)



Testes Piloto para o armazenamento de CO2 e produção CH4

Metano contido em camadas de carvão (CBM/ECBM).
Exploração de folhelhos gasógenos e oleígenos



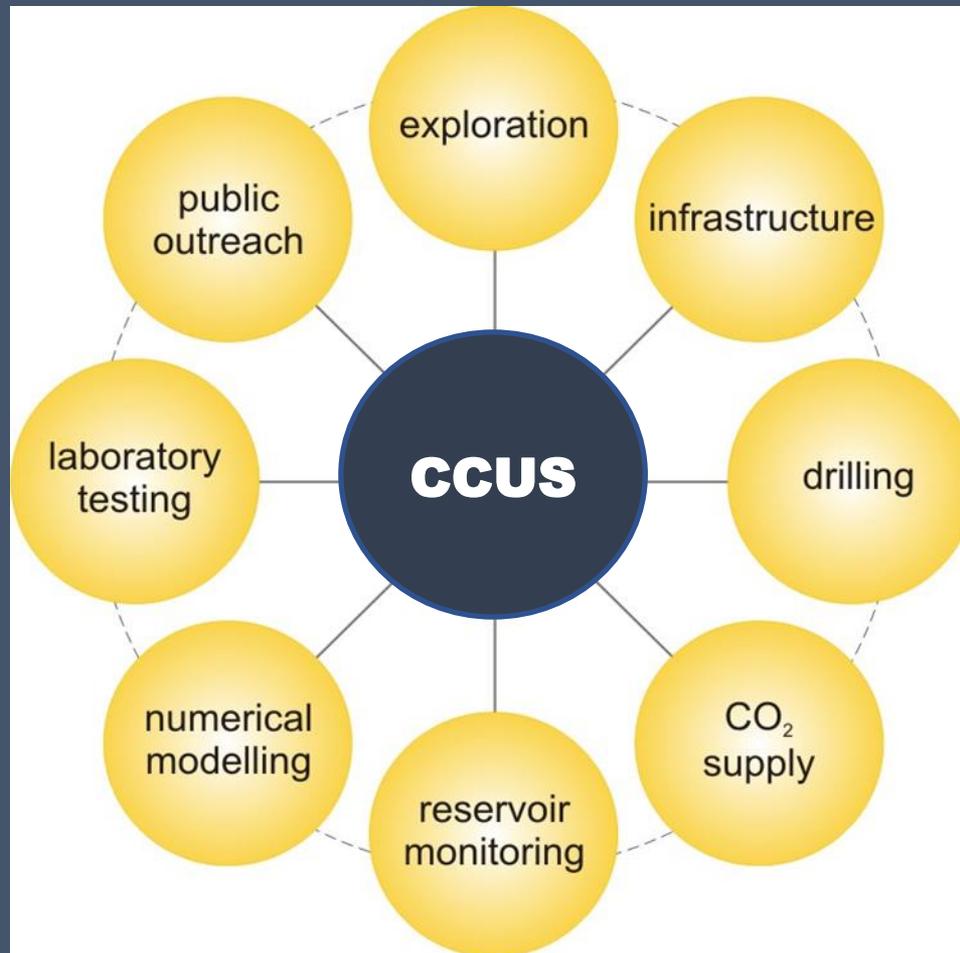
Desafios para viabilidade técnica de projetos

- 1. Análises geomecânicas e petrofísicas de potenciais reservatórios considerando a distribuição vertical e horizontal e as rochas selo**
- 2. Determinação das litofácies "GEO MEC-REATIVAS E PETROFÍSICAS"**
- 3. Simulação do comportamento de rochas selo durante estimulação, fraturamento e injeção de CO₂**
- 4. Eficiência e up-scaling de tecnologias de captura e separação acopladas a centrais termelétricas**
- 5. Logística e custo de transporte da corrente de CO₂ por carodutos**

Seleção de áreas para testes de armazenamento de CO₂ em escala piloto

Desenvolvimento de soluções tecnológicas mais eficientes e de baixo custo (modernização e novas plantas)

Ciclo Testes Piloto CCUS



Desafios para aplicação de projetos CCS

- Desenvolvimento de cadeia produtiva do CCS: tecnologia nacional para sondagem direcional, ferramentas de monitoramento ambiental, desenvolvimento de materiais para separação e resistentes a corrosão CO₂, recursos humanos capacitados, infraestrutura de transporte e logística;
- Regulação para todas as etapas da atividade de CCS, incluindo a pesquisa, desenvolvimento e inovação tecnológica: política, transporte, prospecção, seleção e caracterização de sites, detalhamento de associação emissões fontes estacionárias-reservatórios (CO₂ “*matching*”), desenvolvimento de técnicas de monitoramento ambiental;
- Elevados custos das etapas de captura e separação, mas também de transporte e armazenamento de dióxido de carbono, principalmente quando consideramos a relação emissões tonCO₂/receita de vendas (intensidade carbônica por valor do produto), onde o carvão supera a indústria de óleo/gás, alumínio, aço e energia;

Desafios para aplicação de projetos CCS

- Aceitação pela sociedade e instituições ambientais com relação à segurança e efetividade de uma tecnologia complexa e dispendiosa como o CCS (importância de projetos piloto);
- Possíveis custos elevados de transporte de CO₂, com ressalva a utilização de consórcios com outras fontes emissoras (etileno, etanol, cimento, siderúrgicas, refinarias, amônia, processamento de gás natural e recuperação avançada de óleo (EOR), diluindo os custos de investimento e operacionais (CAPEX e OPEX);
- Articulação setorial nacional robusta em favor da construção de uma agenda política para o CCS acoplado a novas usinas, incluindo a tributação, incentivos fiscais, mecanismos de desenvolvimento limpo, projetos de lei, entre outros;

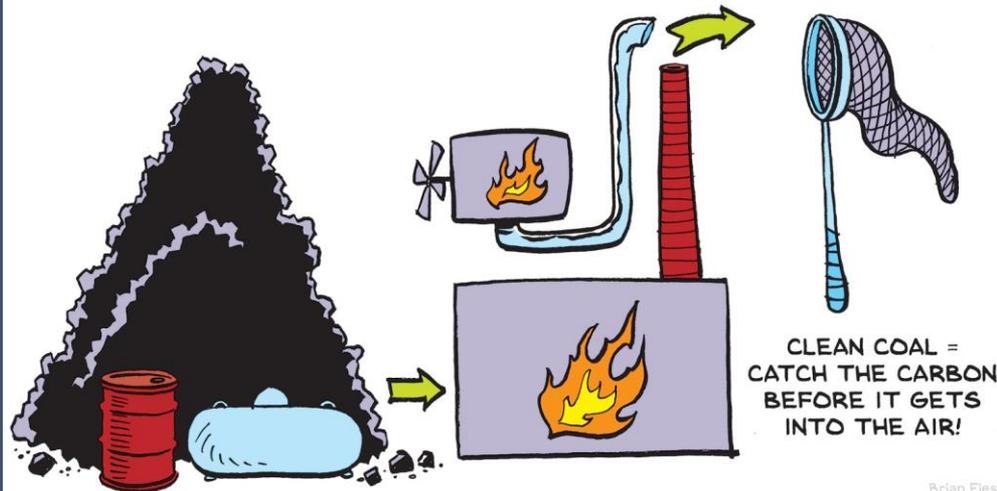
Muito Obrigado pela Atenção!

CLEAN COAL

HYDROCARBONS
Hydrogen (H) + Carbon (C)
Coal, oil, natural gas

COMBUSTION
Add Oxygen (O) to
burn hydrocarbons

EXHAUST
H₂O (water)
CO (carbon monoxide)
CO₂ (carbon dioxide)



Brian Fies

robertoheemann@carboniferacatarinense.com.br