



CADERNO OPINIÃO

# SEQUESTRO GEOLÓGICO DE CO<sub>2</sub> NO BRASIL

---

AUTORA

Isabella Vaz Leal da Costa

**julho.2018**



---

## SOBRE A FGV ENERGIA

A FGV Energia é o centro de estudos dedicado à área de energia da Fundação Getúlio Vargas, criado com o objetivo de posicionar a FGV como protagonista na pesquisa e discussão sobre política pública em energia no país. O centro busca formular estudos, políticas e diretrizes de energia, e estabelecer parcerias para auxiliar empresas e governo nas tomadas de decisão.

### DIRETOR

Carlos Otavio de Vasconcellos Quintella

### SUPERINTENDENTE DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS E RESPONSABILIDADE SOCIAL

Luiz Roberto Bezerra

### SUPERINTENDENTE COMERCIAL

Simone C. Lecques de Magalhães

### ANALISTA DE NEGÓCIOS

Raquel Dias de Oliveira

### ASSISTENTE ADMINISTRATIVA

Ana Paula Raymundo da Silva

### SUPERINTENDENTE DE ENSINO E P&D

Felipe Gonçalves

### COORDENADORA DE PESQUISA

Fernanda Delgado

### PESQUISADORES

Angélica Marcia dos Santos  
Guilherme Armando de Almeida Pereira  
Isabella Vaz Leal da Costa  
Larissa de Oliveira Resende  
Mariana Weiss de Abreu  
Pedro Henrique Gonçalves Neves  
Tamar Roitman  
Tatiana de Fátima Bruce da Silva  
Vanderlei Affonso Martins

### CONSULTORES ESPECIAIS

Ieda Gomes Yell  
Magda Chambriard  
Milas Evangelista de Souza  
Nelson Narciso Filho  
Paulo César Fernandes da Cunha



## OPINIÃO

### SEQUESTRO GEOLÓGICO DE CO<sub>2</sub> NO BRASIL

*Isabella Vaz Leal da Costa*

O Brasil é um dos países voluntários signatários do Acordo de Paris e apresentou metas de redução de emissões de carbono em 37%, a serem cumpridas até o ano 2025, tendo como ponto de partida as emissões de 2005 (MMA, 2018).

Para atingir essas metas, o país propôs algumas estratégias que devem ser seguidas. Dentre elas está a promoção do uso de tecnologias limpas no setor industrial; aumentar a participação da bioenergia sustentável na matriz energética brasileira para 18%; fortalecer o cumprimento do Código Florestal; restaurar 12 milhões de hectares de florestas; alcançar desmatamento ilegal zero na Amazônia brasileira; chegar a participação de 45% de energias renováveis na matriz energética; obter 10% de ganhos de eficiência no setor elétrico e estimular

medidas de eficiência e infraestrutura no transporte público e áreas urbanas (MMA, 2018).

Esta última, especificamente, além de promover a redução de emissões pode ajudar na redução da dependência por combustíveis líquidos. Na recente greve de caminhoneiros que ocorreu no Brasil, notou-se claramente a forte dependência do país por transporte rodoviário e a inserção de alternativas intermodais considerando motores elétricos pode ser uma saída.

Sendo assim, visando uma transição para uma economia de baixo-carbono e considerando um cenário restritivo em relação às emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil, surge a necessidade de redução de emissões de CO<sub>2</sub> num curto prazo. Então, processos e tecnologias para mitigação, como a Captura e armazenamento geológico de carbono, devem ser consideradas.

O Sequestro Geológico de Carbono, ou a Captura e Armazenamento Geológico de CO<sub>2</sub> (*Carbon Capture and Geological Storage – CCGS*) consiste na separação do CO<sub>2</sub> de processos industriais e processos relacionados à geração e/ou consumo de energia,

seguido de transporte para um local de estocagem segura, de modo que haja o isolamento do gás em relação à atmosfera por um longo período de tempo (IEA, 2010; IPCC, 2007; ROCHEDO, 2011; NOGUEIRA et al., 2014; IPCC, 2005).

No sequestro geológico de Carbono, o CO<sub>2</sub> é, então, removido de sistemas estacionários de geração de energia, campos de exploração de óleo e gás, refinarias de petróleo, cimenteiras, siderúrgicas, unidades de produção de gás natural (UPGNs), unidades de produção de fertilizantes etc, sendo armazenado com segurança em formações geológicas e/ou utilizados em processos industriais (IEA, 2010; IPCC, 2007; COSTA, 2009).

O CCGS é dividido em três etapas básicas: captura, transporte e armazenamento geológico. Durante todas as etapas, o monitoramento do CO<sub>2</sub> deve ser realizado para verificar as condições do armazenamento e para minimizar os riscos de vazamento.

A etapa de captura do CO<sub>2</sub> consiste em separar o dióxido de carbono de correntes de gases provenientes de fontes estacionárias. Existe a necessidade de separar o CO<sub>2</sub>, pois os gases emitidos provenientes de alguns tipos de fonte estacionária (exaustos) possuem em sua composição uma diversidade de gases e para realizar posteriormente o transporte e o armazenamento, é necessário que o fluido seja o mais homogêneo possível. Foram desenvolvidas rotas tecnológicas e métodos para a separação do CO<sub>2</sub>. De acordo com IPCC (2007) as rotas tecnológicas são: pré-combustão (CO<sub>2</sub> é capturado antes da combustão); pós-combustão (CO<sub>2</sub> é capturado depois da combustão); Oxicombustão (Combustão com oxigênio ao invés de ar) e Looping Químico. Os métodos de separação englobam absorção química, absorção física, adsorção, membranas e destilação criogênica.

Já a etapa de transporte consiste em levar o CO<sub>2</sub> da sua origem nas fontes emissoras até o local de armazenamento. Esta pode ser realizada por meio de dutos, navios, ferrovias e/ou rodovias. As condições de transporte do gás carbônico são similares à de outros gases da indústria do petróleo, como GLP (Gases Liquefeitos de Petróleo) e gás natural, o que torna possível estimar custos a partir de experiências com esses gases (SVENSSON et al, 2004; MCCOY & RUBIN, 2008; IPCC, 2005; SVENSSON et al, 2004 b; BARRIO et al, 2004; BOCK et al, 2003). Para otimizar esse transporte, é importante que o gás carbônico seja transportado da maneira mais pura possível (i.e, contendo baixos teores de N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S ou H<sub>2</sub>O), para que o volume de gás transportado seja menor e constituído principalmente de CO<sub>2</sub> (MCCOY, 2008). Já que a etapa de captura prevê a purificação do gás, o transporte aqui considerado engloba também qualquer condicionamento necessário ao gás (como compressão ou liquefação) para que seja realizado o transporte. Experiências de transporte por ferrovias e rodovias são encontradas principalmente na indústria de bebidas e alimentos. Porém, as quantidades transportadas para esse fim são muito menores que as quantidades associadas ao sequestro geológico de dióxido de carbono, sendo da ordem de grandeza de 100.000 toneladas de CO<sub>2</sub> por ano (SVENSSON et al, 2004).

Transporte por navios e tubulações *offshore* são as duas opções de transporte marítimo economicamente viáveis. Navios possuem a vantagem de oferecer uma maior flexibilidade por se adaptarem com mais facilidade à capacidade e a rota de transporte, porém possuem o inconveniente da possível dificuldade do tráfego portuário. Tubulações, por sua vez, são capazes de lidar com grandes quantidades de CO<sub>2</sub> com uma logística menos complexa, devido ao fluxo uniforme. Uma questão importante, relacionada aos carbodutos é a necessidade de criação de

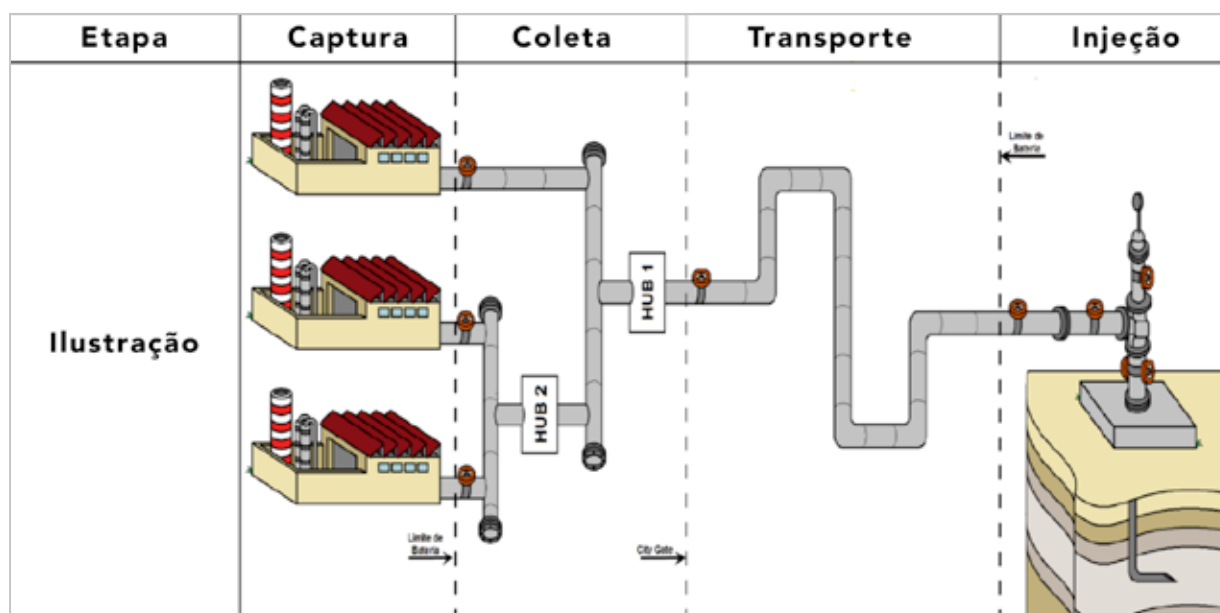
infra-estrutura, o que incorre em maiores custos de capital (SVENSSON et al, 2004). Quanto ao transporte *onshore* podem ser consideradas as opções de dutos, rodovias e ferrovias. E como dito anteriormente, a escolha pela melhor opção de transporte para cada projeto específico requer a análise principalmente da quantidade de CO<sub>2</sub> a ser transportada.

O CO<sub>2</sub> pode ser armazenado em reservatórios de petróleo e gás com baixas taxas de recuperação, camadas de carvão, aquíferos salinos profundos,

cavernas de sal, em formato de carbonatos pelo processo de carbonatação mineral, além de poder ser injetado diretamente nos oceanos. Em relação ao sequestro EOR (*Enhanced Oil Recovery*) e RAG (recuperação avançada de gás) em reservatórios geológicos, a indústria de óleo e gás já possui vasta experiência em sua execução. A Figura 1 representa as etapas do sequestro geológico de carbono.

A Figura 2 representa um esquema de Sequestro geológico de Carbono.

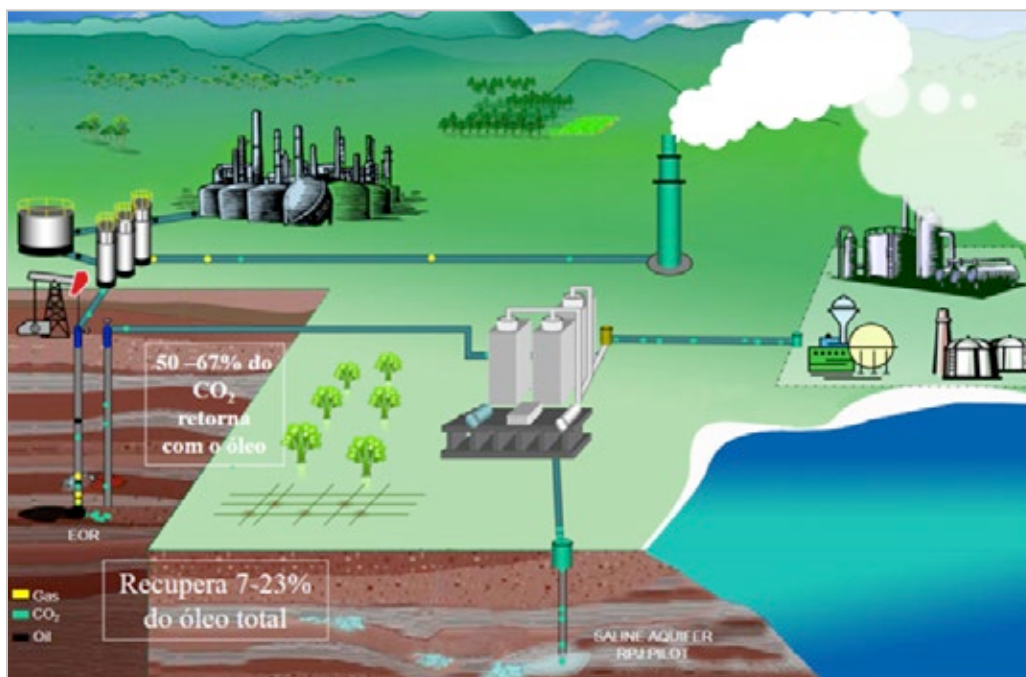
Figura 1 –Etapas do Sequestro Geológico de Carbono



Fonte: Costa, 2014.



Figura 2- Esquema de Sequestro Geológico de Carbono com possíveis opções para armazenamento



Fonte: Elaboração própria.

É importante ressaltar que existem alguns riscos ambientais associados a essas tecnologias. O transporte de  $\text{CO}_2$  por meio de dutos através de áreas populosas requer uma atenção especial para a escolha da rota pela qual vão passar as tubulações; para a proteção, ou seja, meios de controle, no que diz respeito a pressões muito elevadas; métodos para detectar vazamentos, além de outros fatores que devem ser levados em consideração na construção das tubulações. Os vazamentos podem fazer com que grandes fluxos de  $\text{CO}_2$  entre em contato com condições atmosféricas estáveis, o que leva ao aumento da concentração do gás no ar afetando os seres humanos e animais. E também um possível aumento na pressão do gás quando estiver sendo injetado poderia causar pequenos eventos sísmicos. (Costa, 2014).

No que diz respeito aos custos e potenciais, de acordo com Rochedo et al. (2016), nos setores energético-intensivos da economia brasileira como produção de óleo e gás, refinarias, produção de etanol e

setor elétrico, o potencial de redução de emissões utilizando CCGS pode chegar a  $130 \text{ MtCO}_2/\text{ano}$  em 2030. Os custos da etapa de captura podem variar de  $4 - 74 \text{ US\$/tCO}_2$  nesses setores (Rochedo et al., 2016). No caso das etapas de transporte e armazenamento os custos podem variar de  $7 - 12 \text{ US\$/t CO}_2$  (CCS Global Institute, 2017).

É importante destacar que para implementar as tecnologias de CCGS como medida de mitigação das emissões de  $\text{CO}_2$  (externalidades negativas) provenientes dos setores de energia e setores energético-intensivos brasileiros, é necessário que exista uma política pública neste sentido. A política pública apresentaria planos e programas voltados para a redução das emissões de  $\text{CO}_2$  no Brasil. Assim, o carbono emitido pelas instalações industriais e energéticas teria um valor, seja através de limite de emissões de  $\text{CO}_2$  (cap) ou através de taxaço. Surgiria, então, um mercado de carbono. Com esse mercado, é necessária a elaboração de uma regulação especí-

fica para controlar o mesmo, além de estabelecer procedimentos e normas para a execução de projetos desse tipo. Já existem estudos específicos no Brasil voltados para a discussão dessas questões regulatórias (Costa, 2014).

Dado o que foi exposto pode-se concluir que o Sequestro Geológico de CO<sub>2</sub> é uma opção promissora para mitigar emissões de GEE. Essas tecnologias são, de fato, maduras, porém ainda se discute sua viabilidade econômica. Ao analisar esta questão econômica vale ressaltar que, ser viável ou não depende da necessidade dos setores em se adequarem à cenários restritivos de emissões de carbono. Portanto, quando a necessidade existe, os investimentos tendem a ser feitos.

sora para mitigar emissões de GEE. Essas tecnologias são, de fato, maduras, porém ainda se discute sua viabilidade econômica. Ao analisar esta questão econômica vale ressaltar que, ser viável ou não depende da necessidade dos setores em se adequarem à cenários restritivos de emissões de carbono. Portanto, quando a necessidade existe, os investimentos tendem a ser feitos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MMA, 2018. "Contribuições nacionalmente determinadas – INDC". Disponível em <http://www.mma.gov.br/informma/item/10570-indc-contribui%C3%A7%C3%A3o-nacionalmente-determinada>. Acessado em julho/2018.

BARRIO, M., ASPELUND, A., WEYDAHL, T., MØLNVIK, M., KROGSTAD, H., SANDVIK, T.E., WONGRAVEN, L.R., HENNINGSEN, R, E EIDE, S.I., 2004. "Ship-based transport of CO<sub>2</sub>". 7th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies.

BOCK, B., RHUDY, R.; HERZOG, H.; KLETT, M.; DAVINSON, J.; UGARTE, D. De la Torre; e SIMBECK, D. 2003. "Economic Evaluation of CO<sub>2</sub> Storage and Sink Options". DOE Research Report DE-FC26-00NT40937.

Costa, 2009. " ANÁLISE DO POTENCIAL TÉCNICO DO SEQUESTRO GEOLÓGICO DE CO<sub>2</sub> NO SETOR PETRÓLEO NO BRASIL". Dissertação de Mestrado. Programa de Planejamento Energético – PPE/COPPE/UFRJ.

Costa, 2014. " PROPOSTA DE ESTRUTURA REGULATÓRIA PARA SEQUESTRO GEOLÓGICO DE CO<sub>2</sub> NO BRASIL E UMA APLICAÇÃO PARA O ESTADO DO RIO DE JANEIRO". Tese de Doutorado. Programa de Planejamento Energético – PPE/COPPE/UFRJ.

IEA, 2010. Disponível em [http://www.co2captureandstorage.info/project\\_specific.php?project\\_id=143](http://www.co2captureandstorage.info/project_specific.php?project_id=143) acessado em 13/01/2017.

IPCC, 2007 . Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Cambridge: Cambridge University Press, Cambridge, 2005. Preparado pelo Grupo de Trabalho III do IPCC.

IPCC, 2005. "Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage". Cambridge University Press, Cambridge, UK.

MCCOY, S. E RUBIN, E., 2008 "An engineering-economic model of pipeline transport of CO<sub>2</sub> with application to carbon capture and storage", Journal Of Greenhouse gas control, 219.



NOGUEIRA, L., LUCENA, A., RATHMANN, R., ROCHEDO, P., SZKLO, A., SCHAEFFER, R., 2014. "Will thermal power plants with CCS play a role in Brazil's future electric power generation?" International Journal of Greenhouse Gas Control. Vol. 24, pp. 115 – 123.

ROCHEDO, P, SZKLO, A, 2013. "Designing learning curves for carbon capture based on chemical absorption according to the minimum work of separation". Applied Energy, vol 108 Pag. 383 – 391.

SVENSSON R, ODENBERGER M, JOHANSSON F, STROMBERG L., 2004. "Transportation systems for CO<sub>2</sub>- Application to carbon capture and storage". Energy Conversion and Management, 45. p. 2343–2353.

Rochedo, P.; Costa, I., et al., 2016. "Carbon capture potential and costs in Brazil". Journal of Cleaner Production, Vol 131, p. 280-295.



Isabella Vaz Leal da Costa é Pesquisadora na FGV Energia e Professora do MBA/FGV em Gestão de Negócios para o Setor Elétrico. Foi Pesquisadora Pós-doc do Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente, Biotecnologia, e Energia - LEPABE, no Departamento de Engenharia Química da Universidade do Porto - FEUP, Portugal. Foi pesquisadora Pós-doc no Centro de Economia Energética e Ambiental - CENERGIA do Programa de Planejamento Energético - PPE/COPPE/UFRJ por 12 anos. É Doutora em Planejamento Energético com ênfase em Tecnologia da Energia pelo PPE/COPPE/UFRJ (2014) e Mestre em Planejamento Energético com ênfase em Planejamento Ambiental pelo PPE/ COPPE/UFRJ (2009). Engenheira Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, com ênfase em Recursos Hídricos e Meio Ambiente (2006). Tem experiência na área de Engenharia Civil (Recursos Hídricos e Obras Hidráulicas), Mudanças Climáticas,

Energia e Meio Ambiente, atuando principalmente nos seguintes temas: geração de energia elétrica (hidrelétrica, térmica, solar, eólica), impactos das mudanças climáticas nos sistemas energéticos; cálculos de potencial e custos para mitigação das emissões de gases de efeito estufa provenientes dos setores energo-intensivos no Brasil e no mundo; exploração e produção de petróleo e gás natural; captura e armazenamento geológico de carbono; Eficiência energética e Pegada ecológica nos setores industriais.

\* Este texto é de inteira responsabilidade do autor e não reflete necessariamente a linha programática e ideológica da FGV.



---

[fgv.br/energia](http://fgv.br/energia)

