

9º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



9º CONGRESSO
Brasileiro de **P&D** em
PETRÓLEO E GÁS

Maceió, AL
de 09 a 11 de novembro
2017

Realização:



ABPG
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE P&D EM
PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

CARACTERIZAÇÃO DE SITES PARA INJEÇÃO DE CO₂: UMA PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA A BACIA DO RECONCAVO

AUTORES:

Sacha S.G Coelho¹, George A.B. Câmara², Hudson M. Fróes³, Laila F. Carvalho⁴, Paulo Rocha⁵, José C.S. Andrade⁶

INSTITUIÇÃO:

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, UFBA, ²Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, ⁴Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais, UFBA, ⁵Queiroz Galvão Exploração e Produção, ⁶Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, UFBA

CARACTERIZAÇÃO DE SITES PARA INJEÇÃO DE CO₂: UMA PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA A BACIA DO RECONCAVO

Abstract

Climate change is a subject that has been widely discussed, and despite the worldwide policies involving CO₂ emissions by anthropogenic sources continue to grow. Another topic that has been widely addressed is the use of renewable energy and its clean technologies, but fossil fuel is still the main source of energy, whose sector receives most of the investment. CCS / CCUS is one of the alternatives that makes possible to continuing the use of fossil fuel while reducing and / or mitigating GHG emissions into the atmosphere, especially CO₂. Capturing the CO₂ emitted by industries and using it as an EOR method is one of the many forms of technologies employed in CCUS, thus appearing as a great opportunity to sequester carbon dioxide. After sequestration and use of carbon dioxide, the final alternative of the CCS / CCUS process is storage and one of the sites that are more likely to storage the CO₂ is mature oil fields or depleted reservoirs. For this reason the object of study of this article is the Recôncavo Basin, State of Bahia, because it is the oldest producing basin of Brazil, considered thus a mature basin, but with great potential of increase of the production. One of the main steps in a CO₂ injection project is the characterization of the sites. Several studies have sought to present methodologies for the characterization of sites for CO₂ injection. The research methodology of this work consists of the bibliographic survey and research and exploratory, associated to the use of softwares and field visits. The objective of this work is to establish a methodology for site characterization specific to the Recôncavo Basin based on the worldwide

experience of site characterization for CO₂ injection projects, for that purpose, the research findings that were developed in the basin were used. Until now, the applications of techniques for the selection of candidate fields, risk analysis, technical and economic evaluation, as well as the application of tools on public perception for CO₂ injection have been identified. Another objective of the work is to point out the main study gaps necessary to establish the methodology of site characterization. In order to define the methodology, it is necessary to identify the gaps and propose ways to meet those needs, with the objective of implanting large-scale injection projects at the basin.

Introdução

Mudanças climáticas no mundo e formas de mitigação e redução de GEE (Gases de Efeito Estufa), são assuntos mundialmente comentados. Apesar do grande número de políticas que envolvem as mudanças climáticas, as emissões de CO₂ proveniente de ações antropogênicas continua em crescimento, sendo que no período de 2000-2014, obteve uma média de crescimento em torno de 2.6% por ano, em contraste com o período de 1970-2000 que foi de 1.72% por ano (Mac Dowell *et al.*, 2017).

Ainda segundo Mac Dowell *et al.*, 2017, tanto o IEA (*International Energy Agency*) quanto o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) projetaram que um “mundo não compatível” com mais de 2°C de aquecimento acima dos níveis pré-industriais, é aquele no qual as emissões de CO₂ antropogênicas são reduzidas abaixo de 20Gt_{CO2} por ano até 2050, com reduções futuras próximas de zero, ou até mesmo negativas, no próximo século.

Apesar das energias renováveis, suas tecnologias e benefícios ser um assunto que vem crescendo, o uso do combustível fóssil ainda é o setor de energia com maior investimento, ainda sendo o predominante no mundo. E o uso de combustíveis fósseis para geração de energia, processos industriais e transporte, é a maior causa do aumento da concentração de CO₂ na atmosfera (Bachu, 2016). Por este motivo, reduzir as emissões de CO₂ provenientes de indústrias que utilizem combustíveis fósseis como fonte de energia se torna essencial.

Para que a mitigação/redução de GEE, principalmente o CO₂, se torne viável, existem tecnologias que vêm sendo estudadas e aplicadas, dentre elas destacamos ou CCS (*Carbon Capture and Storage*) / CCUS (*Carbon Capture Use and Storage*).

CCS/CCUS

Carbon capture and sotorage (CCS), segundo o IPCC, 2005, consiste de um processo de separação do CO₂ de fontes industriais (relacionadas a energia), transporte e armazenamento em local seguro. O CCUS consiste na captura/separação do CO₂ de suas fontes industriais, porém com a utilização do dióxido de carbono em certos processos e o posterior armazenamento (Lacy *et al.*, 2013).

Quando comparado a outras tecnologias de mitigação de GEE, CCS se torna importante pois permite a continuidade do uso de combustíveis fósseis, que fornecem em torno de 80% da energia primária do planeta (Szulczewski *et al.*, 2012). E mesmo com o crescimento das tecnologias referentes a energias renováveis, o investimento anual de energia de combustíveis fósseis dobrou no período de 2000-2013 e por tal motivo não está fora de questão sugerir que combustíveis fósseis continuarão a ser importantes, se não dominantes, quando se trata do panorama energético mundial (Mac Dowell *et al.*, 2017).

Para ser coerente com a realidade mundial atual, a qual deseja formas de energias sustentáveis com a finalidade de mitigar/reduzir emissões de GEE, principalmente CO₂, as tecnologias que

envolvem CCS se tornam as mais prováveis formas a serem usadas em larga escala no futuro, podendo trabalhar em conjunto com as energias renováveis sem deixar de utilizar os combustíveis fósseis.

Bacia do Recôncavo

A Bacia do Recôncavo, situada no Nordeste Brasileiro, possui um intenso processo exploratório e seu início se deu no ano de 1939, no distrito de Lobato, em Salvador. O óleo desta bacia possui grau API em torno de 30, caracterizando-se como petróleo de boa densidade (FEIJÓ, 2005). A região do recôncavo é responsável pela maior parte da produção de óleo na Bahia, e segundo Zamith e Santos (2007), ao observar esta bacia, têm-se campos com características marcadamente maduras, além de possuir também características marginais.

Os campos da Bacia do Recôncavo possuem características marginais/maduras, que são propícias para a utilização do método de recuperação avançada de injeção de CO₂ (EOR-CO₂), quem vem sendo uma alternativa de suplementar a energia e produzir o óleo que se encontra trapeado nos reservatórios (óleo remanescente).

EOR-CO₂ é uma das diversas formas de se utilizar o CO₂ em processos de CCUS, e posterior a injeção ocorre o armazenamento geológico do gás. Outro motivo do objeto de estudo ser a bacia em questão, é o fato de que campos marginais são bons armazenadores geológicos (Ravagnani *et al.*, 2009).

Caracterização de Sites para Projetos De Injeção De CO₂

Injeção de CO₂ é uma das diversas formas de se utilizar o dióxido de carbono em projetos de CCUS, e para que se obtenha sucesso é necessário que se tenha conhecimento de vários aspectos relacionados aos campos que irão utilizar o método de recuperação avançada. Para tal, é preciso realizar uma seleção e consequentemente uma caracterização dos potenciais sites para utilização do método em questão.

O processo de caracterização de sites é um processo multidisciplinar, se assemelhando à exploração de óleo e gás (Neele *et al.*, 2013). Um estudo de caracterização de sites, que serão utilizados para injetar CO₂ deve responder perguntas frequentes que serão importantes para levar o projeto adiante e estimar os riscos relacionados.

O objetivo maior de um estudo de caracterização, é poder diminuir os riscos envolvendo o método de injeção de CO₂, a partir do momento que analisa diversas áreas que envolvem o projeto. Áreas como geologia do reservatório, engenharia do reservatório, mecânica e dinâmica dos fluidos envolvidos, modelagem em softwares, análise de risco, análise econômica e percepção pública, estão envolvidas no processo de caracterização de sites, porém existindo diversas outras áreas que podem vir a ser analisadas.

Objetivo

O objetivo deste artigo é propor uma metodologia de caracterização de sites, específica para bacia do recôncavo para utilizar o método de injeção de CO₂. Este trabalho terá como bases a experiência mundial relacionada à caracterização de sites para projetos utilizando o método em questão, além dos achados de pesquisas que foram desenvolvidas na Bacia.

Metodologia

A metodologia deste trabalho consiste de etapas de cunho exploratório, como levantamento bibliográfico, pesquisas literárias e de campo, associadas à utilização de softwares e análise de estudos

já realizados referentes à Bacia do Recôncavo. Esta primeira parte foi realizada a partir de estudos de projetos de caracterização de sites e posterior levantamento de variáveis e critérios relevantes para se propor uma metodologia de caracterização, sempre adequando à realidade da bacia em estudo. Todo este estudo e pesquisa são associados ao uso de softwares e análises laboratoriais, que irão ajudar na observação do comportamento dos campos escolhidos antes e depois de utilizar o método.

A análise de estudos já realizados, diz respeito a trabalhos de screening de campos da Bacia do Recôncavo para utilização do método de recuperação avançada de injeção de CO₂ (EOR-CO₂), os quais definiram critérios, de reservatório, fluídos e geológicos, necessários para se selecionar os campos. Além de estudos regulatórios, de análise de risco, avaliação técnica e econômica e percepção pública.

A sequência metodológica adotada foi a seguinte: primeira etapa de cunho exploratório, que consistiu em analisar a literatura referente à caracterização de sites e projetos que obtiveram sucesso, coletando assim dados que possam ser utilizados na proposição da metodologia de caracterização; a segunda etapa consistiu em checar os estudos já feitos, referentes à Bacia do Recôncavo e utilização do método EOR-CO₂. Estudos estes que compõe às áreas que são abrangidas pela caracterização de sites; por fim, a quarta etapa que identificou as lacunas existentes para a proposição de uma metodologia específica e as formas de suprir as lacunas identificadas.

Resultados e Discussão

Estudos Realizados Na Bacia Do Recôncavo

A PETROBRAS junto com o Centro de Estudos em Petróleo e Gás Natural (CEPGN) da UNIFACS realizaram um projeto de pesquisa intitulado “AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE CO₂ PARA A EXPLOTAÇÃO DE JAZIDAS DE ÓLEOS EM CAMPOS MADUROS”, o qual teve como objetivo, a investigação da viabilidade técnica e econômica da utilização do método miscível de CO₂, nos campos da Bacia do Recôncavo, para produção de óleo. O motivo de se escolher a Bacia do Recôncavo, foi devido a estudos preliminares conduzidos pela própria PETROBRAS, a qual obteve indicativos de volumes expressivos de CO₂, para a recuperação avançada de injeção miscível de gás carbônico (CEPGN, 2007).

Das pesquisas feitas neste projeto, a determinação da PMM (Pressão Mínima de Miscibilidade), do ponto de bolha do reservatório, caracterização do óleo assim como os experimentos feitos com as amostras de óleo coletadas, são os pontos importantes para as futuras pesquisas relacionadas ao tema.

A pressão de bolha é uma das propriedades mais importantes no que se concerne ao estudo do comportamento de fases. Para tal projeto, foram feitas correlações empíricas para o cálculo do ponto de bolha. Tais correlações tiveram que ser adaptadas às características dos campos em estudo, Bacia do Recôncavo. Após uma avaliação criteriosa, observou-se que nenhuma correlação se aplicou, por este motivo foi criada uma relação específica do ponto de bolha para a Bacia do recôncavo (CEPGN, 2007).

O cálculo da pressão de bolha será de extrema importância para a determinação da PMM, a qual necessitou de ajustes de dados experimentais. Foram utilizadas diversas correlações de diversos autores e a CEPGN implementou cada correlação (CEPGN, 2007). A partir do trabalho da CEPGN juntamente com a PETROBRAS, as equações de correlação do ponto de bolha e da PMM foram utilizadas para pré-selecionar campos da Bacia do Recôncavo como possíveis candidatos à utilização do método de injeção miscível de CO₂. Além destas equações, foi necessário fazer uma análise das pressões de fratura dos reservatórios, com o intuito de saber se os campos são capazes de suportar uma pressão média maior que a PMM.

A revisão de trabalhos abordando os critérios de seleção para aplicação de injeção miscível de CO₂ se fez importante para compreender, se basear e determinar critérios de seleção específicos para a utilização da injeção miscível de CO₂ como recuperação especial nos campos da Bacia do Recôncavo. Dentre os critérios estabelecidos pela literatura e utilizados para a Bacia do Recôncavo tem-se: densidade- °API, saturação do óleo, viscosidade do óleo, temperatura, pressão, profundidade e permeabilidade do reservatório, características geológicas do reservatório.

Tais critérios foram propostos por Martin e Seright em seus artigos publicados em 1997 EOR Screening Criteria Revisited Part 1 e Part 2).

Posteriormente à definição dos critérios, foi realizada uma coleta de dados em relatórios técnicos públicos, que resultou em dados de 45 reservatórios de 26 campos da bacia em estudo. Tais reservatórios foram analisados, estudados e 23 reservatórios de 15 campos foram pré-selecionados. Este trabalho de screening, seleção, foi realizado por Hudson Fróes, em sua pesquisa.

Após passar pela primeira triagem que consistia em analisar parâmetros do reservatório e dos fluídos, a segunda triagem consistiu na análise geológica dos campos pré-selecionados e a comparação destes com campos que a PETROBRAS já utilizou como campos pilotos para utilização do método de injeção miscível de CO₂.

Os campos modelos levados em consideração foram o de Buracica e o de Miranga, e além da geologia foram levados em consideração outras características pertinentes, como o estágio evolutivo, formação e sistema deposicional.

A etapa de comparação geológica consistiu na seleção de 6 campos. O objetivo da análise geológica foi apenas estabelecer um padrão, estabelecer mais um parâmetro para seleção, além de complementar trabalhos anteriores. Porém, não significa que todos os campos que possuem as mesmas características serão bons candidatos a usar o método de injeção de CO₂, é necessário se fazer o estudo mais amplo das particularidades geológicas dos campos, orientação, tipo de trapa, falhas, a constituição dos reservatórios, mecanismo de fluxo, geologia estrutural, mineralógica, se os reservatórios são heterogêneos ou não, se já ocorreu algum tipo recuperação primária entre outros.

Além dos trabalhos de screening, outros trabalhos complementaram o processo de modelagem de caracterização. Dentre eles tem-se a pesquisa de Câmara *et al.*, (2011), o qual trata sobre a regulamentação referente às tecnologias de CGS (*Carbon Dioxide Geological Storage*), seu uso em grande escala e sobre o quadro de regulamentação Brasileiro em relação ao CGS, no que se refere à sugestões e propostas.

No que se concerne à estudo de viabilidade técnica e econômica da utilização do método de EOR-CO₂ na Bacia do recôncavo, tem-se a pesquisa e dissertação de Santana, 2017, que aborda o uso de modelagem e simulações de reservatórios para posterior estudo e avaliação.

No âmbito social, Netto *et al.*, (2016), realizou revisões bibliográficas relacionadas à percepção pública de CCS em vários países do mundo. Analisando fatores que influenciam a relação projeto e comunidade, a forma que esta é afetada assim como a forma que a comunicação é estabelecida com a população. Contudo, não foram realizadas pesquisas junto as comunidades onde se encontram os sites com potencial de abrigar um projeto de injeção de CO₂ na Bacia do Recôncavo. Segundo Netto *et al* (2016), no Brasil, pesquisas de percepção pública sobre CCS ainda são incipientes e precisam ser incentivadas, visto que várias regiões apresentam um grande potencial para a implantação de projetos deste tipo, a exemplo da Bacia do Recôncavo e um caminho para a pesquisa na região seria a consulta da própria população possivelmente afetada pelo projeto.

Caracterização Bacia do Recôncavo

Para se fazer uma caracterização de sites da bacia do recôncavo, a fim de se selecionar campos para utilizar o método de injeção de CO₂, foram selecionadas áreas que irão ser analisadas.

Como foi dito anteriormente, é necessário um estudo multidisciplinar, analisando as interações entre as áreas de interesse e o comportamento de cada uma em relação ao método de recuperação avançada escolhido.

Foram escolhidas áreas que seriam de melhor interesse de análise no que se refere a caracterização para injeção de CO₂: Análise Regulatória; Screening; Estudo dos reservatórios (critérios que serão necessários para se selecionar os campos); Análise das características dos fluídos (óleo e CO₂); Análise geológica dos reservatórios (critérios geológicos necessários para selecionar os campos); Análise de risco; Estudo da viabilidade técnica e econômica; e, Percepção pública. A Figura 1 apresenta a sequência proposta para essas ações para a Caracterização de Sites na Bacia do Recôncavo.

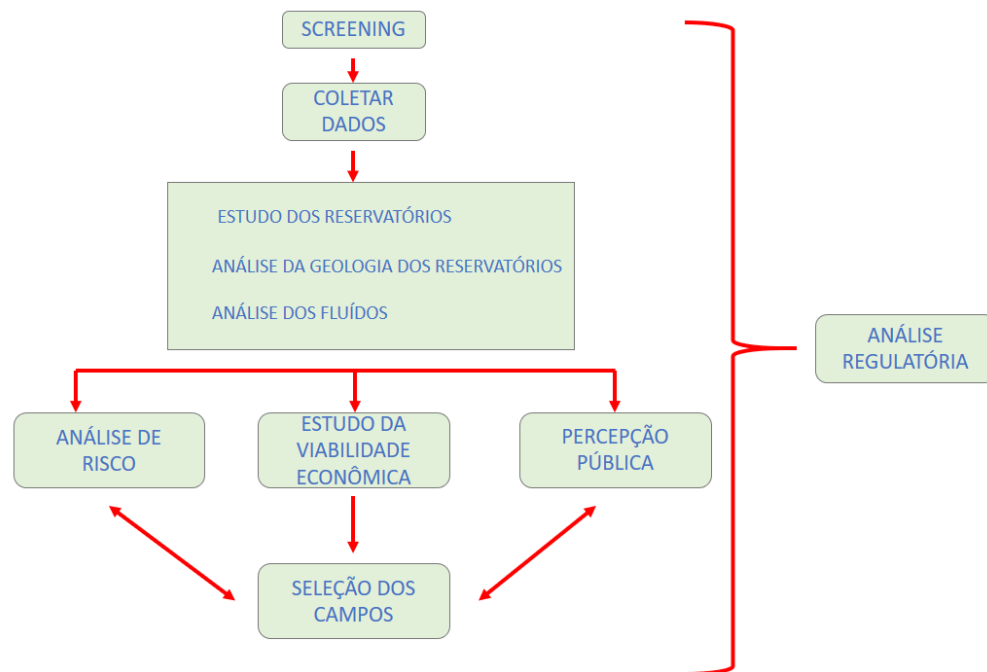


Figura 1: Fluxograma do Processo de Caracterização
Fonte: Autoria própria

Pelo fato do Brasil não ter uma regulação específica para projetos de injeção de CO₂ faz-se necessária a realização de uma análise regulatória no sentido de identificar possíveis barreiras regulatórias que impeçam a realização de projetos de injeção no território brasileiro.

A segunda parte a ser levada em consideração é o screening, ou seja, a seleção de campos que poderão ser possíveis candidatos para utilizar o EOR-CO₂. Após escolher os campos que serão analisados, é necessária a coleta de dados deste campo (reservatório).

Com a coleta de dados realizada, estes irão passar por um processo de inspeção dos diversos critérios que foram escolhidos como classificatórios/eliminatórios para se saber se os campos são bons candidatos ao uso do método de recuperação escolhido. Além do processo de inspeção tem-se a utilização de softwares que irão simular o comportamento dos reservatórios sob diversas perspectivas, podendo assim ter-se um estudo mais aprofundado. As análises laboratoriais também fazem parte do processo, sendo necessárias para análise do comportamento dos fluídos em questão (óleo e CO₂).

Com os campos já pré-selecionados, a próxima etapa será fazer uma análise de risco, análise de viabilidade econômica de projeto e um estudo no âmbito social que seria a parte de análise de percepção pública.

Lacunas

A proposição da metodologia para a caracterização de sites da Bacia do Recôncavo apresentada teve como base as propostas internacionais propostas para outros projetos como a do NETL (2011) e Global CCS Institute (2016). Com a experiência de projetos e modelos propostos ao redor do mundo pode-se chegar a um modelo específico para a Bacia do Recôncavo, contudo devido à ausência de algumas ações este modelo precisa ser validado após a realização destas ações.

Ações críticas como a análise contínua da regulação vigente é um fato crítico e as propostas internacionais não consideram esse item em virtude da existência de marcos regulatórios específicos para projetos de injeção, o que não acontece no Brasil. Outra ação importante é a realização de pesquisas de percepção pública já que a experiência internacional aponta como um item que pode cancelar um projeto de injeção de CO₂ e pelo fato de ainda da população afetada não ter sido consultada pode ser um fator importante.

A realização de atividades de pesquisas de campo como o realizado pela Petrobras é importantíssima como parte das ações a serem realizadas e que dão robustez a sequência das ações a serem cumpridas na metodologia proposta. Entretanto, os estudos feitos levaram em consideração dados públicos, o que é importante para os estudos iniciais mas para a caracterização e seleção final dos campos faz-se necessário a realização desses teste e ensaios.

Conclusões

Propor uma metodologia de caracterização se torna essencial quando se tem em mente utilizar grandes tecnologias que possam vir a ser de utilidade no quesito ambiental, como é o CCS/CCUS. Como foi proposto nesse trabalho, o segundo passo para se pensar em aplicar o CCUS na Bacia do Recôncavo, seria selecionar campos que possam utilizar o método de recuperação avançada de injeção de CO₂.

Para isto, seria necessário se ter uma metodologia para análise desses campos, além do quesito EOR-CO₂ é necessário analisar o fator armazenamento geológico, que é de extrema relevância quando se trata do assunto CCUS e suas tecnologias. Porém das grandes lacunas da proposição de metodologia de caracterização de sites, consiste na falta de dados referentes aos campos a serem analisados, que iriam permitir um estudo mais aprofundados e uma observação mais firme sobre os critérios que devem ser analisados. A aquisição destes dados tornaria a proposição de uma metodologia mais correta que poderá vir a ser utilizada futuramente por empresas que venham a pensar em utilizar o EOR-CO₂ na bacia e/ou pensar em armazenamento geológico.

Além da obtenção dos dados outro ponto crítico é a realização das ações como as análises regulatórias, as análises de risco e as questões relacionadas com a percepção pública das comunidades onde esses potenciais projetos de injeção de CO₂ poderão ser implantados. A realização deles é uma condição básica para a realização de projetos de injeção de CO₂ na Bacia do Recôncavo.

Agradecimentos

Agradeço à UFBa, CAPES e FAPESB pela oportunidade concedida de estudar em programa de pós-graduação conceituado. Agradeço aos meus orientadores Professor Dr. George Câmara e José Célio pela ajuda.

Referências Bibliográficas

- BACHU, S. (2016). Identification of oil reservoirs suitable for CO₂-EOR and CO₂ storage (CCUS) using reserves databases, with application to Alberta, Canada. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 44, 152-165.
- BALCH, R., & MCPHERSON, B. (2016, May). Integrating enhanced oil recovery and carbon capture and storage projects: a case study at farnsworth field, Texas. In SPE Western Regional Meeting. Society of Petroleum Engineers.
- CÂMARA, G. A. B., ANDRADE, J. C. S., FERREIRA, L. E. A., & ROCHA, P. S. (2011). Regulatory framework for geological storage of CO₂ in Brazil—analyses and proposal. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 5(4), 966-974.
- DELPRAT-JANNAUD, F., KORRE, A., SHI, J. Q., MCCONNELL, B., ARVANITIS, A., BOAVIDA, D., ... & POULSEN, N. (2013). State of the Art Review of CO₂ Storage Site Selection and Characterization Methods. CGS Europe Report.
- FEIJO, F. Juarez Geologia, Geofísica E Geopolítica De Petróleo. Rio de Janeiro, Universidade Corporativa Petrobras, 2005. 220f. Notas de aula.
- GLOBAL, C. C. S. (2016). Institute. The global status of CCS: summary report. Global CCS Institute.4
- LACY, R., SERRALDE, C., CLIMENT, M., & VACA, M. (2013). Initial assessment of the potential for future CCUS with EOR projects in Mexico using CO₂ captured from fossil fuel industrial plants. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 19, 212-219.
- MAC DOWELL, N., FENNELL, P. S., SHAH, N., & MAITLAND, G. C. (2017). The role of CO₂ capture and utilization in mitigating climate change. *Nature Climate Change*, 7(4), 243-249.
- METZ, B., DAVIDSON, O., DE CONINCK, H., LOOS, M., & MEYER, L. (2005). IPCC special report on carbon dioxide capture and storage. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva (Switzerland). Working Group III.
- NEELE, F., DELPRAT-JANNAUD, F., VINCKÉ, O., VOLPI, V., NEPVEU, M., HOFSTEE, C., ... & BATTANI, A. (2013). The SiteChar Approach to Efficient and Focused CO₂ Storage Site Characterisation. *Energy Procedia*, 37, 4997-5005.
- NETTO, A.L., CÂMARA, G. (2016). Projetos de Captura e Armazenamento de CO₂ uma Visão Sobre a Percepção Pública .
- PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. – PETROBRAS. Avaliação do Potencial de Utilização de CO₂ para Exploração de Jazidas de Óleos em Campos Maduros. Realizado pelo Centro de Estudos em Petróleo e Gás Natural – CEPGN, Universidade Salvador. Salvador, Mai, 2007.
- RAVAGNANI, A. G., LIGERO, E. L., & SUSLICK, S. B. (2009). CO₂ sequestration through enhanced oil recovery in a mature oil field. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 65(3), 129-138.
- RODOSTA, T. D., LITYNSKI, J. T., PLASYNSKI, S. I., HICKMAN, S., FRAILEY, S., & MYER, L. (2011). US Department of energy's site screening, site selection, and initial characterization for storage of CO₂ in deep geological formations. *Energy Procedia*, 4, 4664-4671.
- SANTANA, M.L.A (2017). Metodologia para avaliação técnica e econômica do uso de CO₂ oriundo de instalações industriais para rejuvenescimento de campos maduros. 2017. 171f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, UFBA, Salvador, Brasil
- SZULCZEWSKI, M. L., MACMINN, C. W., HERZOG, H. J., & JUANES, R. (2012). Lifetime of carbon capture and storage as a climate-change mitigation technology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(14), 5185-5189.
- TABER, J.J., MARTIN, F.D. e SERIGHT, R.S. EOR Screening Criteria Revisited – Part 1: Introduction to Screening Criteria and Enhanced Recovery Field Projects. SPE Reservoir Engineering, Agosto, 1997.
- TABER, J.J., MARTIN, F.D. e SERIGHT, R.S. EOR Screening Criteria Revisited – Part 2: Applications and Impact of Oil Prices. SPE Reservoir Engineering, Agosto, 1997.
- ZAMITH, M.R.M.A. Anova Economia Institucional E As Atividades De Exploração E Produção Onshore De Petróleo E Gás Natural Em Campos Maduros No Brasil. 2005. 298f. Tese (Doutorado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo.