

10º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

QUICK SCREENING PARA CO₂-EOR COMO TECNOLOGIA DE CCUS: UM ESTUDO DE CASO NA BACIA DO RECÔNCAVO

AUTORES:

Sacha da Silva Gramacho Coelho¹, Alana Almeida¹ Rui Lima¹ George Câmara², Paulo Rocha³, José Célio de Andrade⁴

INSTITUIÇÃO:

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, ¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia ²; Queiroz Galvão ³; Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia⁴

QUICK SCREENING PARA CO₂-EOR COMO TECNOLOGIA DE CCUS: UM ESTUDO DE CASO NA BACIA DO RECÔNCAVO

Abstract

Carbon Capture, Use and Storage (CCUS) is a technology that has as objective reduce the CO₂ emissions to the atmosphere. The CO₂, that is captured, can be used as an asset for oil and gas industry as Enhanced Oil Recovery by CO₂ injection (CO₂-EOR). Mature and depleted fields can be targeted for implementing a carbon storage project shortly after CO₂ injection for production enhancement purposes. Not every field is suitable to use the CO₂-EOR as a method to recover the oil and for this reason, is necessary to perform the site characterization, that is a required process to select and characterize suitable fields. The site characterization has many steps and processes and exists several characterization methods proposed in the world. The site characterization method proposed for Brazilian onshore fields has some steps and processes in common with the existing ones, but due to the regionality and local peculiarity has some differences as well, as the Quick Screening (QS) step. This paper aims to present the QS methodological processes as a way to verify the suitability of the potential sites that were chosen to implement CO₂-EOR projects as CCUS technology, aiming a carbon storage. It was collected a sample from a reservoir in the Recôncavo Basin and it experienced some process present in the QS step to demonstrate its applicability. As a first step the collected fluid was characterized and the minimum miscibility pressure (MMP) was found through three ways: laboratory analysis, software simulation and calculation by correlations that were developed especially for the Recôncavo Basin. Once the MMP was found, the type of CO₂ injection, miscible or immiscible, was defined and this criterium is significant for the continuing of the project viability evaluation. This process is appropriate to show the potential of the basin chosen basin to use CO₂-EOR and to propose this method were used studies and analyses already done in the Recôncavo as guides. Small and medium oil companies can use this method to conduct a preliminary basin assessment to study their potential for implementing a CO₂ injection project for increased production and future geological storage. Petroleum regulatory agencies and energy technology departments may also use this process to promote energy public policies and to conduct basin studies to prove their potential for applying CCUS technologies.

Keys word: CO₂-EOR; Quick Screening; Site Characterization; Recôncavo Basin; MMP

Introdução

Captura e armazenamento de carbono (CCS) e Captura, uso e armazenamento de carbono (CCUS), são tecnologias de baixo carbono, sendo adotadas pelo Departamento de Energia dos EUA (DOE) como tática para reduzir essas emissões de gases de efeito estufa (GEE), sendo CO_2 o principal (Azzolina et al., 2015).

Devido às características, reservatórios de óleo e gás são considerados bons sites para armazenamento. Reservatórios de óleo e gás que passaram por sua fase de exploração e produção são bons alvos pelo fato de já possuírem dados confiáveis que foram coletados e podem ser usados em estudos para armazenamento de carbono (IPCC, 2005). Reservatórios petrolíferos depletados são de grande interesse pois as tecnologias de armazenamento através de injeção de CO_2 pode ser utilizada a partir do momento que o óleo remanescente no reservatório pode ser produzido e o gás injetado pode permanecer armazenado (Netl, 2012; IPCC, 2005).

Antes de se implementar projeto de CCUS e suas tecnologias, como armazenamento através de CO_2 -EOR, é necessário se selecionar locais que possam atender a pré-requisitos definidos. O local potencial deverá passar por um processo de triagem a qual é constituída de critérios que deverão ser analisados, esse processo é chamado de caracterização de sites. Foi proposta para bacias terrestres brasileiras uma metodologia de caracterização de sites baseada em metodologias já existentes, que são: *Special Report on CO_2 Capture and Storage* (IPCC, 2005); o manual de boas práticas (MBP) “*Site Screening, Site Selection, and Initial Characterization for Storage of CO_2 in Deep Geological Formations*” desenvolvido pelo *National Energy Research Laboratory* (NETL) suportado e publicado pelo *U.S. Department Of Energy* (DOE) pela primeira vez em 2010, sendo revisado em 2013 e 2017; e a ISO, “*International Standard*” 27914, publicada em 2017, cujo tema é Captura, transporte e armazenamento de geológico de CO_2 ; e o relatório “*Storage Capacity, estimation, site selection and characterization for CO_2 Storage Projects*” publicado pelo *Cooperative Research Centre For Greenhouse gas Technologies*, na Austrália (CO_2 CRC).

A caracterização de sites é composta por etapas e processos, os quais, em sua maioria, são semelhantes independente da região em que a metodologia de caracterização foi proposta. Todas metodologias de caracterização já existentes possuem como finalidade, selecionar e caracterizar sites que possam armazenar o carbono, algumas incluem o uso para o CO_2 capturado. Algumas diferenças entre estas consiste na regionalização do local onde aplicada, legislação, as etapas existentes e se englobam o CO_2 -EOR como parte do processo.

As etapas da caracterização de sites proposta são: Quick Screening; Pré-Seleção; Screening; Seleção e Caracterização. Cada etapa possui processos e nível de detalhamento condizente com a quantidade de dados necessários a serem coletados e analisados.

A metodologia de caracterização de sites possui como diferencial a etapa de Quick Screening, que consiste em uma pré-seleção rápida de campos que possam ser adequados a utilização de injeção de

CO₂ como método de recuperação, visando um futuro armazenamento geológico. Este artigo tem como objetivo apresentar o processo metodológico de QS que foi definido como primeira etapa do processo de caracterização de sites para bacias *onshore*, e por meio de um estudo de caso, a partir da análise de uma amostra coletada da Bacia do Recôncavo, alguns processos existentes nessa etapa serão testados a finalidade de demonstrar a aplicabilidade desta.

O objeto de estudo deste trabalho é a Bacia do Recôncavo, localizada no Nordeste do Brasil. Foi escolhida por exibir campos depletados e maduros em quase toda sua totalidade, que podem ser usados como potenciais locais para projetos de CO₂-EOR e armazenamento geológico de carbono, além de possuir projetos e estudos anteriores já realizados que podem servir como guias e parâmetros para as análises atuais que estão sendo realizadas.

Metodologia

Este trabalho apresenta um estudo de caso que consiste em se realizar os primeiros processos do Quick Screening, que é a primeira etapa do processo de caracterização de sites para bacias *onshore* brasileiras. Uma amostra foi coletada de um reservatório da Bacia do recôncavo, analisada e caracterizada com intuito de determinar o tipo de injeção de CO₂, se miscível ou imiscível, além da análise do reservatório através de um processo de triagem o qual identificou sua potencialidade para implementar projetos de injeção de CO₂.

A primeira parte consistiu em se obter o valor da PMM através de três métodos:

1. Cálculo através da correlação própria para Bacia do Recôncavo que foi desenvolvida pela Petrobras e CEPGN, por meio de um estudo realizado na bacia em questão.
2. Utilização do Rising Bubble Apparatus (RBA), que determina a PMM adotando-se como abordagem a miscibilidade através de múltiplos-contatos.
3. Simulação através do Winprop, que é um pacote do CMG (Computer Modeling Group). A determinação da PMM por meio do Winprop ocorre ao se testar uma gama de pressões, que são inseridas no modelo. Além da PMM pode se determinar o nível mínimo de enriquecimento do gás que é necessário para que se atinja a miscibilidade desejada a uma pressão específica, ao se inserir uma gama de frações molares do gás que são testadas.

Após achado os valores da PMM, estes foram comparados entre si e com a pressão original do reservatório, com a finalidade de definir o tipo de injeção. Após esta etapa, o reservatório foi analisado por meio de critérios de seleção que vão definir se o mesmo está apto para aplicar o método de CO₂-EOR.

O cálculo da PMM é de extrema significância pois se trata da pressão na qual ocorre a múltipla miscibilidade de contato do fluido injetor e do fluido do reservatório, e a comparação desta com a pressão de bolha vai indicar se o óleo poderá ser produzido quando se injetar o CO₂.

Os Critérios de seleção de sites foram propostos em vários locais que tinham como finalidade tornar real um projeto de CO₂-EOR para se aumentar a produção de petróleo do local (Taber et al.,

1997A e B). Critérios para analisar e selecionar reservatórios que podem ser potenciais para CO₂-EOR foram coletados da literatura e os mais adequados para se aplicar na Bacia do Recôncavo foram selecionados, com a finalidade de se realizar parte da triagem.

Resultados e Discussão

O Quick Screening é a primeira etapa do processo de caracterização de sites proposto para bacias *onshore* e a Figura 01 abaixo mostra todas as etapas do Quick Screening, sendo que as que foram realizadas no estudo de caso são apenas análise da PMM, classificação de miscibilidade e análise dos critérios de reservatório.

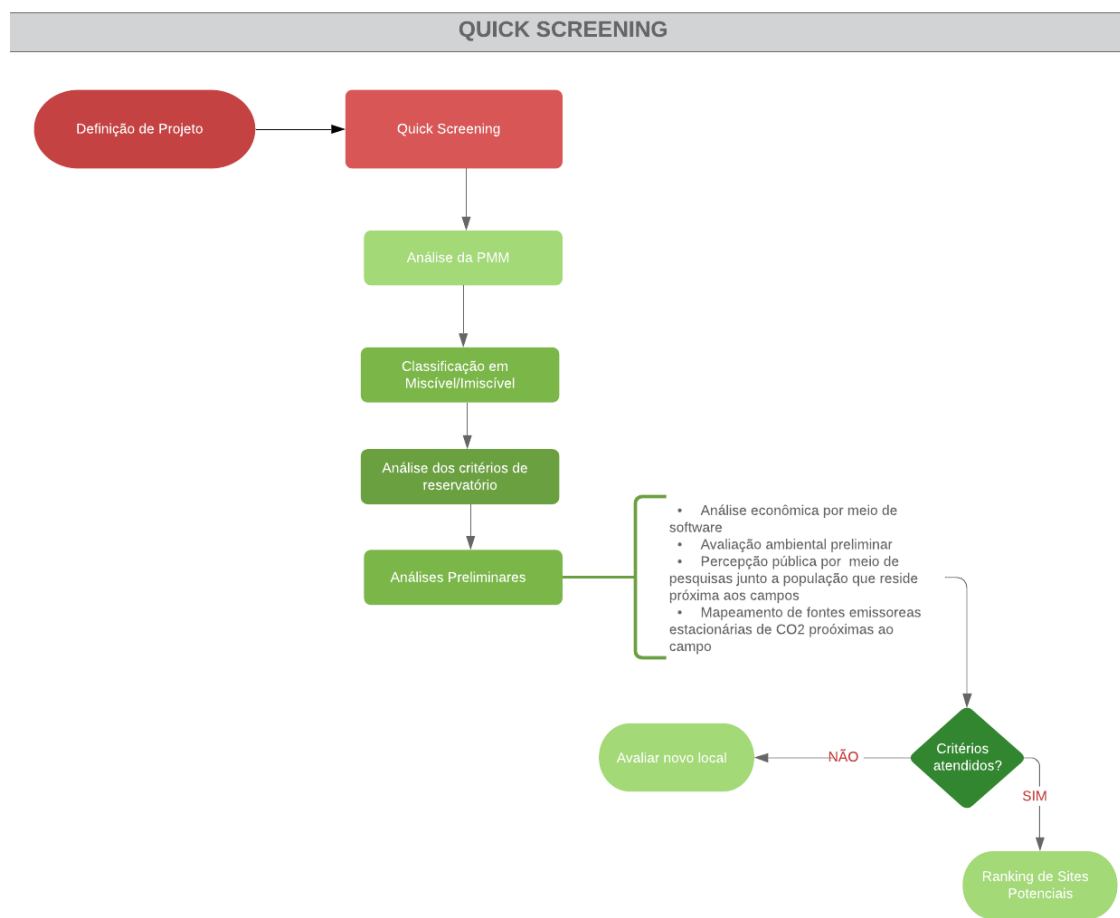


Figura 1. Etapa de Quick Screening

Fonte: Autor

O cálculo de PMM através do Rising Bubble Apparatus (RBA) ocorre através da adoção de uma abordagem de miscibilidade através de múltiplos-contatos. O fluído é injetado a uma pressão e temperatura inicialmente definidas, e sua movimentação através da coluna de óleo é observada, por meio de uma câmera. Ao se injetar a bolha de gás pode-se observar três comportamentos que estão ligados as condições de PMM.

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS

Os métodos de cálculo de PMM pelo Winprop foram importantes para a triagem de gases de injeção e ajuste de equação de estado (EOS) para dados experimentais de RBA. A composição do óleo e do gás foi inserida em Winprop e o envelope de fases foi construído e combinado com os experimentos de PVT. Em seguida, os dados experimentais foram incluídos para ajustar a EOS e avaliar os métodos de PMM que melhor correspondiam com os estudos de laboratório.

A correlação para cálculo da PMM para a Bacia do Recôncavo é dada por:

$$PMM = A_0 + A_1 \cdot T^{(E_0)} + A_2 \cdot T^{(E_1)} + A_3 \cdot P_b^{(E_2)}$$

Onde:

T- Temperatura, °C

$$A_0 = 1420,361586$$

$$A_1 = 1,241148624$$

$$A_2 = 0,601327567$$

$$A_3 = 2,232308468$$

$$E_0 = -3,529$$

$$E_1 = 1,509$$

$$E_2 = 0,839$$

Pb- Ponto de Bolha, psia

PMM- Pressão Mínima de Miscibilidade, psia

Fonte: Fróes, 2015

Já os critérios para análise de reservatório a fim de seleção de campos que possam utilizar CO₂-EOR, estão mostrados na tabela abaixo.

Tabela 1. Parâmetros escolhidos através da Bibliografia

Parâmetros de Reservatório	Parâmetros da Bibliografia							
	Geffen (1973)	Lewin (1976)	NPC (1976)	McRee (1977)	Iyoho (1978)	Carcoana (1982)	Taber (1983)	Taber (1997)
Viscosidade (cP)	<3	<12	≤10	<5	<10	<2	<15	<10
Densidade (°API)	>30	>30	≥27	>35	30 to 45	>40	>26	>22
Saturação de óleo (%)	>25	>25	*	>25	>25	>30	>30	>20
Profundidade (m)	*	>914.4	>701.1	>609.6	>762	*	>609.6	>762
Temperatura (°F)	*	NC	<250	*	*	<195	NC	NC
Permeabilidade(md)	*	NC	*	>5	>10	>1	NC	NC

NC-Não crítico / * Depende da temperatura

Fonte: Adaptada de Klins, 1983

A tabela abaixo mostra os resultados obtidos pelos três métodos.

Tabela 2. Valores de PMM e Pressão original do reservatório

PMM Experimental (psi)	4000
PMM Software (psi)	3923,8
PMM Calculada (psi)	5000
Pressão Original (psi)	3000

Fonte: Autor

A condição de miscibilidade se dá ao analisar a PMM com a pressão original do reservatório. Se $PMM > \text{Pressão Original}$, o tipo de injeção vai ser imiscível, se $PMM < \text{Pressão Original}$, a injeção é tida como miscível.

Analisando os valores da Tabela 2, tem-se que $PMM > \text{Pressão Original}$. Original, significando que este reservatório não está apto para CO_2 -EOR, apenas para injeção imiscível de CO_2 . Após esta constatação, cabe ao operador estudar a viabilidade do reservatório estudado para utilização deste método.

Caso o operador/a empresa, decida utilizar o método imiscível para produção e armazenamento, ou apenas armazenamento geológico de CO_2 , o campo passará por todo processo de metodologia de caracterização, com intuito de avaliar a adequação do local escolhido para se armazenar o carbono com objetivo de reduzir as emissões de CO_2 para atmosfera.

Após a definição da condição de miscibilidade, o reservatório do qual a amostra foi coletada vai passar pela triagem através dos parâmetros definidos. A Tabela 3 abaixo mostra essa análise e o resultado.

Tabela 3. Análise do reservatório através dos critérios determinados

CRITÉRIOS	VALORES PARA ANÁLISE	DADOS DO RESERVATÓRIO	CANDIDATO
Viscosidade (cP)	<15	0,99	SIM
Temperatura (°C)	NC	95,5%	SIM
APIº	>35	37,96	SIM
Permeabilidade (mD)	NC	(Não consta)	SIM

*Não consta: Dados não foram coletados

Fonte: Autor

Ao analisar os parâmetros de reservatório, percebe-se que este campo estaria apto para CO_2 -EOR se só estes critérios tivessem sido analisados. Por este motivo é necessário que se faça a análise do fluído como primeira parte do processo, pois a condição de miscibilidade pode se tornar um fator significativo no quesito viabilidade econômica do projeto. Dados como profundidade e de saturação do óleo não foram disponibilizados para análise, porém são parâmetros necessários de avaliação quando o tipo de injeção aplicável é a miscível e devem constar nos dados coletados.

Ao se comparar os valores de PMM, calculada e medidos, existe uma discrepância de valores, porém no trabalho da CEPGN, 2006, é demonstrado valores divergentes entre PMM calculada e medida experimentalmente com margens de Erro (%) que variavam de 0.2 a -12.4 (%).

Conclusões

O Quick Screening é a primeira etapa da metodologia de caracterização de sites proposta para bacias *onshore* brasileiras, e sendo o ponto crucial que diferencia esta metodologia das metodologias já existentes no mundo. O Quick Screening tem a função de analisar de forma generalizada e rápida locais

que são tidos como potenciais para aplicar o método de injeção de CO₂ e qual tipo de injeção, se miscível ou imiscível. Além desta classificação, o QS traz outras análises preliminares, citadas na Figura 01, que vão pré-selecionar campos para que estes possam passar para as seguintes fases da caracterização propriamente dita. Esta etapa se torna significativa pois não dispense de grande investimento e pode ser utilizada por médias e pequenas empresas/operadores atuantes na indústria P&G nas bacias terrestres brasileiras.

Reduzir custos em operações e estudos faz com que investimentos nas áreas *onshore* do Brasil seja atrativo, e conseqüentemente, acabe incentivando a revitalização destas áreas trazendo melhorias sócio-econômicas além de transformar estes locais em potenciais contribuintes na redução de emissões de CO₂ a partir do momento que se pensa em implementar projetos de armazenamento de carbono através de CO₂-EOR.

Agradecimentos

Agradeço Fapesb, que me concedeu a bolsa, a CAPES e Cnpq. Agradeço também ao LAPEG, pelo aparato necessário para realizar os experimentos e à Universidade Federal da Bahia.

Referências Bibliográficas

AZZOLINA, N. A., NAKLES, D. V., GORECKI, C. D., PECK, W. D., AYASH, S. C., MELZER, L. S., & CHATTERJEE, S. (2015). **CO₂ storage associated with CO₂ enhanced oil recovery: A statistical analysis of historical operations.** *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 37, 384-397

CEPGN. **Avaliação do potencial de utilização de co₂ para a exploração de jazidas de óleos em campos maduros** (2007). – **Relatório Final Convênio Petrobras: N° 0050.0007783.04.2 -Petróleo Brasileiro S/A – PETROBRAS**

FRÓES, H.M.; GRAMACHO, S., CÂMARA, G.; ROCHA, P., 2015. **Seleção de campos candidatos à aplicação de método de recuperação de petróleo por injeção miscível de CO₂ na bacia do recôncavo.** 3rd Brazilian Congress on CO₂. Instituto Brasileiro de Gás e Biocombustíveis-IBP.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2005. **Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage.** Cambridge: Cambridge

KLINS, M.A. **Carbon Dioxide Flooding: Basic Mechanisms and Project Design.** Boston, M.A. – USA, International Human Resources Development Corporation, 1984.

NETL-National Energy Technology Laboratory., 2012. **Carbon Capture and Storage Database.** Disponível em: <https://www.netl.doe.gov/coal/carbon-storage/worldwide-ccs-database>

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.