

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



MODELAGEM AMBIENTAL DO CICLO DE VIDA DE PROCESSOS DE RECUPERAÇÃO AVANÇADA DE PETRÓLEO

Alexandre Magno de Paula Dias¹, Livia de Abreu¹, Raissa Abate¹

¹ Departamento de Engenharia de Petróleo, CESFI, Universidade do Estado de Santa Catarina

MODELAGEM AMBIENTAL DO CICLO DE VIDA DE PROCESSOS DE RECUPERAÇÃO AVANÇADA DE PETRÓLEO

Abstract

The growing demand of energy associated with the depletion of natural resources causes an increasing pressure to optimize and develop new production technologies in the energy sector. In this context, processes that increase oil extraction efficiency play an important role in meeting global energy demand. Enhanced oil recovery (EOR) techniques can increase the production of hydrocarbons, extending the service life of the reservoir and increasing the technological and economic efficiency of the extraction process. Among the different enhanced oil recovery processes the most important are thermal methods, miscible methods or gas injection (hydrocarbon gas, carbon dioxide or nitrogen gas) and chemical methods (injection of polymers in the form of emulsions, surfactants and Alkali in water). Despite meeting the technological needs of the extraction, enhanced oil recovery techniques cause different types of environmental impact. This situation is particularly serious in certain offshore exploration conditions such as in the oil exploration basins in the North Sea (United Kingdom), on the Norwegian coast and on the Brazilian coast. This work aims to model, through the Life Cycle Assessment (LCA) methodology, the main environmental aspects of enhanced oil recovery methods, specifically the methods with CO₂ injection and polymer injection. Advanced oil recovery process models were developed with the help of LCA software GaBi4®.

Introdução

A demanda crescente de energia associada ao esgotamento dos recursos naturais, torna necessária a otimização e aprimoramento de novas tecnologias de produção nas indústrias da área energética. Assim, os processos que aumentam a eficiência de extração de petróleo, desempenham um papel importante no atendimento à crescente demanda de energia global. A recuperação avançada de petróleo (do inglês Enhanced Oil Recovery – EOR) potencializa a produção de hidrocarbonetos, prolonga a vida útil do reservatório e aumenta a eficiência do processo de extração.

Dentre os processos de EOR, destacam-se os métodos térmicos, miscíveis e químicos. Nos métodos térmicos, além da combustão *in situ*, temos a injeção de fluido (normalmente água ou gás) com elevada temperatura, com o propósito de diminuir a viscosidade do óleo e com isso aumentar sua mobilidade. Nos métodos miscíveis, é injetado normalmente gás CO₂, gás natural ou gás nitrogênio, com o objetivo de diminuir substancialmente as tensões interfaciais entre estes fluidos e o óleo, aumentando a eficiência de deslocamento e varrido do óleo. Já nos métodos químicos, ocorre certa interação química entre o fluido injetado e os fluidos do reservatório. Entre os tipos mais comuns estão a injeção de água aditivada de polímeros e a injeção de solução ASP (alkali-surfactante-polímero). Entre os principais objetivos destes métodos estão a redução da tensão interfacial entre óleo e água, o aumento da viscosidade da solução aquosa para controlar a razão de mobilidade entre óleo e fluido injetado no reservatório e a diminuição da tensão interfacial entre óleo e rocha no reservatório para favorecer o deslocamento do óleo em contato com a rocha. A escolha do método EOR mais adequado segue critérios como a característica geológica da formação, características do fluido no reservatório e mecanismos de produção, entre outros (Alvarado, 2010 e Lake, 1990)

Embora tais técnicas de EOR sejam fundamentais para aumentar a produção, elas provocam diferentes tipos de impactos ambientais. Esta situação é especialmente grave em determinadas condições de exploração *offshore* como nas bacias de exploração petrolífera no mar do norte (Reino Unido), no litoral da Noruega e na costa brasileira. Este trabalho pretende modelar e avaliar, através da metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), os principais aspectos ambientais dos métodos de injeção de CO₂ e de injeção de polímeros. Para isto, será elaborado o fluxograma produtivo dos métodos de EOR selecionados e também será executada uma comparação dos potenciais impactos ambientais destes métodos. Com os resultados obtidos, pretende-se apoiar as empresas atuantes no setor de óleo e gás, no

desenvolvimento de estratégias de planejamento e gestão de reservatório que considerem a variável ambiental nas suas decisões.

1.1 Injeção de CO₂

O uso da injeção de CO₂ como método de recuperação avançada de petróleo apareceu pela primeira vez na literatura no ano de 1916, porém, apenas como uma curiosidade de laboratório. Na década de 50, a indústria começou a olhar mais seriamente a injeção de gases miscíveis, e inicialmente foram utilizados o propano, o gás liquefeito de petróleo e o gás natural. Recentemente o uso de injeção de CO₂ como gás miscível tem ganhado destaque mundial.

Segundo Rosa et al (2006), a injeção de CO₂ tem como finalidades a manutenção da pressão do reservatório ou alterar as interações rocha-óleo ao se misturar com o óleo aumentando a eficiência de deslocamento.

Diversos tipos de injeção e de utilização de CO₂ para recuperação de óleo já estudados ou aplicados no campo foram apresentados por Mungan (1991):

- Estimulação com CO₂ – Método consiste em injetar, primeiramente, no reservatório um volume de CO₂ e fechar os poços injetores e produtores por alguns dias, como não há produção, a injeção causa um aumento de pressão do reservatório e, posteriormente, uma miscibilidade do CO₂ no óleo. Alterando as propriedades do mesmo, após um intervalo de tempo, o poço produtor é reaberto com a ajuda de um cavalo-de-pau, facilitando a produção.
- Injeção contínua de CO₂ – Método consiste na injeção ininterrupta de gás carbônico no reservatório, através de um poço injetor e produzido concomitantemente no poço produtor.
- SWAG – Injeção simultânea de CO₂ e água – Método consiste na injeção de água e gás, numa pressão tal que o fluxo seja de gás dispersas na água, simultaneamente;
- WAG – Injeção alternada de água e CO₂ – Método consiste na injeção alternada de pequenos slugs de água e CO₂.
- Injeção de CO₂ junto com H₂S ou SO₂ – Método que consiste na injeção de CO₂ combinado com H₂S para reduzir a MMP (*Minimum miscibility pressure*);
- Injeção de CH₄ junto com CO₂ – Método que consiste na injeção de CO₂ junto com metano para aproveitar a estabilidade gravitacional;
- Injeção de gases de combustão – Método consiste na produção *in situ* do CO₂;
- Injeção de GLP e outras misturas com CO₂ – Método consiste na injeção simultânea de GLP e CO₂ para facilitar a miscibilidade entre o CO₂ e o óleo;
- Injeção de GLP seguido de CO₂ - Método consiste na injeção de um *slug* de GLP e depois um *slug* de CO₂ para facilitar a miscibilidade entre o CO₂ e o óleo.

O CO₂ apresenta uma vantagem muito importante quando comparado à outros gases miscíveis utilizados em EOR e esta é a sua capacidade de extrair componentes mais pesado do óleo que os demais gases miscíveis. Outra importante vantagem é que o inchamento do óleo causado pelo dióxido de carbono é muito maior que o proveniente do uso do metano (Nilsson, 2013).

Assim como os outros gases, o uso de dióxido de carbono promove as seguintes alterações no sistema: o inchamento do óleo, redução da viscosidade do óleo, aumenta a densidade do óleo. Como características desejáveis podemos citar: solubilidade em água, capacidade de vaporização e de extração de porções do óleo, apresenta boa miscibilidade com o óleo em faixa de pressão de 100 e 300 bar, reduz a densidade da água, reduz a segregação gravitacional aumentando a densidade do óleo e reduz a tensão interfacial entre as fases da água e do óleo.

Outro ponto bastante importante para o uso de CO₂, é a redução de sua participação no efeito estufa, e consequentemente a mitigação dos efeitos causado pela mudança climática e, também, com a possibilidade de comércio de crédito de carbono.

No entanto, o uso de CO₂ como gás miscível também apresentam desvantagens tais como: o alto preço e o grande volume de gás para funcionamento do método. Outra grande desvantagem é a formação prematura dos *fingering* devido sua grande mobilidade, por apresentar menor densidade e viscosidade que o óleo.

Vale ressaltar que, embora o uso de CO₂ apresente muitas vantagens, existem algumas características necessárias que o reservatório deve atender para que seja viável o uso do método tais como: o óleo presente no reservatório deverá ter grau API superior a 25, intervalos de pressão entre 1500 a 6000 psi, e possuir profundidade o suficiente para que possa promover uma pressão acima da pressão mínima de miscibilidade, sem que haja fraturamento da formação.

1.2 Injeção de polímeros

A injeção de soluções diluídas de polímeros nos reservatórios tem por finalidade ajudar o deslocamento do óleo nos poros, atuando na viscosidade do fluido injetado e na molhabilidade. Os polímeros tem por função controlar essencialmente a viscosidade da água que esta sendo injetada geralmente para a recuperação de óleo pesado e viscoso, fazendo com que esse fluido resultante tenha mobilidade semelhante à do óleo (QUINTELLA et al., 2006). Graças a essa semelhança maior da mobilidade entre os fluidos no reservatório, tem-se a diminuição da formação de caminhos preferenciais de deslocamento do conjunto fluido injetado/óleo em direção aos poços produtores, aumentando com isso, a eficiência do varrido (SANTOS et al., 2007).

Dos polímeros existentes, há dois tipos que comumente são utilizados para EOR: poliacrilamidas parcialmente hidrolisadas e polissacarídeos, sendo que para este último a goma xantana é a mais empregada uma vez que reduz a mobilidade das soluções pelo aumento da viscosidade e apresenta uma maior resistência aos efeitos de cisalhamento (ROSA et al., 2006).

Os campos ideais para a utilização do método com injeção de polímero são aqueles em que o grau API do óleo está entre 15 e 40, saturação de óleo acima de 70%, formação tipo Arenito, permeabilidade acima de 1000mD para óleo com viscosidade acima de 100cp, temperatura do reservatório abaixo de 95°C.

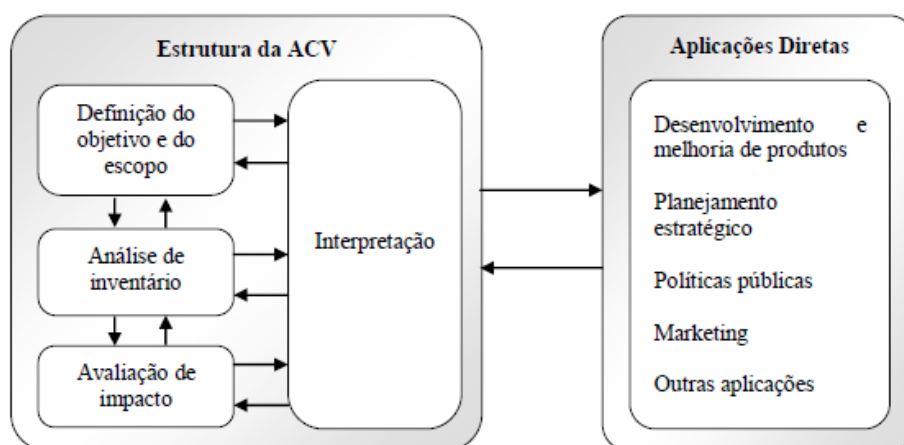
Uma vez que os métodos térmicos apresentam significativas limitações para aplicação em operações *offshore*, a injeção de polímeros e os métodos miscíveis ganham destaque como uma alternativa para a recuperação avançada de óleo pesado nestes ambientes

1.3 Avaliação de Ciclo de Vida - ACV

A ACV permite identificar e caracterizar os aspectos ambientais particulares de um produto, processo ou serviço, e portanto, permite a identificação e quantificação de impactos ambientais associados a processos dentro de uma organização. Enfoca o ciclo de vida de um produto, processo ou serviço, desde a extração de matérias primas, passando por todas as etapas até o seu destino final (HAES et al., 2002).

Segundo a norma da ABNT NBR ISO 14040:2009, a ACV é composta por quatro fases, a saber: definição do objetivo e escopo, análise do inventário, avaliação de impacto e interpretação dos resultados, conforme indicado na Figura 1 abaixo.

Figura 1 - Estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida. Fonte: adaptado de UDO DE HAES et al., 2002.



A fase de definição do objetivo e escopo do trabalho consiste na descrição do sistema de produto a ser estudado e apresenta o propósito e a extensão do estudo, por meio do estabelecimento de suas fronteiras (HAUSCHILD, 2005). A unidade funcional também é definida, de forma a permitir a quantificação do sistema e permitir a determinação de fluxos de matéria e energia de referência.

A fase de inventário constitui uma ferramenta indispensável para a avaliação quantitativa de impactos ambientais. Engloba a coleta de dados e procedimentos de cálculo utilizados na quantificação de fluxos de entrada e saída de matéria e energia para um determinado sistema de produto. Segundo Frankl e Rubik (1999), os inventários possibilitam a identificação de limitações ou a necessidade de maiores informações para a avaliação do processo e podem ocasionar mudanças nos procedimentos de coleta de dados, revisão dos objetivos ou escopo do estudo sendo realizado. A consistência dos dados viabiliza a obtenção de resultados mais precisos e confiáveis. Ressalta-se, portanto a importância na cuidadosa coleta dos dados.

A Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida, AICV, permite avaliar a significância de aspectos ambientais apresentados durante a etapa de inventário e agregar as intervenções em vários ou um único indicador. Os fluxos elementares do sistema são relacionados aos impactos gerados ao meio ambiente, nas diferentes categorias de impacto (efeito estufa, acidificação, camada de ozônio, eutrofização, consumo de recursos naturais, entre outras) em nível global, regional ou mesmo local.

A fase de interpretação dos resultados consiste na avaliação do estudo de acordo com os objetivos estabelecidos, ou seja, na análise dos resultados e na formulação de conclusões e recomendações para a minimização de impactos ambientais potencialmente gerados pelo sistema. Esta fase envolve um processo iterativo de revisão do escopo da ACV, assim como a natureza e qualidade dos dados coletados. Aspectos como sensibilidade e incertezas também são avaliados no julgamento de qualidade dos resultados obtidos (HAUSCHILD, 2005).

Metodologia

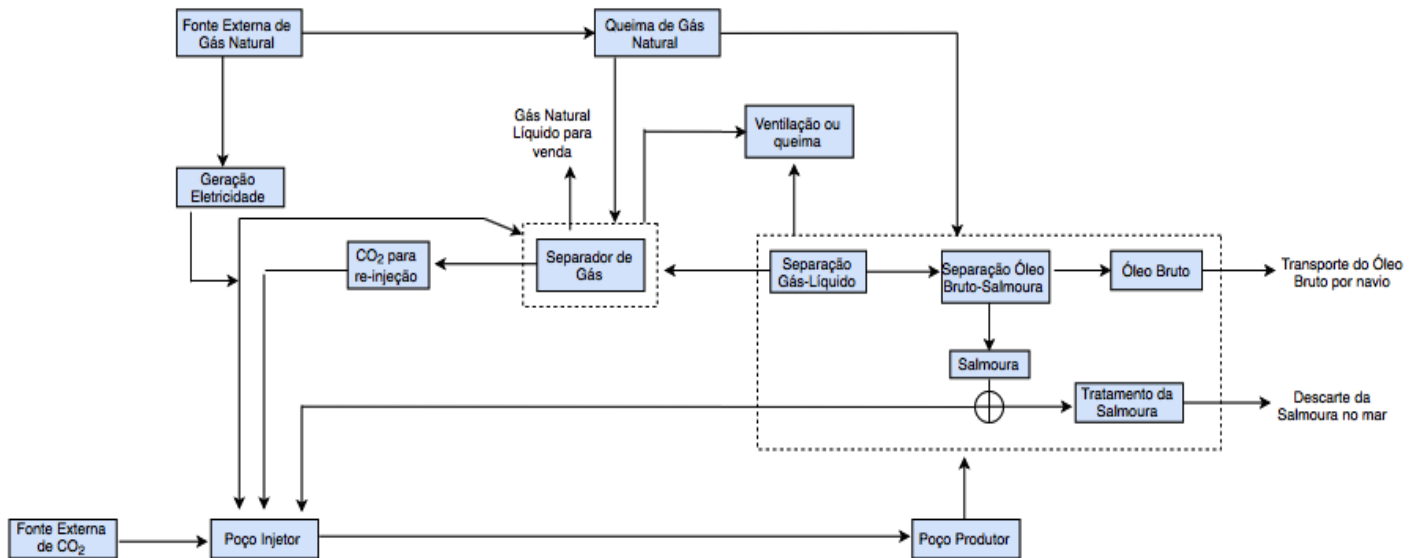
O trabalho desenvolvido utilizou a metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) prevista na Norma ISO 14040:2006, onde as principais etapas descritas no item anterior, foram particularizadas para os processos de EOR com de injeção de CO₂ e com injeção de polímeros. A unidade funcional que está sendo utilizada é a recuperação de um Barril de Petróleo. O estudo de ACV está sendo conduzido com o auxílio do *software* específico GaBi4®.

Resultados e Discussão

O fluxograma do processo de EOR com injeção de CO₂ foi detalhado conforme está indicado na Figura 2 abaixo. Este fluxograma representa o resultado parcial da segunda etapa do estudo, sua elaboração não é trivial e é sempre particularizada pelas condições de contorno estabelecidas no momento de definição dos objetivos e escopo do estudo de ACV. No estágio atual do trabalho, este fluxograma está sendo modelado com o auxílio do *software* de ACV Gabi4®.

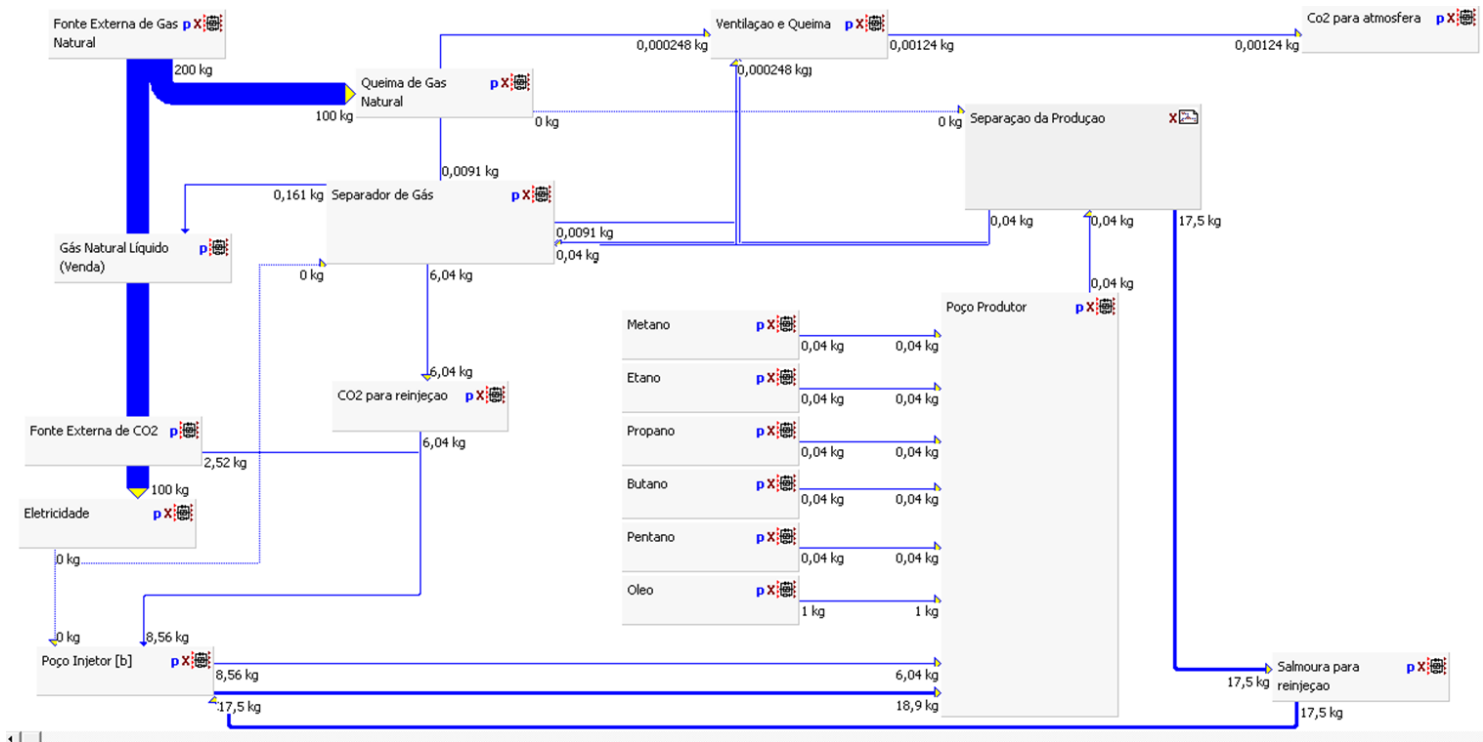
Figura 2 – Fluxograma do processo produtivo do método de EOR com injeção de CO₂.

Fonte: adaptado de NETL, 2013.



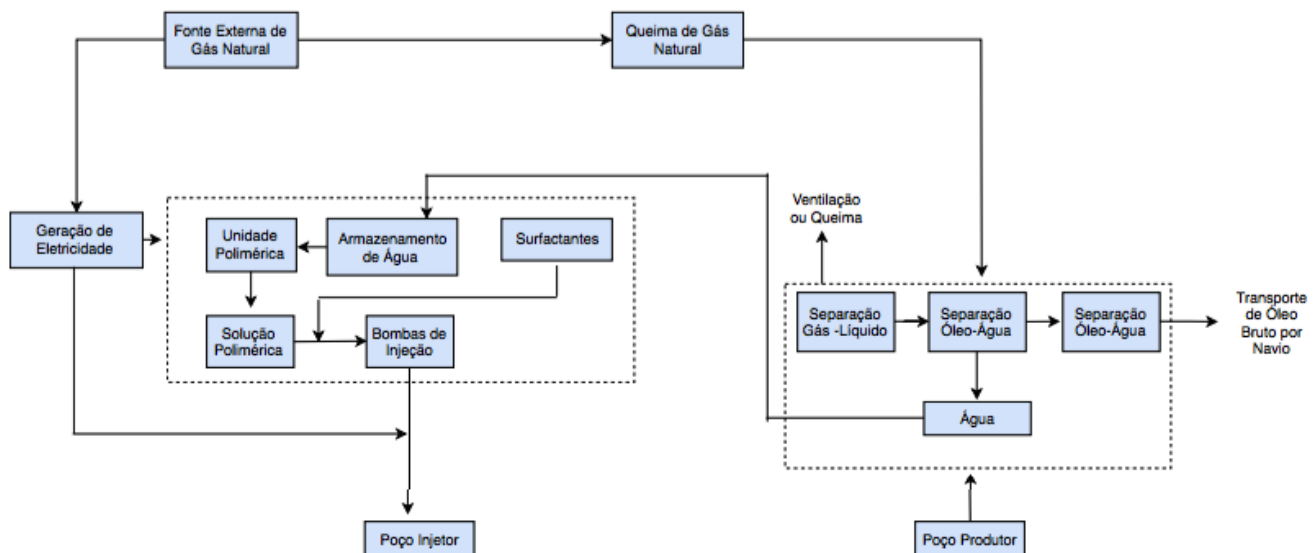
A Figura 3 da página seguinte mostra o resultado parcial da modelagem do sistema de EOR com injeção de CO₂ que está sendo feita com o auxílio do *software* de ACV Gabi4®. Os valores de entrada neste modelo precisam ser refinados e adaptados aos processos unitários específicos. Para cada etapa do fluxograma do processo produtivo serão levantados os valores de entrada e saída dos fluxos de matéria e energia.

Figura 3 – Modelagem do fluxograma do método de EOR com injeção de CO₂ no *software* de ACV Gabi4®



O resultado do detalhamento do fluxograma do processo de EOR com injeção de polímeros obtido neste estudo está indicado na Figura 4 abaixo. No estágio atual do trabalho, está sendo feita a modelagem deste fluxograma com o auxílio do *software* de ACV Gabi4[®]. Em seguida, este modelo será alimentado com dados específicos relativos a este processo de EOR.

Figura 4 – Fluxograma do processo produtivo do método de EOR com injeção de polímeros.



Todos as unidades de processos usados para modelagem de EOR possuem parâmetros ajustáveis. Esses parâmetros melhoram a flexibilidade do modelo e permitem alterações nas propriedades como taxas de combustíveis utilizados em determinados processos unitários, como a separação de óleo/água na injeção de CO₂, fatores de emissão de gases que não foram queimados, composição da mistura óleo/gás/água, consumo de eletricidade, perdas devido a vazamentos de líquidos e gases. O mesmo ocorre na análise e modelagem com injeção de polímeros.

Conclusões

Após a conclusão da etapa de Análise do Inventário e Modelagem no software Gabi4®, serão reavaliados os parâmetros de entrada do modelo. A possibilidade de ajustes nos parâmetros de entrada do modelo está contemplada em estudos de ACV e permite uma revisão e otimização dos objetivos e escopo do trabalho.

A Avaliação dos impactos do Ciclo de Vida, será conduzida após encerrada a modelagem dos fluxogramas dos processos de EOR analisados e irá permitir avaliar os aspectos ambientais levantados no inventário. Os resultados da modelagem do inventário deverão ser normalizados e agregados em fluxos elementares do sistema que serão relacionados aos impactos gerados ao meio ambiente, nas diferentes categorias de impacto selecionadas (mais relevantes para o problema) como o efeito estufa, acidificação, camada de ozônio, eutrofização, consumo de recursos naturais, entre outras. Finalmente, na última etapa do trabalho, a análise dos resultados permitirá a formulação de conclusões e recomendações para a minimização de impactos ambientais potencialmente gerados pelo sistema.

Agradecimentos

Agradecemos à Fundação Universidade do Estado de Santa Catarina/UDESC pelo apoio a esta pesquisa.

Referências Bibliográficas

- ABNT NBR ISO 14040:2009. **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009.
- ALVARADO, V.; MANRIQUE, E. **Enhanced Oil Recovery: An Update Review**. *Energies* 3, 1529-1575, 2010.
- FRANKL P.; RUBIK F. **Life Cycle Assessment in Industry and Business: Adoption Patterns, Applications and Implications**. Springer Verlag, Berlin, 1999.
- HAES, U. D. et al. **Life-Cycle Impact Assessment: Striving towards Best Practice**. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). 272pp. 2002.
- HAUSCHILD, M. et al. **From Life Cycle Assessment to Sustainable Production: Status and Perspectives**. *Annals CIRP*, 54, 2, 535-555, 2005.
- LAKE, L. W. **Enhanced Oil Recovery**, New Jersey: Prentice Hall, 1990. 550 p.
- MUNGAN, N. (1991). **An evaluation of carbon dioxide flooding**. *SPE Paper 21762, presented at the SPE Western Regional Meeting* held in Long Beach, California.
- NETL. (2013). **Gate-to-Gate Life Cycle Inventory and Model of CO₂-Enhanced Oil Recovery**. National Energy Technology Laboratory Retrieved September 30, 2013, from https://www.netl.doe.gov/energyanalyses/temp/GatetoGateLifeCycleInventoryandModelofCO2EnhancedOilRecoveryReport_093013.pdf
- NILSSON, M. A. et al. **Effect of fluid rheology on enhanced oil recovery in a microfluidic sandstone device**. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics* 202, 2013.
- QUINTELLA, C. M.; MUSSE, A. P. S.; CASTRO, M. T. P. O.; WATANABE, Y. N.; MIKELSONS, L.; SCAIANO, J. C. **Polymeric surfaces for heavy oil pipelines to inhibit wax deposition: PP, EVA28 and HDPE**. *Energy & Fuels*, v. 20, n. 2, p. 620-624, 2006.
- ROSA, Adalberto José, CARVALHO, Renato de Souza and XAVIER, José Augusto Daniel. 2006. **Engenharia de Reservatórios de Petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006. p. 808.
- SANTOS, F. K. G.; ALVES, J. V. A.; DANTAS, T. N. C.; NETO, A. A. D.; DUTRA JÚNIOR, T. V.; NETO, E. L. B. **Seleção de tensoativos não iônicos para uso na recuperação avançada de petróleo**. In: PDPETRO. 4. Campinas, SP, 2007, 1-9p.