

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



TÍTULO DO TRABALHO:

Simulação de Gaseificação Subterrânea de Combustível Fóssil Aplicada à Indústria de Petróleo

AUTORES:

Maxwell Risseli Laurentino da Silva
Hugo Andersson Dantas Medeiros
Francisco Wilton Miranda da Silva
Hugo Rocha Peixoto
Rafael Barbosa Rios

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFRSA

SIMULAÇÃO DE GASEIFICAÇÃO SUBTERRÂNEA DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL APLICADA À INDÚSTRIA DE PETRÓLEO

Abstract

The burning of fossil fuels is the main source of energy in the world, representing the main source of emission of harmful gases to the environment. In this context, it is pertinent the study of technologies that help in reducing fossil fuel consumption, such as the underground gasification technique. The present work aims to evaluate a recent underground hydrocarbon gasification model to produce synthesis gas. An underground n-hexadecane gasification plant was simulated using UniSim® Design Suite R430 software. The influence of different oxygen/carbon (O/C), water / carbon ($Water/C$) ratios and oxygen enrichment in the injected air under energy efficiency was evaluated. The change in the distribution of the gas components produced for different ratios (oxygen/carbon; water/carbon) of the reagent streams was also analyzed. After the plant simulation, a series of case studies were performed. The results showed that an increase in the O/C ratio is directly proportional to the energy efficiency of the process, as the temperature of the produced gases increases, while a decrease in the production of gases such as H_2 is noted. However, for the process to be optimized, a point must be found so that plant operating costs are minimized and energy efficiency and the production of gases of interest are maximized. At the end of the work, the optimum O/C and $Water/C$ ratio values were 1 and 30, respectively.

Introdução

O carvão é uma das mais importantes fontes de energia no mundo (KOUKOUZAS *et al.*, 2013). Seu principal uso está relacionado com a geração de energia elétrica por meio de usinas termoeletricas. Entretanto, esse mineral é bastante utilizado na maioria dos processos industriais onde é necessário gerar calor. Em praticamente todos esses processos é necessária a combustão do carvão e isso tende a produzir os gases responsáveis pelo efeito estufa, e, conseqüentemente, pelo aquecimento global. Nesse contexto, é fundamental que sejam realizados estudos para avaliar tecnologias que possam gerar energia e que auxiliem na redução do consumo de combustíveis fósseis, como o carvão. Com base nisso, a técnica de gaseificação subterrânea vem ganhando destaque.

A gaseificação do carvão promove a formação de gás de síntese através de uma reação química na qual um combustível sólido reage com um comburente (FLETCHER, 2017). Dentro deste tema, de acordo com Alshammari e Hellgardt (2014), a gaseificação subterrânea de combustíveis fósseis é uma tecnologia promissora do ponto de vista econômico e é amigável ao meio ambiente, uma vez que produz gás de síntese. Muitos estudos já foram reportados acerca da confiabilidade técnica, econômica e do alto poder calorífico do gás de síntese, como por exemplo o estudo feito por Friedmann *et al.* (2009). Basicamente, a injeção de vapor d'água e ar no fundo de um poço de petróleo, onde existe uma fonte de carbono, pode produzir gás de síntese. As reações envolvidas incluem a presença de um hidrocarboneto reagindo com oxigênio e com água.

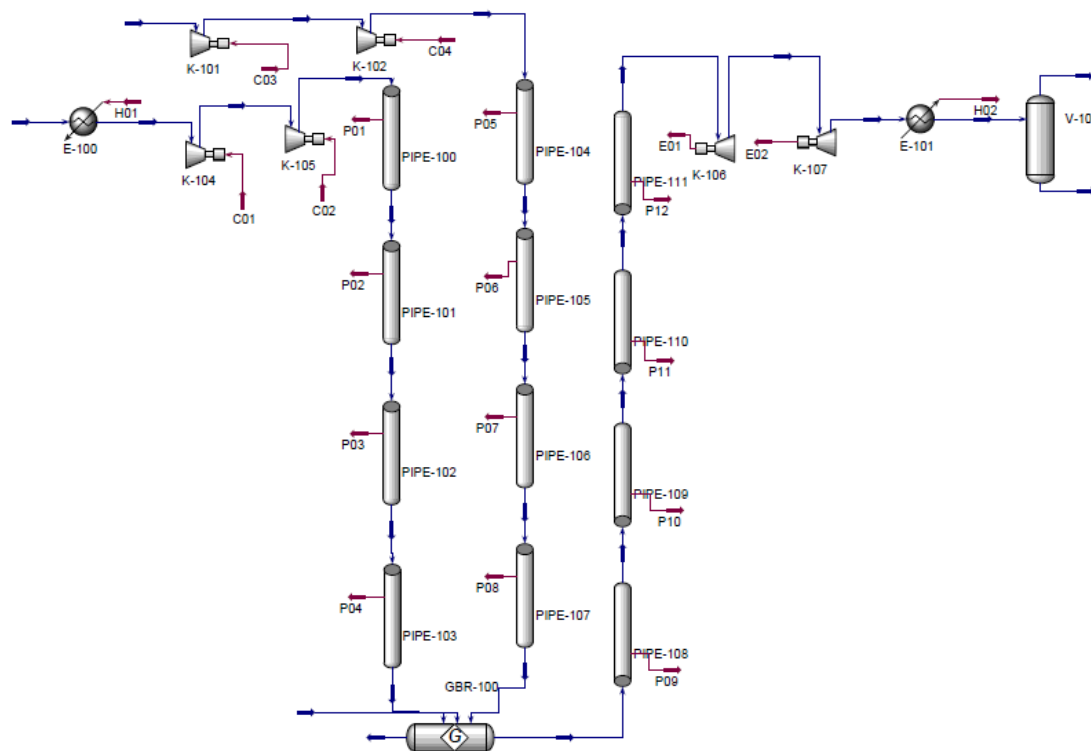
O presente trabalho tem por objetivo avaliar o modelo apresentado por Alshammari e Hellgardt (2014) para a gaseificação subterrânea de n-hexadecano, de modo a se obter uma vazão ótima de gás de síntese e a analisar a eficiência do processo. Espera-se com isso apontar as melhores razões de alimentação de vapor d'água e ar para favorecer a produção do gás de síntese, utilizando a menor energia

possível. Para isso, foi utilizado o software de processo UniSim® Design Suite R430 como ferramenta para a obtenção dos dados desse trabalho. Dessa forma, foram avaliadas as vazões de entrada do processo (vapor d'água, ar e n-hexadecano) e as temperaturas de entradas das correntes de alimentação. A eficiência energética do processo também foi avaliada.

Metodologia

O processo de gaseificação do n-hexadecano foi simulado utilizando o software UniSim® Design Suite R430. Os componentes inseridos na simulação foram: C_6H_{34} , H_2O , O_2 , N_2 , H_2 , CO , CO_2 , CH_4 e NH_3 . Tomou-se como base o resultado reportado por Alshammari e Hellgardt (2014). O pacote termodinâmico utilizado na simulação foi o PSRV, uma vez que essa equação de estado é indicada para esse tipo de processo e também foi utilizada por Alshammari e Hellgardt (2014). A Figura 1 apresenta o fluxograma do processo simulado para a produção do gás de síntese.

Figura 1 – Fluxograma do processo de produção de gás de síntese.



Fonte: Autoria própria (2019).

Um reator de Gibbs foi utilizado para estimar a mudança na composição do gás de síntese no fundo do poço. Seguimentos de tubo de 1000 m foram utilizados para representar poços de injeção e produção localizados a 4000 m abaixo da superfície. A Tabela 1 apresenta todas as informações utilizadas para a estimativa do coeficiente de transferência térmica dos tubos.

Tabela 1 – Parâmetros utilizados na simulação para estimar o coeficiente de transferência térmica.

Parâmetro	Especificação
<i>HTC correlation</i>	HTFS
<i>Insulation Type</i>	Concrete
<i>Insulation thickness [m]</i>	0,1
<i>Ambient medium</i>	Ground (Sandstone)
<i>Buried depth [m]</i>	1000-4000
<i>Pipe segmente length [m]</i>	1000
<i>Pipe material</i>	Mild Steel
<i>Pipe correlation</i>	Beggs and Brill (1979)

Fonte: Adaptado de Alshammari e Hellgardt (2014).

Duas correntes distintas de água e ar com vazão mássica igual a 100 *kg/h*, foram pressurizadas por uma série de compressores, afim de gerar gases de injeção a 205 *bar*. Ao final do processo, foi possível obter gás de síntese a uma temperatura de 30 °C e pressão igual a 4 *bar*.

Para avaliar a eficiência energética do processo, a Equação (1) foi utilizada.

$$\text{Eficiência energética} \left(\frac{E_{\text{entrada}}}{E_{\text{saída}}} \right) = \frac{E01 + E02 + H02}{H01 + C01 + C02 + C03 + C04} \quad (1)$$

onde E01 e E02 denotam o fluxo energético dos expansores, H01 e H02 representam a energia consumida a partir dos aquecedores e C01, C02, C03 e C04 representam os compressores.

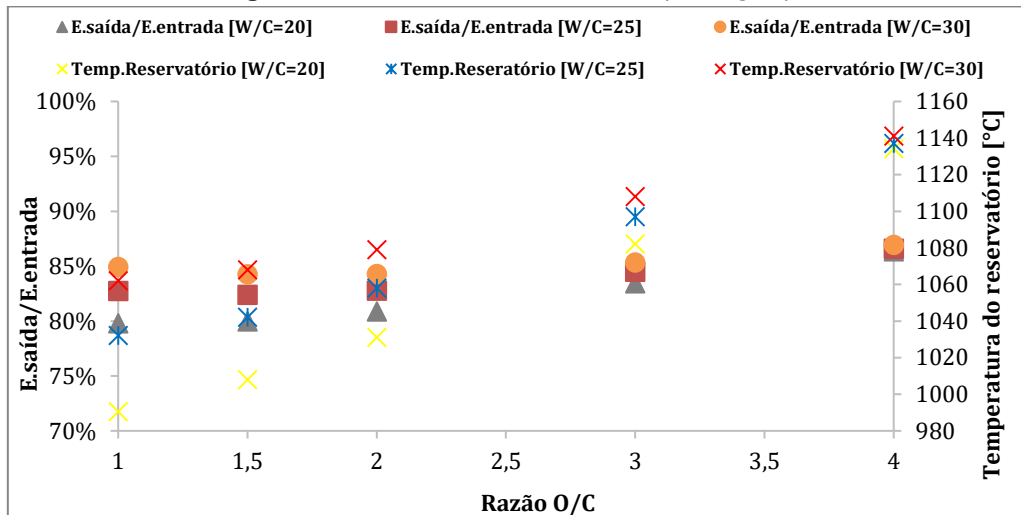
Por fim, foi avaliado a eficiência energética do processo a partir da variação das razões *O/C* e *Água/C*, bem como pureza de oxigênio na corrente de ar. Avaliar a influência das razões *O/C* e *Água/C* possibilitou verificar a qualidade do gás de síntese produzido no final do processo.

Resultados e Discussão

A planta de gaseificação simulada foi baseada nos dados reportados por Alshammari e Hellgardt (2014), bem como as condições operacionais do processo. A avaliação da eficiência energética do processo foi avaliada de acordo com o aumento da razão *O/C* de acordo com a variação da razão *Água/C* igual a 20, 25, 30. Frente a essa análise, a temperatura do reservatório pode ser avaliada. Dessa forma, a Figura 2 apresenta os resultados obtidos para tal análise.

Pode-se perceber que um aumento da razão *O/C* e *Água/C* são diretamente proporcionais a eficiência energética do processo, bem como a temperatura do reservatório. Esse resultado pode ser justificado pelo fato de que uma maior quantidade de oxigênio é alimentada no poço. Isso favorece as reações exotérmicas que acontecem no poço durante a gaseificação do n-hexadecano, e, conseqüentemente, os gases produzidos terão temperaturas mais elevadas, possibilitando uma maior recuperação de energia nos compressores no final do processo.

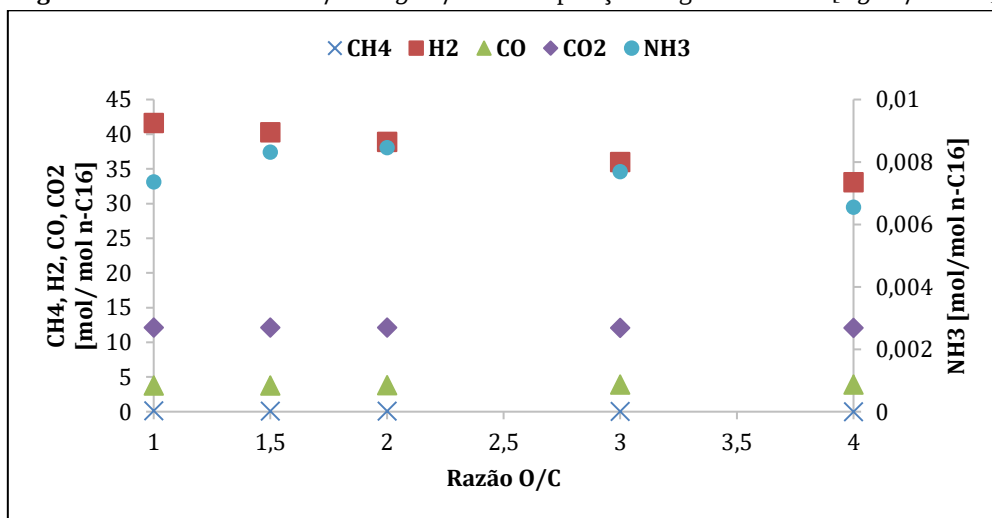
Figura 2 – Efeito do aumento da razão O/C e $\text{Água}/C$.



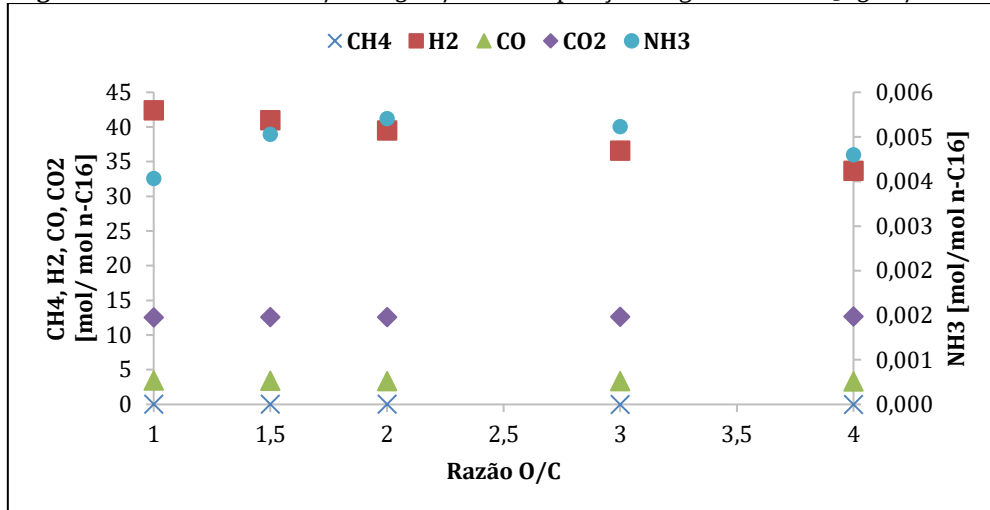
Fonte: Autoria própria (2019).

Em contrapartida, o aumento das razões O/C e $\text{Água}/C$ são inversamente proporcionais a quantidade de hidrogênio produzida para compor o gás de síntese, sendo esse um péssimo ponto, uma vez que o gás de síntese é composto majoritariamente por hidrogênio. As Figuras 3, 4 e 5 demonstram a influência das razões O/C e $\text{Água}/C$ na composição do gás de síntese.

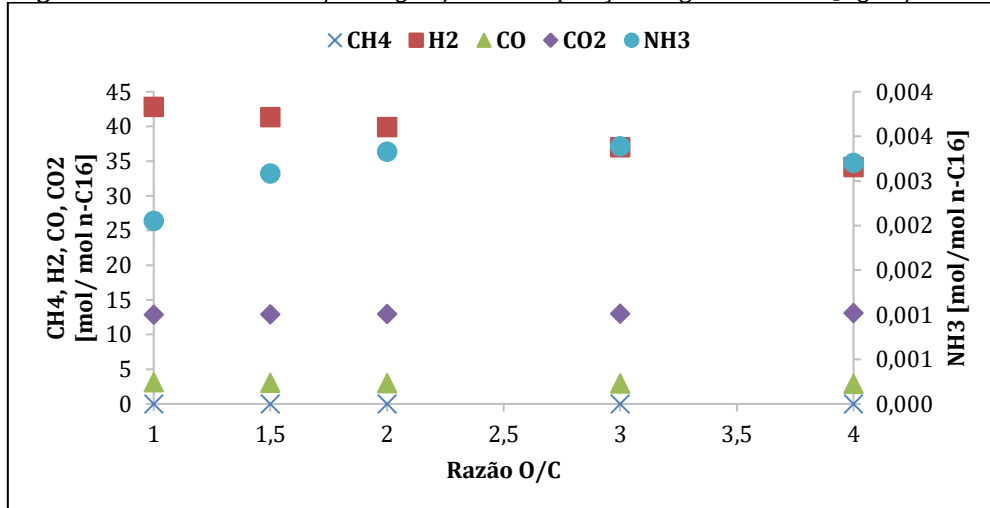
Figura 3 – Efeito da razão O/C e $\text{Água}/C$ na composição do gás de síntese [$\text{Água}/C = 20$]



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 4 – Efeito da razão O/C e $\text{Água}/C$ na composição do gás de síntese [$\text{Água}/C = 25$]

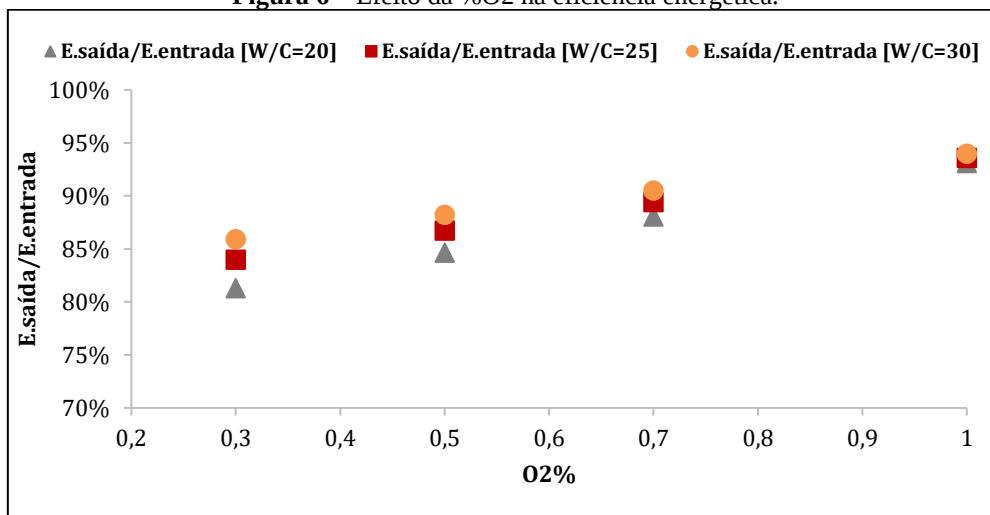
Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 5 – Efeito da razão O/C e $\text{Água}/C$ na composição do gás de síntese [$\text{Água}/C = 30$]

Fonte: Autoria própria (2019).

O resultado das figuras acima indica que apesar do aumento de oxigênio e vapor de água no processo, a quantidade de CO_2 formada se manteve constante e que não houve uma produção considerável de CH_4 e NH_3 .

Por fim, foi avaliado o quanto o percentual de oxigênio na corrente de ar comprimido influencia no processo de eficiência energética. A Figura 6 representa os resultados obtidos para esse último estudo de caso do processo.

Figura 6 – Efeito da %O₂ na eficiência energética.

Fonte: Autoria própria (2019).

A Figura 6 comprova os resultados obtidos nos estudos anteriores, onde a maior concentração e oxigênio irá favorecer a produção de gases a uma elevada temperatura, possibilitando uma maior recuperação de energia.

Diante dessa série de estudos, foi possível entender o comportamento do processo frente a variação das razões de alimentação e encontrar um ponto ótimo onde a eficiência energética seja maximizada, assim como a produção de hidrogênio. Esses valores são: razões $O/C = 1$ e $\text{Água}/C = 30$.

Conclusões

Uma simulação de um processo de gaseificação para produção de gás de síntese foi realizada. Foi possível entender o comportamento da gaseificação do n-hexadecano frente a variação das razões O/C e $\text{Água}/C$. Foi observado um aumento na eficiência energética diretamente proporcional as razões testadas, bem como o %O₂, porém, o aumento na eficiência energética acaba impactando na qualidade do gás de síntese produzido, uma vez que foi possível verificar que a produção de hidrogênio é inversamente proporcional as razões O/C e $\text{Água}/C$. A série de estudos de caso realizadas permite encontrar um ponto onde a eficiência energética seja maximizada, assim como a produção de hidrogênio, uma vez que é o composto de maior importância para o gás de síntese. Recomendamos utilizar razões O/C e $\text{Água}/C$ iguais a 1 e 30, respectivamente.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Honeywell por ter concedido a licença do software UniSim® Design Suite R430 para a realização deste trabalho.

Referências Bibliográficas

ALSHAMMARI, Y.m.; HELLGARDT, K.. A new HYSYS model for underground gasification of hydrocarbons under hydrothermal conditions. **International Journal Of Hydrogen Energy**, [s.l.], v. 39, n. 24, p.12648-12656, ago. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.05.182>.

FLETCHER, T. H. Gasification fundamentals. In: Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) Technologies. Provo: Elsevier, 2017. p. 223 – 256. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100167-7.00006-8>>. Acesso em: 10 set. 2019.

FRIEDMANN, S. J.; UPADHYE, R.; KONG, F.M.. Prospects for underground coal gasification in carbon-constrained world. **Energy Procedia**, [s.l.], v. 1, n. 1, p.4551-4557, fev. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2009.02.274>.

KOUKOUZAS, N; KATSIMPARDI, I; MERACHEV, D. SIMULATION OF UNDERGROUND COAL GASIFICATION PROCESS IN A BULGARIAN COAL FIELD. In: BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SOCIETY OF GREECE, 2013, Chania. **Proceedings**. 2017. v. 47, p. 2090 - 2100.