

COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA DURANTE O ESCOAMENTO DE PETRÓLEO EM LINHAS DE PRODUÇÃO UTILIZANDO CFD

Sandro Luís da Costa Alves, sandro.alves@ifma.edu.br¹

Luzia Aparecida Tofaneli, luzia.tofaneli@fieb.org.br²

Turan Dias Oliveira, turan.oliveira@fieb.org.br²

Juliana de Oliveira Cordeiro, eng.julianacordeiro@gmail.com²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – Campus Pedreiras, Rodovia MA 381, Km 0, s/n, Diogo, Pedreiras – MA, CEP 65725-000, <https://pedreiras.ifma.edu.br/>

²Centro Universitário SENAI CIMATEC, Avenida Orlando Gomes, 1845 – Piatã, Salvador- BA, CEP: 41.650-010, www.fieb.org.br/senai

Resumo: Ao longo de toda história da humanidade o petróleo se tornou o recurso mineral mais utilizado. No entanto a exploração do petróleo tem o agravante da parafinação durante seu escoamento nas linhas de produção, desse modo contribuindo para uma menor produção e paradas obrigatórias para realização da desparafinação das linhas de produção até a chegada na estação de processamento primário. O objetivo deste trabalho é verificar o comportamento da temperatura do petróleo durante seu escoamento em linha de produção fabricada a partir de aço carbono e comparar com a linha de produção de fibra de vidro de um poço de petróleo situado na cidade de Catu – BA. Foi identificado e caracterizado um poço de petróleo equipado com linha de produção de aço carbono no campo petrolífero de Água Grande, em seguida foi realizado as simulações numéricas do escoamento do petróleo utilizando CFD (Computational Fluid Dynamics) através do software ANSYS CFX® para determinar a temperatura do petróleo durante seu escoamento. Os resultados das simulações mostraram que a variação da temperatura do petróleo na tubulação de fibra de vidro se mostrou menor que na tubulação de aço carbono. Desta forma pode-se concluir que a substituição da linha de produção de aço carbono por fibra de vidro em poços de petróleo, além de evitar a corrosão das tubulações, pode garantir uma menor variação da temperatura ao longo do escoamento e por consequência evitando a parafinação.

Palavras-chave: Petróleo, Linha de produção, Temperatura, CFD.

1. INTRODUÇÃO

O petróleo é constituído basicamente de hidrocarbonetos, podendo apresentar estado físico gasoso, quando a mistura apresentar maior porcentagem de moléculas pequenas, ou líquido quando a mistura conter maior porcentagem de moléculas maiores (THOMAS, 2004).

O início da exploração de petróleo no Brasil se deu através do Decreto nº 3.352-A, de 30 de junho de 1864, dando concessão a Thomas Denny Sargent, com validade de 90 dias, para exploração de turfa, petróleo e qualquer outro mineral na comarca de Camamu e Ilhéus, situadas no estado da Bahia (DIAS e QUAGLINO, 1993).

Até o final de 1938 foram perfurados 80 poços de petróleo no Brasil, no entanto sem confirmação da presença deste recurso mineral, sendo encontrado em 1939 na comunidade de Lobato, em Salvador – BA, a presença de petróleo em escala não comercial (THOMAS, 2004).

Todavia, o poço de Lobato, perfurado em 1939 na cidade de Salvador – BA, foi considerado apenas como o primeiro poço no Brasil com presença de petróleo, no entanto sem quantidades economicamente viáveis para produção comercial, sendo o poço C 01, perfurado em 1941 na cidade de Candeias – BA, o primeiro poço com produção de petróleo em escala comercial no Brasil, assim sendo a bacia do Recôncavo Baiano a primeira bacia sedimentar a ser explorada com prospecto positivo no país (MORAIS, 2013).

Para Alves (2017), o petróleo é um dos recursos minerais mais importante no cenário atual do Brasil e do mundo, sendo o Brasil responsável por uma produção média diária de aproximadamente 2,4 milhões de barris por dia, demonstrando assim um crescimento significativo quando comparado com os anos anteriores, conforme a Fig. 1.

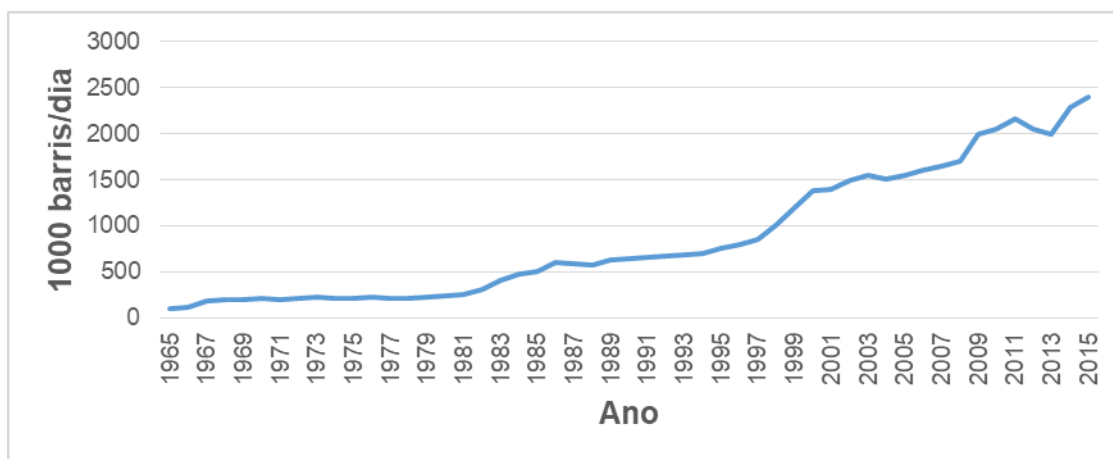


Figura 1. Evolução da produção média diária de petróleo no Brasil.

A exploração de petróleo, principalmente em campos maduros, está associada ao escoamento da produção através de linhas de produção, justificado pela segurança e eficiência. As linhas de produção são tubulações que ligam a cabeça do poço até a estação de processamento primário, em sua maioria, são fabricadas a partir de aço carbono, assim ocasionando dois grandes problemas operacionais: a corrosão, interna e externa, das tubulações e a parafinação do petróleo dentro das linhas de produção.

Durante o escoamento do petróleo nas linhas de produção, a temperatura do mesmo pode sofrer variações influenciadas por diversos fatores, principalmente pelo material que constitui a tubulação, além das condições ambientais que envolvem a tubulação (MACHADO, 2002).

Com a diminuição da temperatura do petróleo durante seu escoamento nas linhas de produção, tem-se uma maior possibilidade de ocorrência da parafinação. Para Alves *et al.* (2016), esse aumento da parafinação nas linhas de produção provoca uma redução interna no diâmetro da tubulação e aumento do atrito na parede da tubulação, assim exigindo uma unidade de bombeamento de maior capacidade, acarretando em paradas não programadas para desparafinação.

Este trabalho tem como objetivo verificar o comportamento da viscosidade do petróleo durante seu escoamento em linhas de produção fabricadas a partir de fibra de vidro no campo petrolífero de Água Grande, localizado no município de Catu – BA.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho foi no campo petrolífero de Água Grande, localizado na cidade de Catu, situada no estado da Bahia, cuja as coordenadas geográficas de latitude e longitude são: 12° 38' 01" e 38° 37' 03", respectivamente, apresentando altitude média de 96 m.

Foi selecionado um poço de petróleo, onde foi coletado as amostras de petróleo para análise inicial da viscosidade, massa específica, teor de água contido no petróleo, condutividade térmica e calor específico, além de variáveis referente ao escoamento como: diâmetro interno da tubulação, espessura da parede da tubulação, pressão e vazão.

A amostragem foi realizada em março de 2016, sendo retirado duas amostras de 500 mL cada, sendo uma utilizada para realização das análises em laboratório e a outra retirada para uma possível contraprova. Antes da coleta, foi realizado a medição da pressão interna da tubulação com um manômetro industrial, Omega modelo PGT 30L-300, faixa de medição de 0 a 300 lb/in² e limite de erro de ± 0,05%. Após a medição da pressão, foi retirada as amostras de petróleo, onde foi medido a temperatura do petróleo com auxílio de um termômetro químico, Incoterm e modelo 50521, faixa de medição de -10°C a 210°C e limite de erro de ± 1°C.

Após a realização da coleta, as amostras foram devidamente identificadas e acondicionadas em caixa térmica, em seguida foram encaminhadas para o laboratório da empresa Carboflex para determinação das propriedades físicas.

2.1. Modelagem Matemática

As equações utilizadas para resolução do escoamento de petróleo em tubulações com transferência de calor modelado em questão foram: conservação da massa e conservação da energia, descritas nas Eqs. (1) e (2), sendo a temperatura expressa por θ na Eq. (2).

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + U \frac{\partial \theta}{\partial x} + V \frac{\partial \theta}{\partial y} + W \frac{\partial \theta}{\partial z} = \alpha \left[\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right] \quad (2)$$

Já a equação da conservação do momento é descrita nas direções x, y e z através das Eqs. (3) - (5), respectivamente.

$$\frac{\partial \rho u}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v u)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w u)}{\partial z} = \rho g_x + \frac{\partial}{\partial x} \sigma_{xx} + \frac{\partial}{\partial y} \sigma_{yx} + \frac{\partial}{\partial z} \sigma_{zx} \quad (3)$$

$$\frac{\partial \rho v}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u v)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w v)}{\partial z} = \rho g_y + \frac{\partial}{\partial x} \sigma_{xy} + \frac{\partial}{\partial y} \sigma_{yy} + \frac{\partial}{\partial z} \sigma_{zy} \quad (4)$$

$$\frac{\partial \rho w}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u w)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v w)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w w)}{\partial z} = \rho g_w + \frac{\partial}{\partial x} \sigma_{xz} + \frac{\partial}{\partial y} \sigma_{yz} + \frac{\partial}{\partial z} \sigma_{zz} \quad (5)$$

2.2. Geometria e Malha

As geometrias da linha de produção de aço carbono e de fibra de vidro foram desenvolvidas pelo Solid Works e posteriormente importada pelo ANSYS *Workbench Geometry*, as geometrias foram desenvolvidas com comprimento de 10 m, uma vez que a partir do comprimento 3 m, o escoamento se torna plenamente desenvolvido.

A geração da malha também foi realizada através do ANSYS *Workbench Mesh*, sendo inicialmente gerada de forma automática, no entanto na maioria dos casos, a geração de malha se faz necessário a realização de uma “refinação”, ou seja, a malha gerada automaticamente possui um número de elementos que não represente significadamente o escoamento, principalmente nos casos de escoamentos turbulentos, assim refinar a malha para melhor representar as regiões críticas, principalmente junto a camada limite das paredes.

Com o intuito de diminuir o custo e tempo computacional das simulações, o domínio do fluido foi dividido em 4 partes simétricas, sendo desenvolvida uma geometria de ¼ do cilindro, com raio de 0,0381 m para o aço carbono, conforme Fig. 2a, já a tubulação de fibra de vidro, a geometria foi dividida em 3 domínios combinados, sendo eles: o fluido dentro da tubulação, a parede da tubulação e o solo que envolve a tubulação, sendo que essa geometria foi dividida em duas partes simétricas, como mostra a Fig. 2b.

As malhas geradas nos casos de linha de produção de aço carbono e de fibra de vidro foram refinadas com a utilização da função *inflation*, *body sizing* e *patch conforming method*, de modo que apresentaram 5368144 e 10844766 elementos respectivamente.

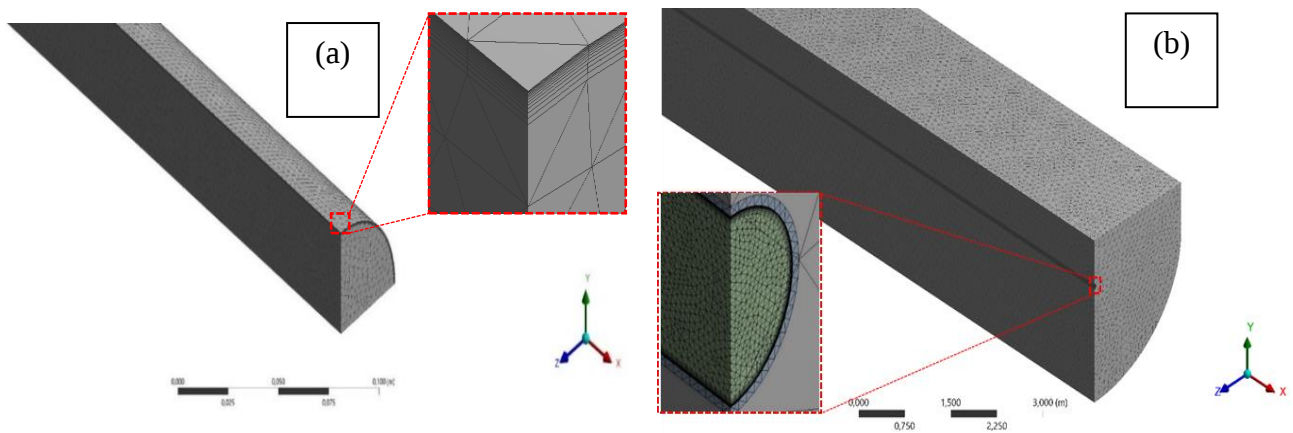


Figura 2. Malha do domínio da linha de produção. (a) aço carbono; (b) fibra de vidro.

2.3. Condições de Contorno

As simulações dos escoamentos da tubulação de aço carbono e fibra de vidro foram realizadas com o ANSYS CFX[®] versão 17.1, sendo necessário a determinação dos parâmetros e as características do fluido em escoamento. Como o escoamento em estudo é classificado como turbulento, se fez necessário a escolha do modelo de turbulência para realizar a simulação, sendo utilizado o modelo SST (Transporte da Tensão de Cisalhamento ou *Shear Stress Transport*). Este modelo combina as vantagens dos modelos $\kappa - \epsilon$ e do $\kappa - \omega$, variando entre os dois modelos, se ajustando a melhor forma de calcular a turbulência, dependendo da região do fluxo a ser estudada (MENTER, 1994).

Os parâmetros adotados como condições de contorno para realização da simulação numérica da linha de produção de aço carbono são apresentados na Tab. 1 e demonstrado na Fig. 3.

Tabela 1. Condições de contorno da linha de produção de aço carbono.

Região	Condição de contorno	Valores
Entrada	Velocidade constante (m/s)	0,2544
Superior	Parede sem deslizamento Rugosidade (mm) Coeficiente de transferência de calor (W/m ² K) Temperatura (°C)	Sim 0,0015 11,0279 25
Inferior	Simetria	Sim
Lateral	Simetria	Sim
Saída	Pressão atmosférica	Sim

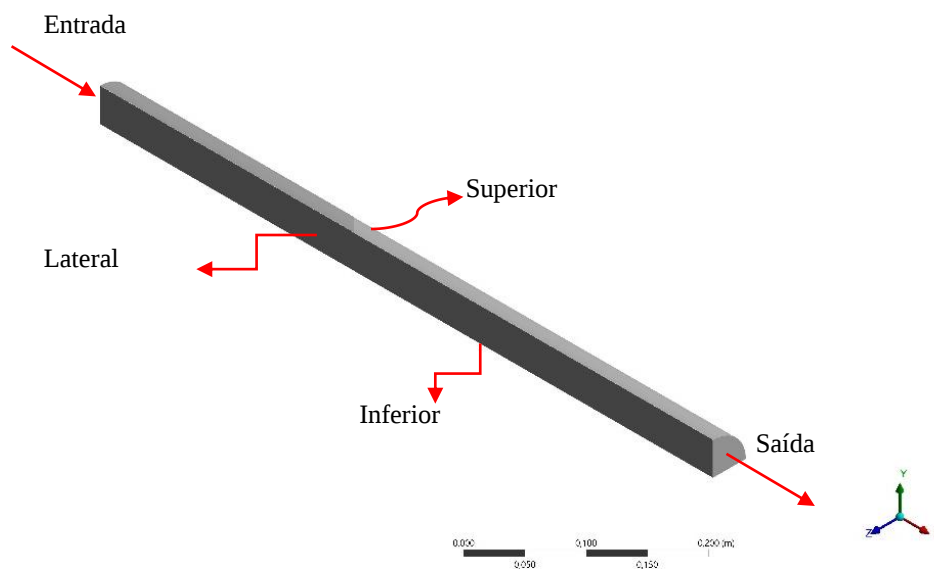


Figura 3. Domínio padrão da tubulação de aço carbono.

Para fibra de vidro as condições de contorno foram utilizadas separadamente para cada subdomínio, conforme são apresentadas na Tab. 2, sendo expostos os subdomínios do fluido em escoamento e camada da fibra de vidro na Figs. 4a e 4b, respectivamente, já a camada do solo na Fig. 5.

Tabela 2. Condições de contorno da linha de produção de fibra de vidro.

<i>Subdomínio</i>	<i>Região</i>	<i>Condição de contorno</i>	<i>Valores</i>
Fluido em escoamento	Entrada	Velocidade constante (m/s)	0,2544
	Lateral	Simetria	X
	Camada externa	Interface entre domínios	X
	Saída	Pressão atmosférica	X
Camada da fibra de vidro	Camada da fibra	Fluxo de calor (W/m^2)	5,852
	Espessura do tubo	Simetria	X
	Parede interna	Interface entre domínios	X
	Parede externa	Interface entre domínios	X
Camada do solo	Superfície do solo	Coeficiente de transferência de calor (W/m^2K)	1,977
	Solo lateral		X
	Solo que envolve a tubulação	Simetria	X
	Parede do solo	Camada do solo com temperatura fixa ($^{\circ}C$)	27,12

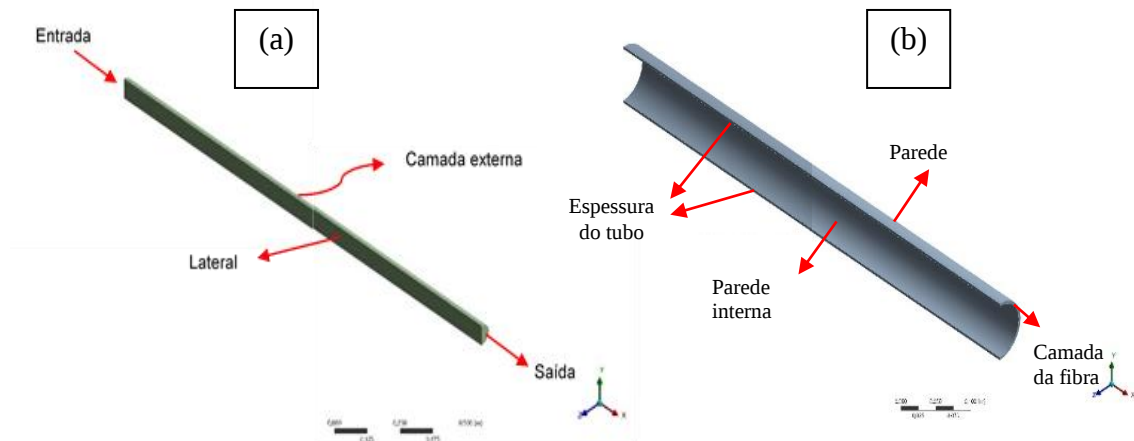


Figura 4. Subdomínios da fibra de vidro. (a) fluido em escoamento; (b) camada da fibra

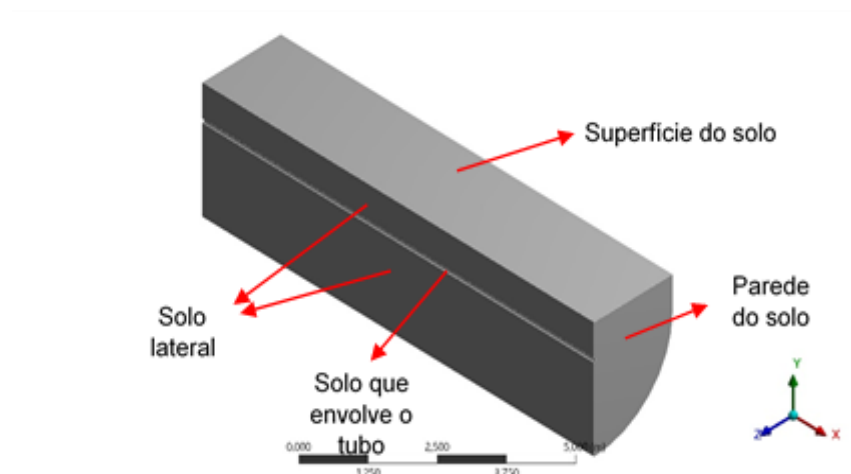


Figura 5. Subdomínio da camada do solo da fibra de vidro.

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

A estação de processamento em estudo contém 19 poços conectados, dos quais 7 são injetores e 12 são produtores. Foi selecionado um poço produtor com maior distância até a estação de processamento primário para realizar a simulação numérica.

Em visita ao campo petrolífero, foi selecionado o poço que apresentou maior distância até a estação de processamento primário do petróleo, obtendo uma distância de 1028,1 m.

Após a realização da simulação numérica do poço em estudo para as duas linhas de produção, foi verificado que o escoamento do petróleo em estudo se tornou completamente desenvolvido a partir de 3,0 m para linha de produção de aço carbono e de 2,0 m para a fibra de vidro, como mostra a Fig. 6.

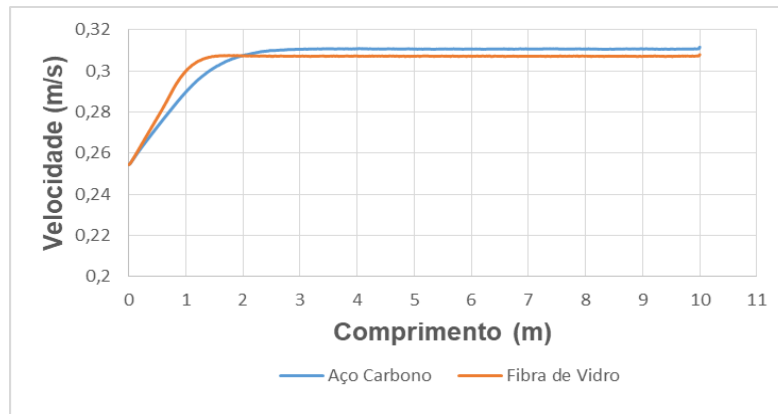


Figura 6. Desenvolvimento do escoamento.

A temperatura da emulsão (petróleo e água salobra) no início do escoamento foi de 69°C, no entanto após a simulação numérica realizada para geometria de 10 m, a temperatura ao final deste comprimento de 10 m foi de 68,74 para tubulação de aço carbono, com variação de 0,26°C, como mostra a Fig. 7, já no caso da tubulação de fibra de vidro teve uma temperatura ao final deste comprimento de 10 m foi de 68,81, assim obtendo uma variação de 0,19°C, conforme a Fig. 8.

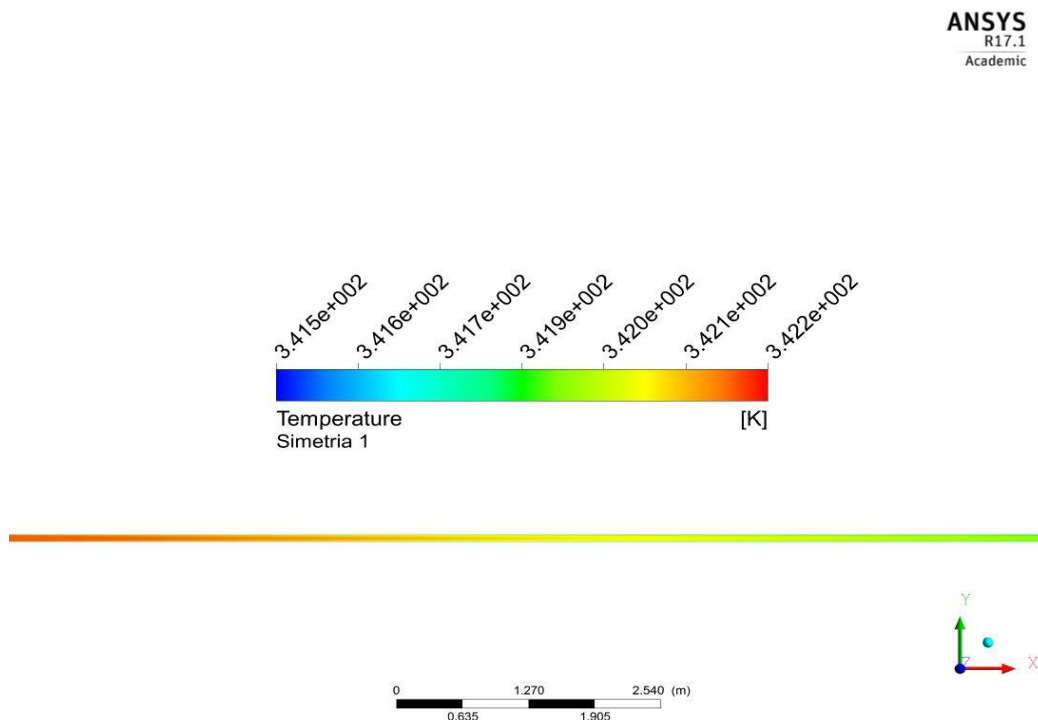


Figura 7. Variação da temperatura da tubulação de aço carbono.

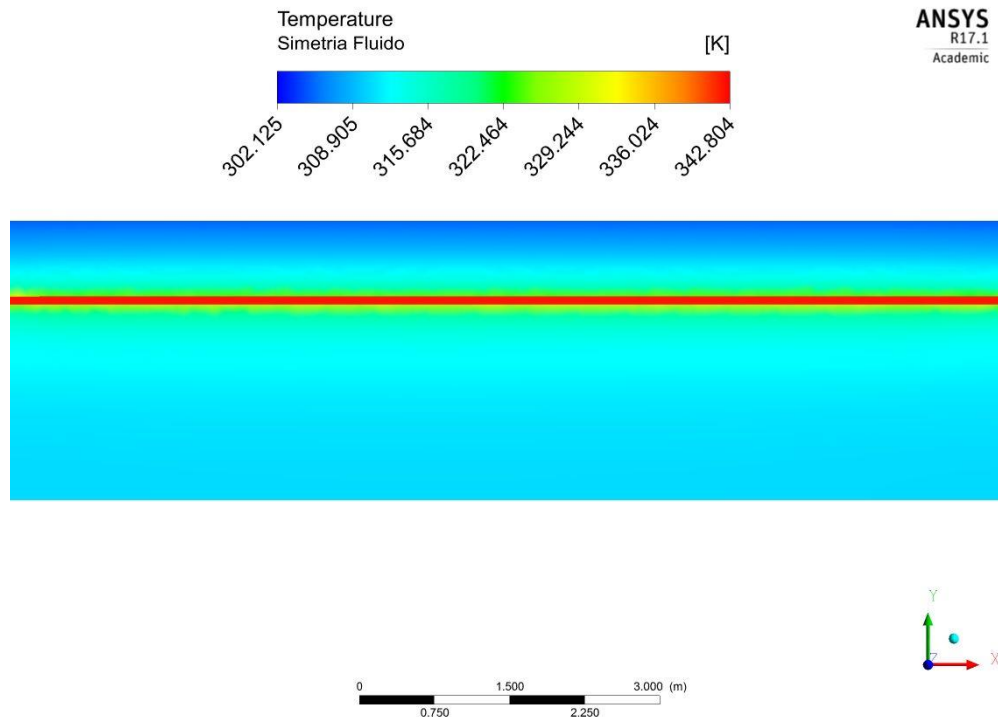


Figura 8. Variação da temperatura da tubulação de aço carbono.

Vale ressaltar que não foi realizado o perfil de temperatura ao longo de toda tubulação devido ao alto custo computacional e tempo para realização da simulação, vez que o escoamento se torna completamente desenvolvido com 3,0m e 2,0m nas tubulações de aço carbono e fibra de vidro, respectivamente.

Como o escoamento se torna completamente desenvolvido a partir de 3,0 m para tubulação de aço carbono e 2,0 m para fibra de vidro, foi realizado a variação média de temperatura por metro linear da tubulação, assim obtendo uma temperatura final para tubulação de aço carbono de 57,1°C, já no caso da fibra de vidro, a temperatura final foi de 59,5°C, desse modo a variação entre os materiais utilizados na linha de produção foi de 4,1%. O comportamento da temperatura ao longo de toda tubulação de aço carbono e de fibra de vidro até uma distância de 1210m pode ser observado na Fig. 9.

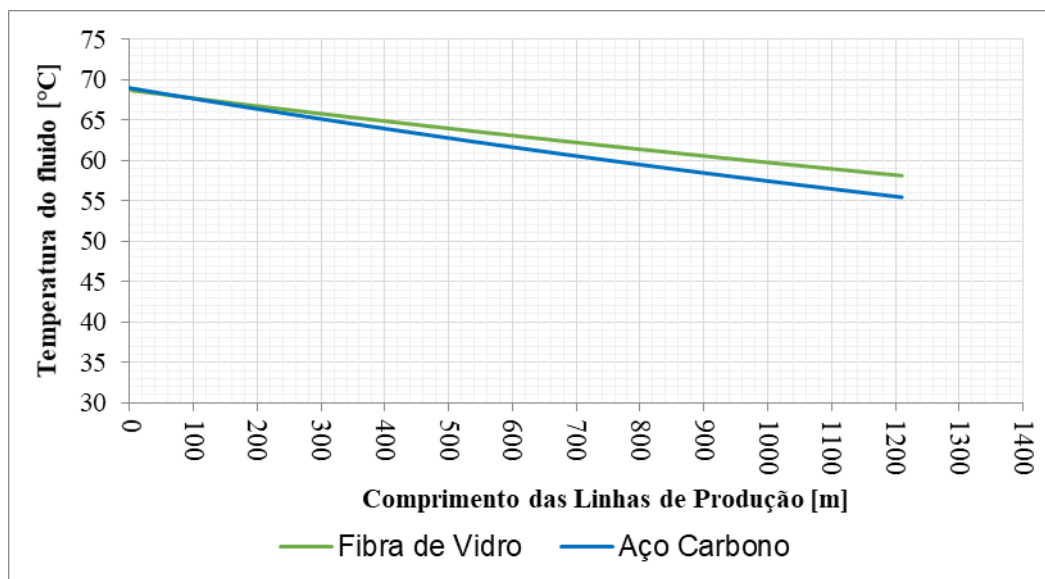


Figura 9. Comportamento da temperatura ao longo das tubulações.

Durante a coleta em campo, foi realizado a medição da temperatura do petróleo ao final do escoamento na estação de processamento primário, sendo que a temperatura registrada foi de 53,5°C.

Considerando que o petróleo em estudo tivesse uma temperatura inicial de aparecimento de cristais (TIAC) de 50° C, em nenhum dos dois casos ocorreria a parafinação, no entanto o início da parafinação se daria mais rapidamente na tubulação de aço carbono quando comparada com a fibra de vidro, sendo que no caso do aço carbono isso se daria no comprimento de 1860 m, já na fibra de vidro essa distância seria de 2440 m.

Para distâncias entre 1860 m e 2440 m a substituição do material se mostra significativa, vez que nesse intervalo de comprimento pode ocorrer a parafinação, caso a linha de aço carbono seja utilizada, no entanto para distâncias superiores a 2440 m, a substituição do material não será significativa, pois a partir deste comprimento ocorrerá a parafinação para ambos os materiais.

4. CONCLUSÃO

A substituição das linhas de produção de aço carbono por fibra de vidro tem se mostrado um fator decisivo na competitividade do mercado atual, vez que reduziu a variação de temperatura do petróleo durante seu escoamento, assim minimizando a parafinação durante o escoamento e consequentemente reduzindo os custos operacionais com paradas de produção e desparafinação das linhas de produção.

No caso específico da produção de petróleo em campos maduros, onde a produção de água associada ao petróleo pode ser superior a 99%, qualquer inovação tecnológica que reduza os custos operacionais se faz importante no intuito de garantir uma melhor gestão operacional desses campos, proporcionando uma eficiência competitiva das empresas detentoras do campo petrolífero diante da crise que a indústria petrolífera está sofrendo nos últimos anos.

Com a realização deste trabalho foi possível observar que a substituição das linhas de produção de aço carbono por fibra de vidro, além de eliminar o problema da corrosão, se mostrou uma tecnologia inovadora na gestão logística do petróleo na bacia do recôncavo baiano.

De acordo com os resultados pode-se concluir que a utilização da modelagem computacional no processo produtivo da cadeia petrolífera foi uma solução rápida e confiável no estudo de viabilidade técnica para as empresas detentoras de campos petrolíferos, facilitando as tomadas de decisão na substituição das linhas de produção de aço carbono por fibra de vidro, além de garantir uma melhor gestão operacional da produção de petróleo por meio do modal dutoviário, no entanto vale ressaltar que cada poço de petróleo é um caso diferente, vez que pode apresentar características químicas diferentes, bem como propriedades físicas distintas durante o escoamento.

5. AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao IFMA, campus Pedreiras, por disponibilizar tempo e apoio financeiro para apresentação do referido trabalho, bem como a Carboflex pela realização das análises do petróleo coletado e ao SENAI CIMATEC pelo suporte do laboratório de Energia para desenvolvimento das simulações computacionais para conclusão deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Alves, S. L. da C., 2017, “Estudo comparativo do escoamento de petróleo em linhas de produção fabricadas em aço carbono e fibra de vidro. pp.102. Dissertação (Mestrado em Gestão e Tecnologia Industrial) – Centro Universitário SENAI CIMATEC.
- Alves, S. L. da C., Rocha, L. R. B. da., Tofaneli, L. A., Oliveira, T. D., 2016, “Influência da temperatura no escoamento de petróleo em linhas de produção de fibra de vidro no campo petrolífero da cidade de Araçás – BA”. II Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Natal – RN, Brasil.
- Dias, J. L. de M. and Quaglino, M. A., 1993, “A Questão do Petróleo no Brasil – Uma História da Petrobras”. Ed. Fundação Getúlio Vargas/Petrobras, Rio de Janeiro, Brazil, 211p.
- Machado, J. C. V., 2002, “Reologia e Escoamento de Fluidos – Ênfase na Indústria do Petróleo”, Ed. Interciência, Rio de Janeiro, Brazil, 257p.
- Menter, F. R., 1994, “Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications”. *American Institute of Aeronautics and Astronautics journal*, v. 32, n. 8, p. 1598 – 1605.
- Morais, J. M. de., 2013, “Petróleo em águas profundas: uma história tecnológica da Petrobras na exploração e produção offshore. Ed. Petrobras/IPEA, Brasília, Brazil, 424p.
- Thomas, J. E., 2004, “Fundamentos da Engenharia do Petróleo”, Ed. Interciência, Rio de Janeiro, Brazil, 271p.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

TEMPERATURE BEHAVIOR DURING OIL DRAINING IN PRODUCTION LINES USING CFD

Sandro Luís da Costa Alves, sandro.alves@ifma.edu.br¹

Luzia Aparecida Tofaneli, luzia.tofaneli@fieb.org.br¹
Turan Dias Oliveira, turan.oliveira@fieb.org.br²
Juliana de Oliveira Cordeiro, eng.julianacordeiro@gmail.com²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – Campus Pedreiras, Rodovia MA 381, Km 0, s/n, Diogo, Pedreiras – MA, CEP 65725-000, <https://pedreiras.ifma.edu.br/>

²Centro Universitário SENAI CIMATEC, Avenida Orlando Gomes, 1845 – Piatã, Salvador- BA, CEP: 41.650-010, www.fieb.org.br/senai

Abstract. Throughout human history, oil has become the most widely used mineral resource. However, the exploitation of the oil has the aggravation of the paraffin during its flow in the production lines, thus contributing to a lower production and compulsory stops for the dewaxing of the production lines until the arrival at the primary processing station. The objective of this work is to verify the behavior of the oil temperature during its flow in a production line made from carbon steel and to compare it with the fiberglass production line of an oil well located in the city of Catu - BA. An oil well equipped with a carbon steel production line was identified and characterized in the Água Grande oil field, followed by numerical simulations of the oil flow using CFD (Computational Fluid Dynamics) through ANSYS CFX® software to determine the temperature of the oil during its flow. The results of the simulations showed that the variation of the oil temperature in the fiberglass tubing was lower than in the carbon steel pipe. In this way, it can be concluded that the replacement of the production line of carbon steel by fiberglass in oil wells, besides avoiding the corrosion of the pipes, can guarantee a lower temperature variation along the flow and consequently avoiding the paraffin.

Keywords: Oil, Production Line, Temperature, CDF