

TRANSPORTE NÃO-ISOTÉRMICO DE PETRÓLEO EM DUTOS FLEXÍVEIS SUBMERSOS

Marcelo Antonio de Figueiredo Benevides Irineu

UFCG/CCT/DEM/ Bolsista Mestrado ANP (PRH-25)

Vinícius de Souza Melo

UFCG/CCT/DEM/REDE COOPERATIVA DE MODELAGEM COMPUTACIONAL

Janailson Delfino de Sousa

UFCG/CCT/DEM/ Bolsista ANP (PRH-25)

Maitozambuh Araújo Cadé

UFCG/CCT/DEM/ Bolsista ANP (PRH-25)

Antonio Gilson Barbosa de Lima

UFCG/CCT/DEM/ Av: Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Caixa Postal 10069, CEP 58109-970, Campina Grande-PB, Tel/fax: (83) 310 1317 e-mail: gilson@dem.ufcg.edu.br;

Resumo. *Escoamento monofásico de fluido em tubos irregulares tem sido usado em várias aplicações industriais tais como transporte de petróleo, refrigeração ambiental, irrigação, entre outros. Neste sentido, este trabalho estuda o escoamento de petróleo em dutos flexíveis submersos incluindo transferência de calor. As equações governantes escritas no sistema de coordenadas generalizadas são resolvidas pelo método dos volumes finitos usando um arranjo de variáveis colocalizada, o esquema UDS como função de interpolação dos termos convectivos, e o método SIMPLEC para o acoplamento pressão-velocidade. Todas as simulações foram realizadas usando o código computacional CFX-3D. Resultados numéricos das distribuições de velocidade, pressão e temperatura ao longo do duto são apresentados, comparados com soluções analíticas e analisados. Os campos de pressão, velocidade e temperatura obtidos, representam com boa exatidão o escoamento do óleo no interior do duto. A partir do perfil de temperatura fez uma avaliação das zonas de precipitação de parafina ao longo da tubulação. O estudo da distribuição de velocidade, pressão e temperatura do óleo, no interior do duto, permitirão aumentar a confiabilidade operacional e a vida útil da malha de dutos, prevendo a existência de vazamentos, obstrução do fluxo de óleo e minimizando os custos operacionais.*

Palavra-chave: *fluido monofásico, petróleo, volumes finitos, dutos irregulares, parafina*

1. INTRODUÇÃO

O petróleo, de origem natural, não renovável e de ocorrência limitada, movimenta bilhões de dólares diariamente em uma atividade industrial gigantesca, empregando milhares de trabalhadores, técnicos e pesquisadores. Consideráveis recursos são alocados para o seu desenvolvimento e pesquisa, fazendo surgir, a cada dia, tecnologias e equipamentos mais sofisticados para a descoberta de novas jazidas, extração, transporte e refino (Thomas, 2001).

Atualmente, no Brasil, 14 % das reservas estão localizadas em terra, 13 % em lâminas d'água de até 400 m, 34 % em lâminas d'água de 400 m e 1000 m e 39 % em lâminas d'água acima de 1000

m. Isto é, a maior parte da reserva brasileira é constituída de óleo pesado em águas profundas, gerando dificuldades técnicas à exploração desses recursos.

Então, a produção de petróleo em águas profundas enfrenta uma série de problemas, os quais crescem à medida que aumenta a lâmina d'água sobre o poço em exploração. Um dos fenômenos que complica este processo é a obstrução gradual que ocorre na linha de produção, ocasionada pela deposição de parafinas nas paredes do duto. Inicialmente solubilizada no óleo, a parafina precipita da solução à medida que caem a pressão e a temperatura ao longo do escoamento. O surgimento dos primeiros cristais de parafina é, pois função destas variáveis e conhecido como ponto de névoa ou TIAC (Temperatura Inicial de Aparecimento de Cristais), como mencionado anteriormente. Toda vez que o petróleo em escoamento tem sua temperatura resfriada abaixo deste ponto, a parafina sai da solução e o processo de entupimento é desencadeado (Misra et al., 1995; Braga et al., 1996; Wu et al., 2002; Azevedo e Teixeira, 2002).

O petróleo escoar do reservatório entrando nas linhas de produção a uma temperatura de aproximadamente de 60 °C, dependendo das características do reservatório. Estas linhas transportam o petróleo para as plataformas e das plataformas para as instalações em terra. Em águas profundas, a temperatura da água do mar é da ordem de 5 °C. A solubilidade da parafina no óleo é uma função crescente da temperatura. À medida que o óleo escoar, perde calor para a água do mar. Se um certo nível crítico de temperatura é atingido, a parafina precipita podendo depositar-se nas paredes internas do duto. O acúmulo do material depositado pode acarretar em aumento da potência de bombeamento requerida, diminuição da vazão, ou mesmo o bloqueio completo da linha, com perda de produção e investimentos (McClaflin e Whitfill, 1984).

Visando dar uma contribuição na área de escoamento de fluidos petrolíferos (petróleo), o presente trabalho tem como objetivos: modelar matematicamente o escoamento não-isotérmico de petróleo em um duto (linha flexível) irregular; simular a distribuição de velocidade, pressão e temperatura do fluido ao longo de uma linha de produção submarina para águas profundas, usando o software CFX® 3D; prever as zonas de deposição de parafinas ao longo do escoamento no duto durante a produção offshore.

2. MODELAGEM MATEMÁTICA

A modelagem matemática para descrever o escoamento de um fluido monofásico no interior de dutos irregulares é constituída pelas seguintes equações de conservação (CFX-User Manual, 1997):

❖ Equação da continuidade:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{U}) = 0 \quad (1)$$

onde $\vec{U} = (u, v, w)$ são as componentes da velocidade do fluido.

❖ Equação da quantidade de movimento:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{U}) + \nabla \cdot (\rho \vec{U} \otimes \vec{U}) = B + \nabla \cdot \sigma \quad (2)$$

onde B representa as forças de campo e σ representa as tensões de cisalhamento, dada por:

$$\sigma = -p\delta + \left(\zeta - \frac{2}{3}\mu\right)\nabla \cdot (\vec{U}\delta) + \mu(\nabla \vec{U} + (\nabla \vec{U})^T) \quad (3)$$

com μ representando a viscosidade absoluta do fluido e ζ a viscosidade dinâmica.

❖ Equação da energia:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho H) + \nabla \cdot (\rho \vec{U} H) - \nabla \cdot (k \nabla T) = \frac{\partial P}{\partial t} \quad (4)$$

sendo T a temperatura do fluido e k a condutividade térmica do mesmo, onde H é a entalpia total, dada em termos da entalpia estática h por:

$$H = h + \frac{1}{2}U^2 \quad (5)$$

Para resolver estas equações são necessárias relações complementares ou relações constitutivas de acordo com a termodinâmica, de forma que se obtém uma equação de estado relacionando a densidade do fluido com a pressão e a temperatura, como segue:

$$\rho = \rho(T, P) \quad (6)$$

e uma relação constitutiva, relacionando a entalpia estática com a temperatura e pressão do fluido, de tal forma que:

$$h = h(T, P) \quad (7)$$

Visando simplificar o modelo e a solução das equações governantes, as seguintes considerações foram assumidas: escoamento laminar; tridimensional; incompressível; não-isotérmico; regime permanente; propriedades termo-físicas constantes; sem existência de força de corpo.

As seguintes condições de contorno foram usadas:

- ❖ $u = v = 0$ e $w = w_0$ em $z = 0$ para $\forall (x, y)$;
- ❖ $u = v = 0$ para $\forall (x, y) / x^2 + y^2 = R^2$;
- ❖ $T = T_0$ em $z = 0$ para $\forall (x, y)$;
- ❖ $T = T_0$ para $\forall (x, y) / x^2 + y^2 = R^2$.

Vale ressaltar que, o escoamento real em linhas de transporte de petróleo é multifásico, pulsante e podendo, em trechos da tubulação, ser laminar ou turbulento. Tais efeitos interferem na transferência de calor do fluido escoando internamente para a parede do duto.

3. SOLUÇÃO NUMÉRICA

Para geração da malha numérica e solução numérica das equações governantes utilizou-se o software CFX[®] 3D versão 4.4. Este software é um simulador comercial para resolução numérica de problemas envolvendo mecânica dos fluidos e transferência de calor. Ele emprega a metodologia de volumes finitos (Patankar, 1980; Versteeg e Malalasekera, 1995; Maliska, 1995; Fortuna, 2000) utilizando malhas estruturadas, porém com flexibilidade de adaptação a geometrias complexas através do uso de coordenadas curvilíneas generalizadas (Thompson et al., 1985; Fletcher, 1991; Warsi, 1992; Maliska, 1995; e Ferziger e Péric, 2002) e a possibilidade de resolução com a metodologia de multidomínios.

Para a obtenção da solução do problema, utilizou-se o esquema UDS de interpolação para os termos convectivos e método SIMPLEC para o acoplamento pressão-velocidade. A Tab. (1) apresenta os dados usados na simulação.

Um critério de convergência de 10^{-8} kg/s foi usado para a massa. A velocidade do fluido na entrada do duto foi de 0,065 m/s. A temperatura da água foi suposta constante e igual a 7°C (280 K) em toda a extensão do duto, independentemente da profundidade. Isto é uma hipótese razoável tendo em vista a pequena altura do duto em relação ao fundo do mar (aproximadamente 40 m). A temperatura do fluido na entrada do duto foi de 320K.

Tabela 1. Propriedades termofísicas do petróleo usadas na simulação.

Propriedade	Valor	Fonte
ρ	970 kg/m ³	Incropera e DeWitt (2002)
μ	0,5 N.s/m ²	-----
c_p	1800 J/kg.K	Incropera e DeWitt (2002)
k	0,147 W/m.K	Incropera e DeWitt (2002)

A Figura (1) ilustra uma vista em perspectiva do duto usado nas simulações. Ele é composto de um trecho reto de 10 m, uma senóide com comprimento de 10 m (projeção no eixo y) e amplitude de 1 m e na sequência uma catenária com projeção no eixo x de 20 m e no eixo y de 32 m, com comprimento aproximado de 40 m. O duto tem um comprimento de aproximadamente 70 m e diâmetro de 0,15 m. O formato da extensão do duto foi admitido arbitrariamente sem qualquer critério de escolha, apenas tentando se aproximar da realidade.

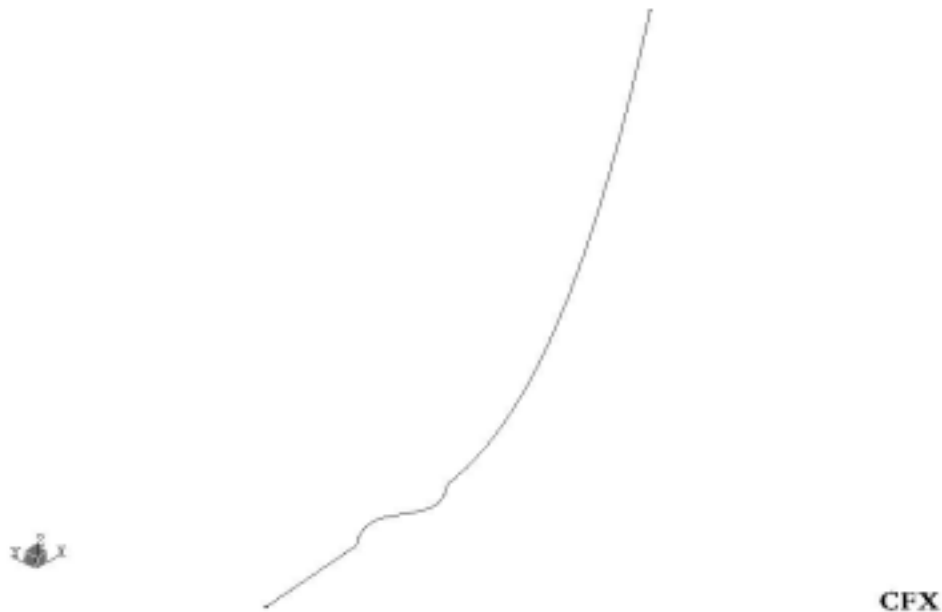


Figura 1. Vista em perspectiva do duto usado nesta pesquisa.

Para validar a solução numérica, os resultados numéricos de velocidade e temperatura foram comparados com os resultados analíticos reportados na literatura. Na região completamente desenvolvida o perfil de velocidades é dado por literatura (Kakaç et al., 1987; White, 1991):

$$\frac{w}{w_m} = 2 \left[1 - \left(\frac{y}{r_o} \right)^2 \right] \quad (8)$$

onde $w_m = -\frac{1}{8\mu} \left(\frac{dP}{dz} \right) r_o^2$, é a velocidade média na seção.

Na região de entrada para o escoamento laminar, o perfil adimensional de temperatura é dado por:

$$\theta = \frac{T_w - T}{T_w - T_e} = \sum_{n=0}^{\infty} C_n F_n \left(\frac{r}{R} \right) \exp(-2\lambda_n x^*) \quad (9)$$

onde λ_n , $F_n(r/R)$ e C_n são os autovalores, autofunções e constantes, respectivamente. Valores desta grandeza são dados na referência citada para n variando de 0 a 10.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Malha Numérica

Todo o trabalho foi desenvolvido no Laboratório Computacional de Térmica e Fluidos, do Departamento de Engenharia Mecânica, no Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande. A máquina utilizada para a simulação do escoamento foi um Pentium IV de 1.7 Ghz, com 512 MB RAM e HD de 40 Gb. A Figura (2) ilustra detalhes da malha utilizada, que contém 549000 elementos, e 600002 pontos obtidos após vários refinamentos. Maiores detalhes sobre a obtenção da malha numérica podem ser encontrados em Irineu (2003).

4.2. Validação

Para validar a solução numérica, resultados da velocidade axial e temperatura para qualquer y e z em $x=0$ são comparadas com os resultados analíticos dado pela Eq. (8) e (9) respectivamente. As Figuras 3 e 4 ilustram esta comparação entre os resultados analítico e numérico para a velocidade e temperatura respectivamente. Verifica-se que um excelente ajuste foi obtido, em ambos os casos.

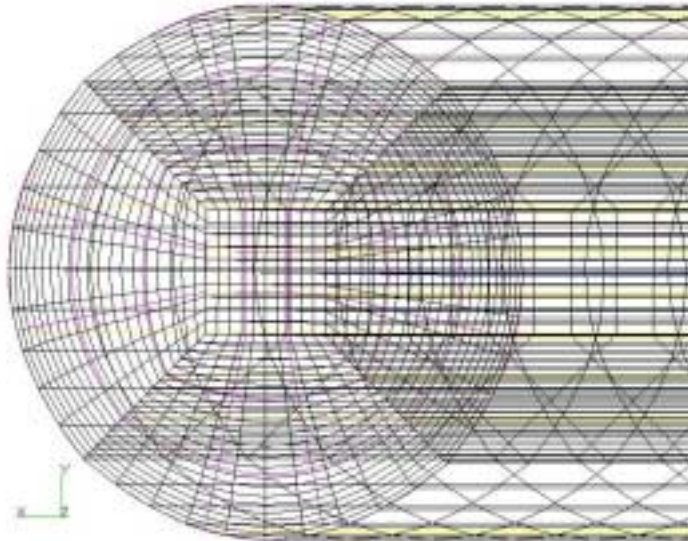


Figura 2. Vista frontal de uma parte da malha numérica.

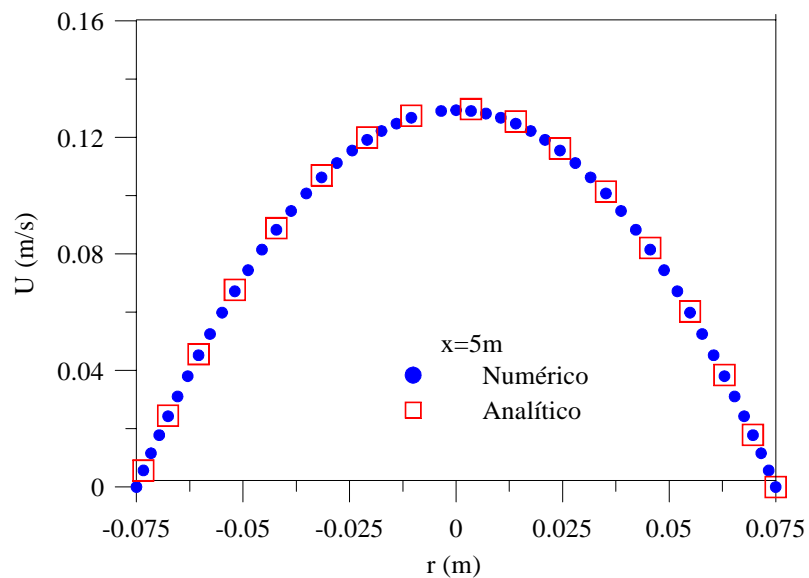


Figura 3. Comparação entre as velocidades axial do fluido no duto em $x = 5$ m, obtidas analiticamente e neste trabalho.

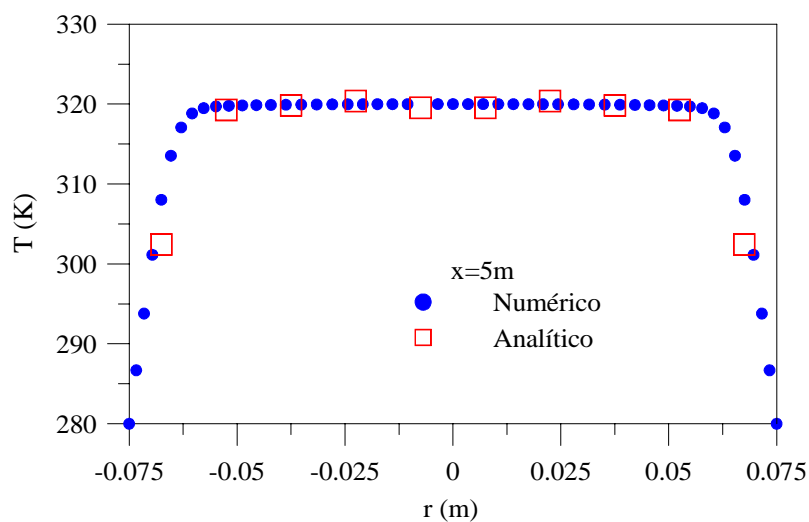


Figura 4. Comparação entre as temperaturas do fluido em $x = 5$ m, obtidas analiticamente e neste trabalho.

4.3 - Resultados Numéricos

Na simulação realizada foi utilizado um tempo de CPU de $8,755 \cdot 10^4$ s, sendo realizadas 5276 iterações, com um fluxo de massa de 1,097 kg/s e um fluxo de calor total convectivo atravessando todas as paredes de aproximadamente $1,103 \cdot 10^4$ J/s.

A Figura (5) descreve o campo de pressão ao longo do duto. Verifica-se que existe um decréscimo da pressão ao longo do escoamento, com uma pressão máxima na entrada do duto e mínima no final, conforme esperado. Os maiores gradientes de pressão estão próximos à entrada do duto decrescendo gradativamente ao longo do mesmo. Um $\Delta P = 2898,403$ Pa foi necessário para deslocar o óleo em todo o trecho do duto, sem considerar os efeitos da gravidade. Levando-se em consideração este efeito deve-se adicionar a este valor, ΔP equivalente ao peso da coluna de líquido (hidrostática) para uma altura ≈ 32 m (catenária). Considerando todo o duto como sendo reto e escoamento completamente desenvolvido, a perda de carga é de $\Delta P = 3235,55$ Pa. Isto corresponde uma diferença de 337,15 Pa que deve ser atribuída a uma modelagem mais completa usada neste trabalho.

A Figura (6) ilustra o campo de velocidade na direção axial ao escoamento. Pode-se observar que a velocidade é zero na parede e vai aumentando em direção ao centro do duto, onde atinge seu valor máximo. Verifica-se também a formação da camada limite e a região de entrada hidrodinâmica. A entrada do duto é na borda esquerda da figura. Verifica-se que à medida que o fluido escoar, a velocidade no centro do duto vai aumentando (para manter o mesmo fluxo de massa na entrada) até atingir a região completamente desenvolvida, onde a velocidade é máxima em z, e zero em x e y.

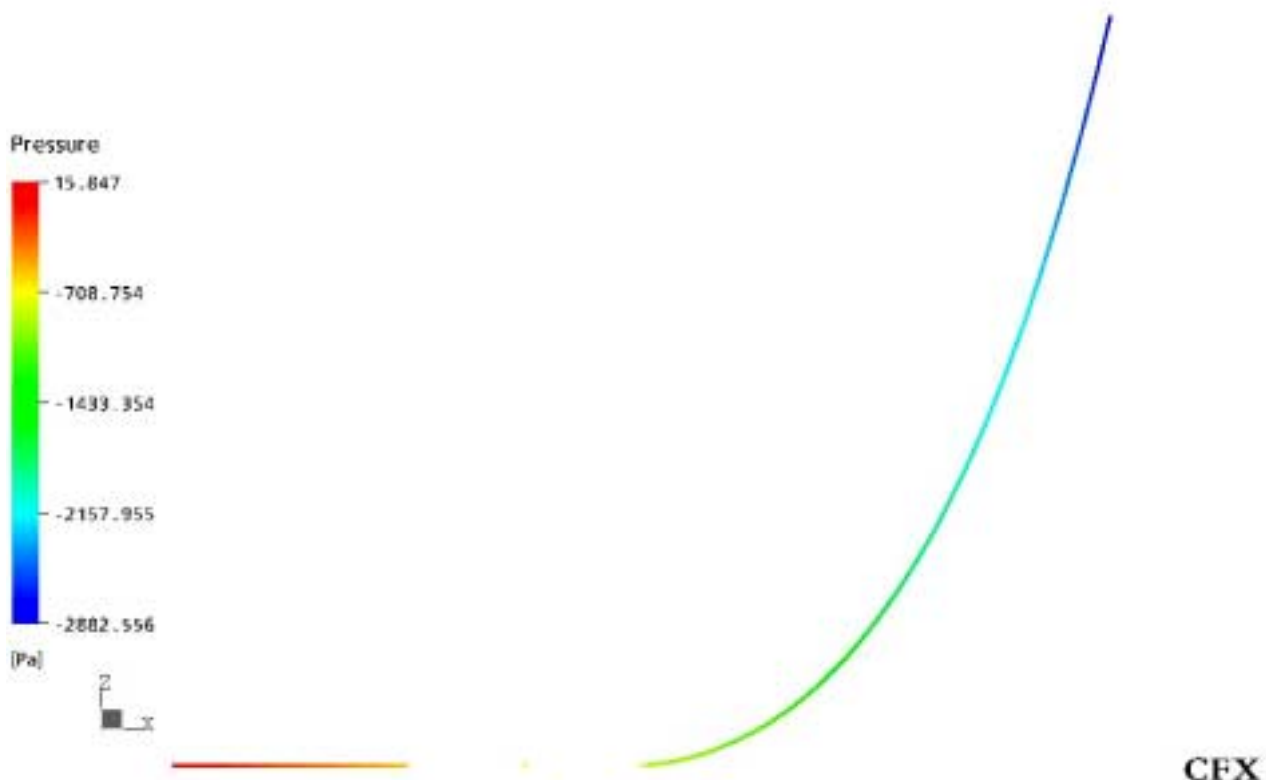


Figura 5 - Distribuição de pressão do óleo ao longo do duto na direção axial.

A Figura (7) descreve a distribuição de temperatura do fluido (óleo) no duto. Verifica-se que a temperatura é de 280 K na parede e eleva-se em direção ao centro do duto, onde atinge seu valor máximo. Evidentemente, devido a transferência de calor para a parede do duto, o fluido vai se resfriando ao longo do escoamento, formando uma camada limite térmica (Kakaç et al., 1987).

Comparando-se as Figs. (6) e (7) observa-se uma pequena região de entrada hidrodinâmica, implicando que praticamente todo o escoamento se dá o perfil de velocidade completamente

desenvolvido. Isto está em concordância com os resultados calculados de $z_{ed,h} = 0,142$ m e $z_{ed,t} = 868,54$ m (Incropera e DeWitt, 2002). Neste escoamento, os números de Reynolds e Prandtl foram de 18,91 (escoamento laminar) e 6122,49, respectivamente.

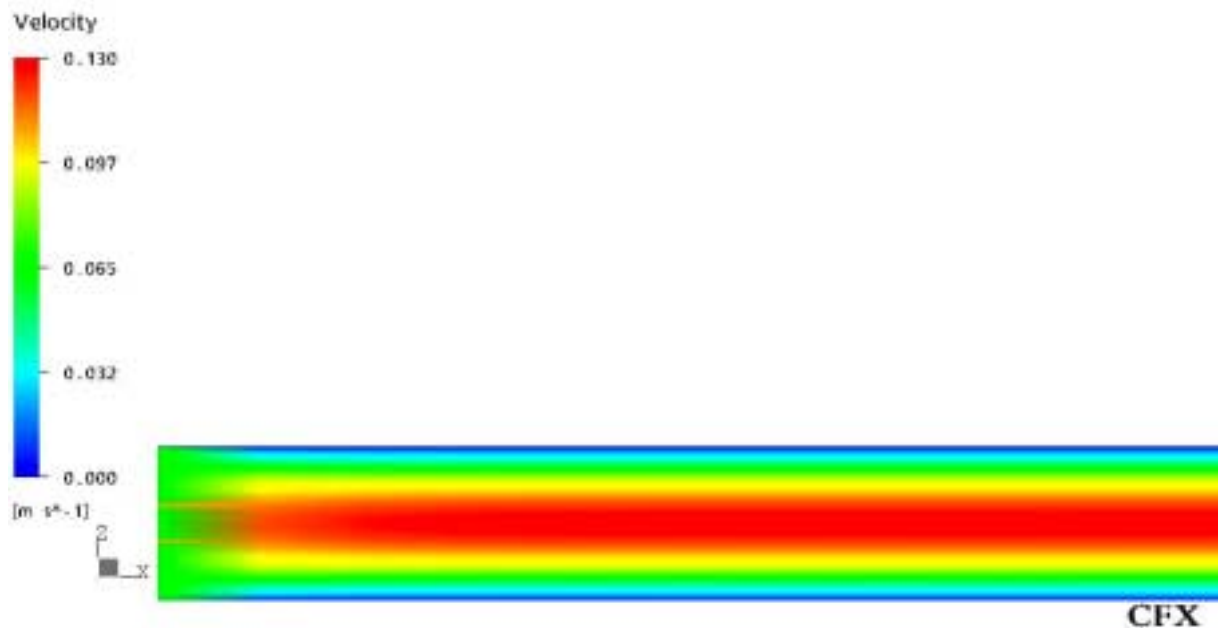


Figura 6 . Distribuição da velocidade do óleo numa região próxima a entrada do duto.



Figura 7. Distribuição de temperatura do óleo numa região próxima a entrada do duto.

A Figura (8) ilustra a distribuição de pressão na região curva do duto (senóide no plano yx). Verifica-se que na região curva, ocorre a existência de escoamentos secundários (produzido por forças centrífugas) constituído por uma par de turbilhões longitudinais, que aumentam a transferência de calor. Esta transferência de calor é realçada sem que se induza turbulência ou se ofereça área adicional para transferência de calor (Incropera e DeWitt, 2002). Este escoamento secundário é devido ao fato de que as partículas próximas ao centro do tubo possuem uma alta velocidade e ao serem acionadas por uma alta força centrífuga às direcionam para a parede. O escoamento secundário resultante está direcionado do centro para a parede e da parede para o

centro, tipo recirculação, simétrica em relação ao eixo do duto. Além disso, a curvatura tem efeitos fortes na perda de carga em escoamentos laminares (Burmeister, 1983). No entanto, estes fenômenos não foram notados com grande intensidade devido à baixa velocidade do óleo escoando no duto.



Figura 8. Distribuição de pressão do óleo na região curva do duto (senóide).

As Figuras (9) e (10) ilustram a distribuição de velocidade e temperatura locais num plano transversal na saída do duto. Pode-se observar que a velocidade é zero na parede e vai aumentando em direção ao centro do duto até atingir a velocidade máxima no seu centro, tal qual nas proximidades de entrada do duto. A pressão por sua vez praticamente não varia com x e y (como esperado).

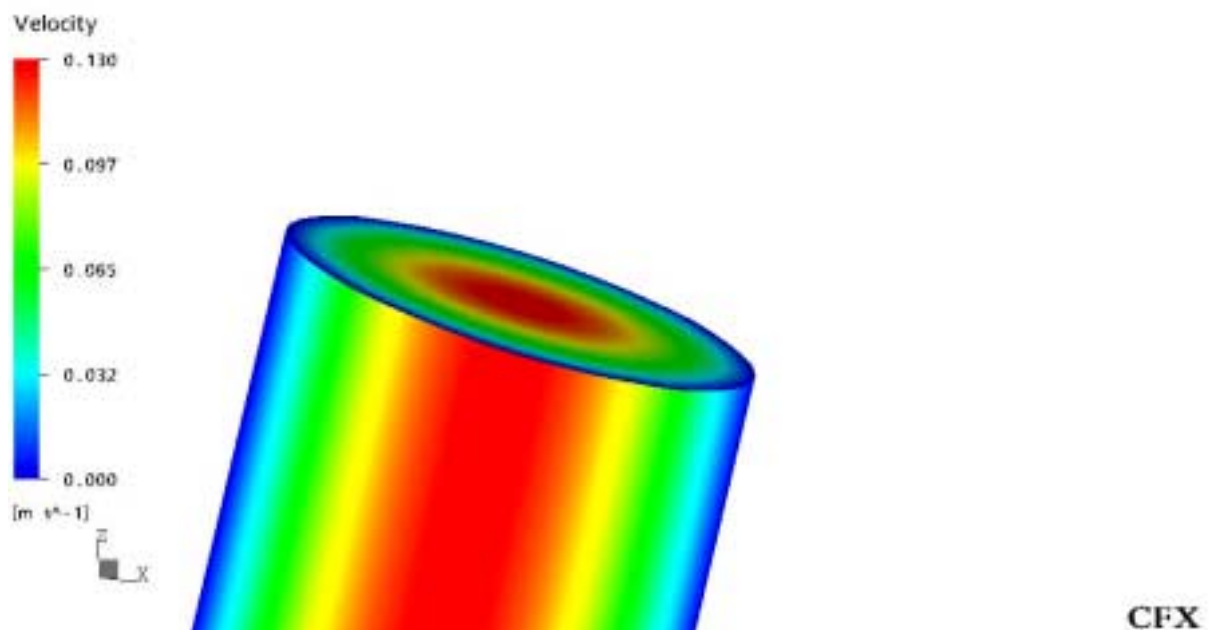


Figura 9. Distribuição da velocidade do óleo na região próxima a saída do duto.

Para a temperatura, observa-se claramente o efeito de curvatura do duto, que proporciona um perfil de temperatura assimétrico em relação ao centro do duto. Vale salientar aqui, que neste plano,

o escoamento ainda está muito longe de ser completamente desenvolvido termicamente. No entanto, a isoterma representada nos possibilita ter uma visão da região do duto onde ocorrerá a deposição de parafinas.

De forma geral, pode-se dizer que ocorre deposição de parafinas desde a entrada do duto, persistindo este processo até a saída do mesmo. A extensão da região de precipitação de parafina na saída do duto é cerca de 20 % da área de secção, para uma distância de aproximadamente 70 m de comprimento do duto, considerando a TIAC aproximadamente 25 °C, devido à condição de contorno estabelecida.

Vale salientar que ao ocorrer a deposição de parafina, na prática, a área de escoamento já não é a mesma da seção de entrada do duto. Isto proporciona um aumento da perda de carga e aumento da velocidade de escoamento na região central do duto. Isto por sua vez, aumenta a taxa de transferência de calor por convecção, conseqüentemente modificando ainda mais a distribuição de temperatura do fluido, que ocasiona uma maior deposição de parafina, culminando com uma possível obstrução do duto.

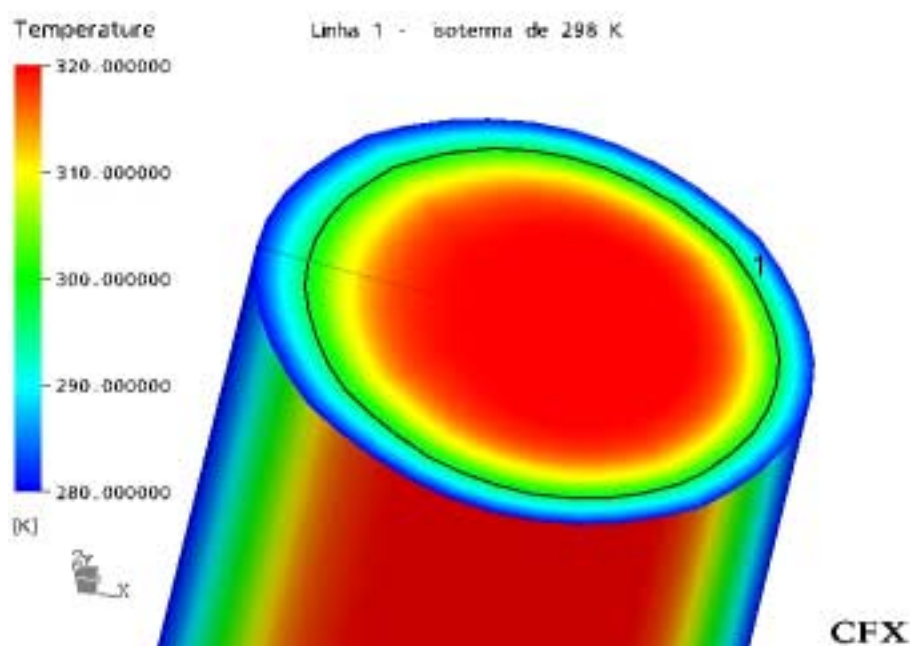


Figura 10. Distribuição da temperatura do óleo na região próxima a saída do duto.

Em suma, pelo exposto, pode-se dizer que os fatores que influenciam o efeito de deposição de parafinas são os efeitos elétricos, térmicos e características da molhabilidade do duto, regime de escoamento, temperatura, pressão, propriedades do óleo, etc.

Finalmente, o modelo adotado neste trabalho não considera nenhuma destas possibilidades e nem tão pouco a quantidade de parafina depositada. Este encargo deverá ser dado a futuras pesquisas vinculadas ao setor competente, particularmente voltada para discussões puramente químicas envolvidas no processo.

5. CONCLUSÕES

Considerando os resultados obtidos, pode-se concluir de maneira geral que:

- ✓ O software CFX® 4.4 mostrou-se eficiente para descrever o escoamento de petróleo incluindo os efeitos da transferência de calor, tendo em vista a boa concordância entre os resultados numérico e analítico dos perfis de velocidade e temperatura numa seção do duto.
- ✓ Um valor de $\Delta P = 2898,403$ Pa foi necessário para deslocar um fluxo de marca de 1,047 kg/s, sem considerar os efeitos gravitacionais do fluido para uma altura de coluna de líquido de aproximadamente 32 m (catenária).

- ✓ O fluxo de calor total convectivo atravessando a parede do duto foi de aproximadamente $1,103 \times 10^4$ J/s.
- ✓ A região curva do duto não alterou significativamente o perfil da velocidade devido à baixa velocidade do fluido na entrada (0,065 m/s), no entanto afetou levemente o perfil de temperatura, cujo efeito de assimetria na temperatura, se propagou por todo escoamento a jusante.
- ✓ Todo o escoamento do fluido se dá praticamente na região completamente desenvolvida, com perfil da velocidade constante e parabólico. Devido à natureza do fluido escoante (petróleo), a região de entrada hidrodinâmica é muito pequena ($z_{cd,h} = 0,412$ m) em comparação região de entrada térmica ($z_{cd,t} = 868,54$ m).
- ✓ A deposição de parafina ocorre desde a entrada do duto até uma saída, onde atinge uma área de 20% da área total nesta seção transversal, para uma distância de aproximadamente 70 m de duto e uma TIAC de aproximadamente 25°C.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES, ao CNPq, a ANP/UFCG-PRH-25, a FINEP e o CT-PETRO, pelo apoio financeiro concedido e aos pesquisadores referenciados que com suas pesquisas, ajudaram no melhoramento deste trabalho.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azevedo, L. F. A., Teixeira, A. M., 2002, “Deposição de Parafinas em Dutos Submarinos de Petróleo”, Anais do II Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM; João Pessoa; Paraíba; Brasil.
- Braga, C. V. M., Braga, S. L., Kircher, D., Coelho, E. J., 1996, “Simulação do Comportamento Térmico de Petróleo em Linhas Submarinas sendo Aquecido por Absorção de Rádio-Frequência”, Proceedings of VI ENCIT \ VI LATCYM; Florianópolis; Brazil.
- Burmeister, L. C., 1983, “Convective Heat Transfer”; John Wiley & Sons; New York; 1983; 790 p.
- CFX 4.4, “Solver manual”, 1997, CFX International, AEA Technology, UK.
- Ferziger, J. H., Péric, M., 2002, “Computational Methods for Fluid Dynamics”, Third Edition, Ed. Springer, Berlin, 423 p.
- Fletcher, C. A. J., 1997, “Computational Techniques for Fluid Dynamics”, Vol. II, Ed. Springer, Berlin, 493 p.
- Fortuna, A. O., 2002, “Técnicas Computacionais para Dinâmica dos Fluidos: Conceitos Básicos e Aplicações”; Ed. Universitária de São Paulo, São Paulo, 426p.
- Incropera, F. P., DeWitt, D. P., 2002, “Fundamentals of Heat And Mass Transfer”, Ed. John Wiley & Sons, New York, 981 p.
- Irineu, M. A. F. B., 2003, “Transporte de petróleo em duto flexível submerso”, Universidade Federal de Campina Grande, Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Campina Grande – PB, Brasil, (Dissertação), 74p.
- Kakaç, S., Shah, R. K., Aung, W., 1987, “Basics Handbook of Single-Phase Convective Heat Transfer”, Ed. John Wiley & Sons, Inc., Canada.
- McClafflin, G. G., Whitfill, D. L., 1984, “Control of Paraffin Deposition in Production Operations”, Journal of Petroleum Engineering; November; pp. 1965-1970.
- Misra, S., Baruah, S.; Singh, K., 1995, “Paraffin Problems in Crude-Oil Production and Transportation - A Review” USMS 28181.
- Maliska, C. R., 1995, “Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional”, Ed. LTC, Rio de Janeiro, 424 p.
- Patankar, S. V., 1980, “Numerical Heat Transfer and Fluid Flow”, Ed. Hemisphere Publishing Corporation, New York.

- Thompson, J. F., Warsi, Z. U.A., Masitn, C. W., 1985, "Numerical Grid Generation", Ed. North-Holland, New York, 483 p.
- Versteeg, H. K.; Malalasekera, W., 1995, "An Introduction To Computational Fluid Dynamics The Finite Volume Method"; England: Pearson education limited; 257p.
- Warsi, Z.U.A., 1992, "Fluid Dynamics: Theoretical And Computation Approaches"; Ed. Boca Raton Ann Arbor; London, 682 p.
- White, F. M., 1991, "Viscous Fluid Flow", Ed. MacGraw-Hill, Inc., New York, 614 p.
- Wu, C. H., Wang, K. S., Shuler, P. J., Tang, Y., Creek, J. L., Carlson, R. M., Cheung, S., 2002, "Measurement of Wax Deposition in Paraffin Solutions", AIChE Journal, Vol. 48, no. 9, 2107-2110 p.

NON-ISOTHERMAL TRANSPORT OF PETROLEUM IN FLEXIBLE PIPE SUBMERGED

Marcelo Antonio de Figueiredo Benevides Irineu

UFCG/CCT/DEM/ Bolsista Mestrado ANP (PRH-25)

Vinícius de Souza Melo

UFCG/CCT/DEM/REDE COOPERATIVA DE MODELAGEM COMPUTACIONAL

Janailson Delfino de Sousa

UFCG/CCT/DEM/ Bolsista ANP (PRH-25)

Maitozambuh Araújo Cadé

UFCG/CCT/DEM/ Bolsista ANP (PRH-25)

Antonio Gilson Barbosa de Lima

UFCG/CCT/DEM/ Av: Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Caixa Postal 10069, CEP 58109-970, Campina Grande-PB, Tel.: (83) 310 1317 e-mail: gilson@dem.ufcg.edu.br;

Abstract. *Monophase fluid flow in irregular pipe has been used in several industrial applications as transport of petroleum, environmental refrigeration, and irrigation, among others. However, many studies consider flow in regular pipe neglecting the diffusion terms in the governing equations. In this sense, this work presents a study of the monophase flow in irregular pipe including heat transfer. The governing equations written in the boundary fitted coordinates system are resolved using the finite volume method using an arrangement of variables co-located, the UDS scheme as interpolation function to the terms convective, and the method SIMPLEC for the junction pressure-velocity. All the simulations were accomplished using the computational code CFX[®] 3D. Numerical results of the velocity, pressure and temperature distribution along of the pipe are presented and analyzed. The pressure, velocity and temperature fields obtained represent with good accuracy the oil flowing inside the pipe. Starting from the temperature profile was carried out an evaluation of the zones of paraffin precipitation along the pipe. The study of the distribution of velocity, pressure and temperature of the oil, inside the pipe will allow to increase the operational reliability and the useful life of the pipe grid, foreseeing the existence of leaks, obstruction of the oil flux and minimizing the operational costs.*

Keywords: *monophase flow, petroleum, finite-volume, irregular pipe, paraffin.*