

# 8º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



## TÍTULO DO TRABALHO:

GRADIENTES DE VELOCIDADE E TEMPERATURA EM TUBULAÇÕES PETROLÍFERAS E OS RISCOS NO PROCESSO PRODUTIVO.

## AUTORES:

K. N. SANTOS<sup>1</sup>, E. M. CABRAL<sup>2</sup>, D. D. PORTO<sup>3</sup>, I. S. OLIVEIRA<sup>4</sup>, J. J. S. NASCIMENTO<sup>5</sup>

## INSTITUIÇÃO:

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

## GRADIENTES DE VELOCIDADE E TEMPERATURA EM TUBULAÇÕES PETROLÍFERAS E OS RISCOS NO PROCESSO PRODUTIVO.

### Abstract

Bifurcations "T" type are widely linked to the disposal process in petroleum systems. Thus, it is of fundamental importance to the study of the occurrence of such bifurcations because of the risk of structural damage caused by temperature fluctuations and speed located at the meeting of the formation of its geometry. It is necessary to establish appropriate boundary conditions to analyze and discuss the gradients of the quantities associated with the process referred to above. For this, computer simulations were made with a mesh of 20.793 elements, and you can get independence with the results. The results of the simulations indicate significant variations of the aforementioned quantities, which can induce a level of stress that exceed the yield strength of the material, causing permanent plastic deformation, and if such values still exceed the material's yield strength, fracture in structure occur. They are analyzed and discussed velocity and temperature distribution profiles.

Keywords: simulation, fracture, flow, Gradient

### 1. INTRODUÇÃO

Uma série de riscos estão relacionados à indústria do petróleo, os quais se relacionam tanto aos produtos químicos oriundos da atividade, quanto aos equipamentos e estruturas pertencentes ao parque industrial petrolífero.

A aplicação e uso de equipamentos, válvulas, estruturas, tubulações, entre outros componentes de relevância na composição estrutural da cadeia exploratória, produtiva e explotatória do petróleo necessita de precauções de maneira a evitar graves problemas e possíveis acidentes durante as atividades industriais.

Estudos vêm sendo realizados sob vários aspectos com a finalidade de reduzir os riscos de danos estruturais em bifurcações tipo "T", AYHAN et al [2012].

Como uma das alternativas mais eficientes e inovadoras para o estudo dos riscos de dano estrutural em bifurcações presentes tanto em plataformas de petróleo como no transporte deste recurso natural, está o uso de simulações computacionais.

A geometria em estudo é largamente utilizada em campos produtores de óleo terrestres e marinhos, nos sistemas de injeção de vapor, nas plantas de processo e separação das plataformas, e nas refinarias. Para que se evite a perda de tempo e dinheiro, é possível utilizar técnicas computacionais para prever os riscos de paradas de produção devido a vazamentos durante o escoamento de fluido, provocado por possíveis trincas e fraturas, Fontes et al.[2005].

Por meio de um software de fluidodinâmica computacional, neste trabalho será estudado o comportamento de óleo analisando diversos parâmetros de simulação. Serão investigados campos de pressão, velocidade e temperatura em pontos nos quais há concentração de energia consideravelmente alta, apresentando maiores riscos de dano estrutural.

Estudos relacionados a análise de escoamento com transferência de calor e massa em conexões tipo "T" são largamente analisados e discutidos, Gritskevich et al.[2014], Selvam et al. [2015], Ayhan et al. [2012].

Evidenciando a importância da base teórica da dinâmica dos fluidos computacional.

As conexões do tipo "T" foram o foco do estudo para este trabalho, Petry [2012].

### 2. METODOLOGIA

As equações de conservação da massa, quantidade de movimento e energia podem ser escritas de forma geral de acordo com Maliska [2004], Petry[2012], Mariano[2008]:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u\phi) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v\phi) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w\phi) = \frac{\partial}{\partial x}\left(\Gamma^\phi \frac{\partial \phi}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\Gamma^\phi \frac{\partial \phi}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\Gamma^\phi \frac{\partial \phi}{\partial z}\right) + s^\phi \quad [1]$$

A equação [1] equivale à equação de conservação da massa, quando  $S^\phi$  for igual a zero e  $\phi = 1$ . As equações de movimento nas três direções coordenadas são obtidas fazendo-se  $\phi$  igual a  $u$ ,  $v$  e  $w$  com o apropriado termo fonte, que neste caso, inclui o gradiente de pressão. A equação da energia é obtida fazendo-se  $\phi = T$ , também com o termo fonte apropriado.  $\Gamma^\phi$  representa o produto da difusividade pela massa específica da propriedade transportada em questão.

Assim,  $\Gamma^\phi = \mu$  e para a equação da energia  $\Gamma^\phi = k/c_p$ , quando o escoamento é laminar, e é igual a  $\mu_{\text{efetivo}}$  e  $(k/c_p)_{\text{efetivo}}$ , quando o escoamento for turbulento, Maliska [2004].

A modelagem da turbulência é realizada por equações que descrevem os termos adicionais gerados na aplicação equações médias de Navier-Stokes. Os termos adicionais, Tensores de Reynolds, foram modelados por duas equações. Os modelos diferenciais de duas equações são amplamente utilizados em aplicações industriais e utilizam duas equações de transporte para a modelagem da turbulência. O modelo de turbulência utilizado foi de duas equações,  $k$ -epsilon, embora este modelo seja generalista, é adequado para a maior parte dos equipamentos industriais. O modelo  $k$ -epsilon, correlaciona os termos de flutuação de velocidade com duas equações de transporte, uma de energia cinética turbulenta,  $k$ , e uma de taxa de dissipação turbulenta,  $\epsilon$ , Maliska[2004].

Para realizar as simulações foi utilizado o software Ansys-CFX. O mesmo é dotado de ferramentas de geração de malha (pré-processamento), solução das equações de conservação discretizadas (solver) e pós-processamento, onde podem ser calculadas linhas de corrente, perfis e animações, Ansys[2009].

## 2.1. Descrição do Problema Físico

A questão física em estudo tem relação com a mistura de fluidos em temperaturas diferentes escoando em duas entradas numa tubulação do tipo “T”, de modo que possa ser avaliado só gradientes de velocidade e temperatura, sendo as entradas em cor laranja e vermelho.

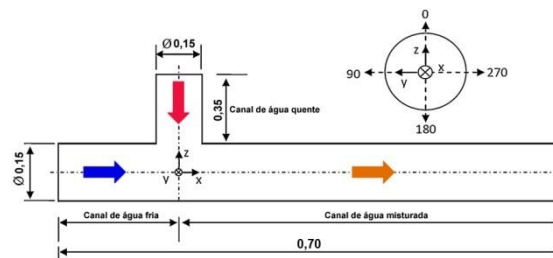


Figura 1: Desenho esquemático do problema físico.

## 2.2. Geração da Malha Numérica

A malha não estruturada e conexão estudada, sendo refinada até a obtenção adequada de uma malha com 20,793 elementos, está ilustrada na Figura 2.

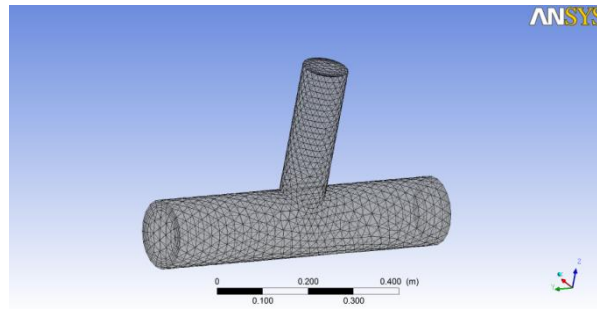


Figura 2: Visão frontal da malha.

### 2.3. Condições Iniciais e de Contorno

Dessa forma, no primeiro estudo de caso, as condições de contorno foram: no inlet<sub>y</sub> (entrada y) uma temperatura de 5°C e no inlet<sub>z</sub> (entrada z) a 100°C. No segundo estudo de caso, entretanto, no inlet<sub>y</sub> a temperatura utilizada foi 10°C e no inlet<sub>z</sub> a 80°C.

Para os valores de velocidade, no primeiro estudo, uma entrada no inlet<sub>y</sub> com velocidade de 3,0 m/s, enquanto no inlet<sub>z</sub> a velocidade foi de 5,0 m/s. Para o segundo estudo uma entrada no inlet<sub>y</sub> com velocidade de 5,0 m/s e no inlet<sub>z</sub> com velocidade 10,0 m/s. As condições de pressão utilizadas em todos os casos foram de 1 atm para os inlets e 0 atm para o outlets.

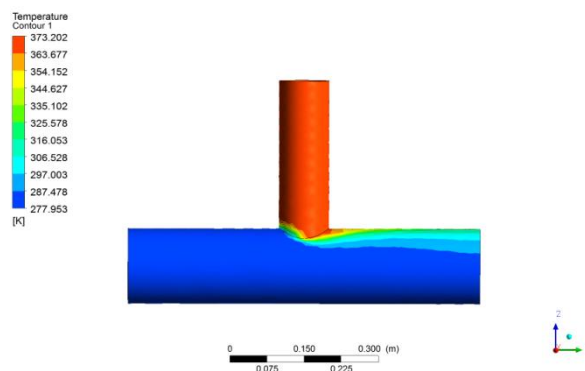
### 2.4. Propriedades dos Fluidos e Parâmetros de Simulação

Os dados do material estudado são os seguintes: Petróleo com densidade de 951 Kg/m<sup>3</sup> e com viscosidade dinâmica de 0,5 N.s/m<sup>2</sup>. Além disso, foi adotado um critério de convergência igual a 10<sup>-8</sup> para o solver.

## 3. RESULTADOS E DISCURSÃO

Estudo do caso 1:

A representação do primeiro estudo de caso realizado pode ser observada na figura a seguir, com petróleo a 5 e 100°C em cada uma das entradas. Sendo mostrados os perfis de temperatura, velocidade.



(a)

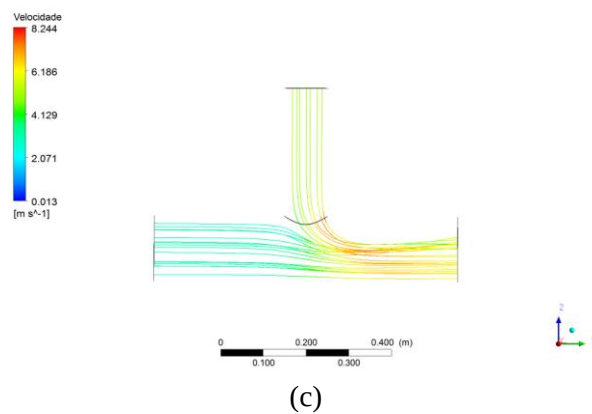
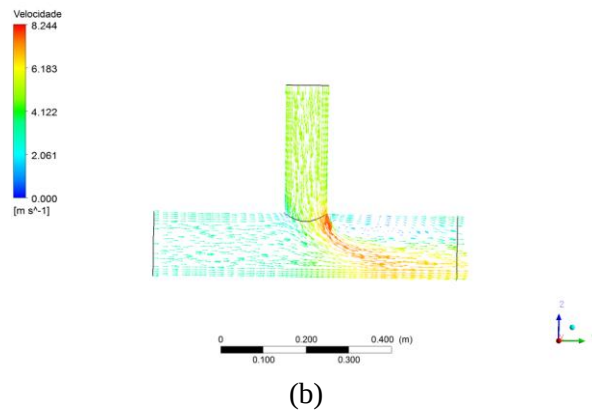
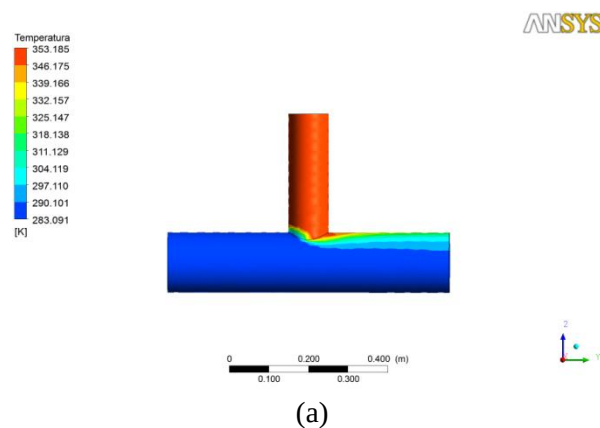


Figura 3: Estudo de caso 1(plano zy) com distribuição da a) Temperatura, b) Vetores velocidade do petróleo, c) Streamlines, linhas de corrente.

Estudo do caso 2:

O segundo estudo de caso está ilustrado na figura 4, com petróleo a 10 e 80°C em cada uma das entradas. Os perfis de temperatura e velocidade são apresentados na mesma.



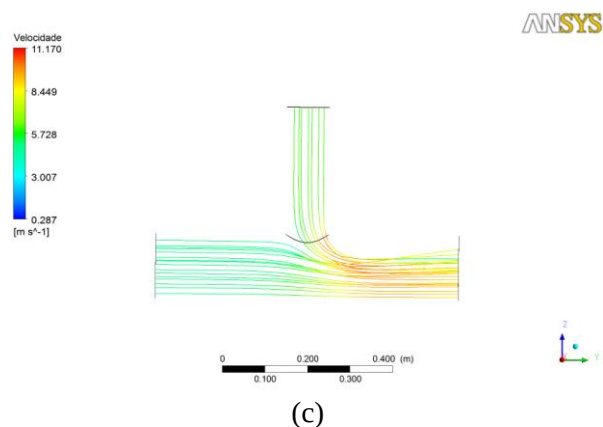
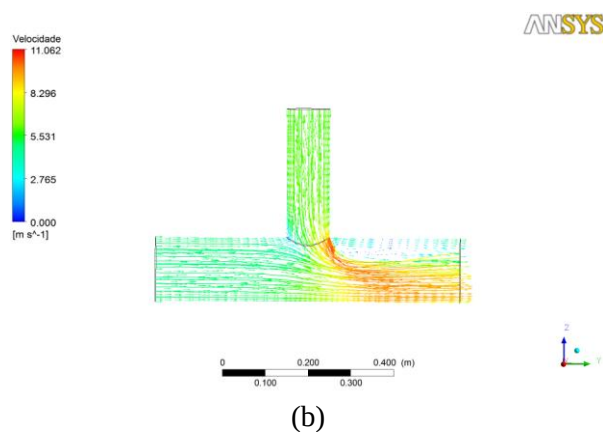


Figura 4: Estudo de caso 2 (plano zy) com distribuição da a) Temperatura, b) Vetores velocidade do petróleo, c) Streamlines, linhas de corrente.

As concentrações de energia nos dois casos estudados ocorrem onde se forma a conexão “T”, na ligação dos tubos. Dessa forma, têm-se nestas regiões, maiores gradientes das grandezas estudadas, tornando a conexão mais suscetível às fraturas ou trincas.

Haverá formação de uma deformação do tipo plástica, se as flutuações das grandezas mencionadas originarem tensões internas que ultrapassem o limite de escoamento do material dos tubos. Se estas tensões, por sua vez, ultrapasarem o limite de resistência de material, acontecerá um dano estrutural de fratura na tubulação. Assim, a análise estrutural associada aos resultados evidenciados, podem evitar na prática, a parada da produção em razão de vazamentos de petróleo e danos mais significativos.

#### 4. CONCLUSÕES

Os estudos de casos realizados revelam que no encontro dos dutos que formam a conexão “T”, existem gradientes significativos das grandezas estudadas (velocidade e temperatura), assim, danos estruturais poderão surgir quando o limite de escoamento e/ou de resistência for ultrapassado. O processo de simulação dos estudos de casos realizados mostrou-se eficiente.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSYS, I., **Fluent 12 UsersGuide**, April 2009.

AYHAN, H., SOKMEN, C. N., CFD modeling of thermal mixing in a T-junction geometry using LES model. **Nuclear Engineering and Design**, 253 (2012) 183– 191, 2012

CFX(2012), **CFX 14.0 Solver Theory Guide**, Ansys Inc., Berkeley.

FONTES, C.E., SILVA, L.F.L.R., LAGE, P.L.C., RODRIGUES, R.C., **Introdução a Fluidodinâmica Computacional**. Escola Piloto Virtual, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

FRANK, T., LIFANTE, C., PRASSER, H.M., MENTER, F., **Simulation of turbulent and thermal mixing in T-junctions using URANS and scale-resolving turbulence model in ANSYS CFX**. Nucl. Eng. Des. 240, 2313–2328, 2010.

GRITSKEVICH, M.S., GARBARUKA, A. V., FRANK, Th., MENTER, F.R., **Investigation of the thermal mixing in a T-junction flow with different SRS approaches**. 2014.

MALISKA, C. R., **Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional**. LTC Editora. 2004.

MARIANO, G. C. **Estudo do Escoamento Imiscível Água/Óleo Mediante Experimentação em Célula de Hele-Shaw e Simulação CFD**. 102p. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2008.

PETRY, F. **Avaliação de Ambiente Condicionado por Cálculo de Balanço Térmico e Simulação CFD**. 51 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Panambi, 2012.

SELVAM, P. K., KULENOVIC R., LAURIEN, E., **Large eddy simulation on thermal mixing of fluids in a T-junction with conjugate heat transfer**. 2015.