

FLUTUAÇÕES DE TEMPERATURA E VELOCIDADE NA INDÚSTRIA DE CONCENTRADO DE SUCO E BEBIDAS.

Gustavo Henrique de Almeida Barbalho¹

Renata Pereira Ramos²

Alan Del Carlos Gomes Chaves³

Fagno Dallino Rolim⁴

Prof. Dr. José Jefferson da Silva Nascimento⁵

RESUMO

O estudo consiste na análise da mistura de dois fluidos com flutuações de temperaturas e velocidades distintas, escoando nas entradas (Y e Z), em tubulação com entroncamento do tipo T. Esse fenômeno é de crucial importância em aplicações em engenharia industrial, como em tratamentos térmicos, no processo de pasteurização, considerando que a flutuação de temperatura poderá levar à fadiga térmica e, posteriormente em falhas do material estrutural. Nos processos de pasteurização de sucos e bebidas, onde a estrutura da tubulação é exposta à diferenças de temperatura em suas trocas térmicas e aos seus efeitos nas junções de mistura, esses gradientes, não poderão ser desprezados, principalmente a turbulência dos fluxos, nesses pontos. Neste contexto será aplicado uma abordagem da Dinâmica do Fluido Computacional (CFD), que nos fornece de maneira precisa as situações reais dos parâmetros significativos que afetam a fadiga térmica na junção da tubulação em T. Os campos de temperatura simulados são empregados como condições de contorno térmico em análises de transferência de calor de uma parede de tubo, nos sentidos de Y e Z. Resultados mostram que os modelos são capazes de prever com precisão através dos perfis de temperatura e velocidades que uma maior concentração de energia ocorre onde se forma a conexão “T”, na ligação entre os tubos, onde os gradientes são maiores, e se aproximam do raio de concordância de 90°, ou seja, áreas de turbulências com maiores possibilidade de colapso estrutural, tornando a conexão mais suscetível às fraturas ou trincas, aumentando os custos operacionais do processo.

Palavras-chave: Gradientes de Temperatura, Gradientes de Velocidade, Processo de Pasteurização, Dinâmica do Fluido Computacional.

¹ Mestrado do Curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte-UFRN, gustavo.barbalho@ifrn.edu.br;

² Doutorado do curso de Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande- UFCG, renata_pramos@hotmail.com;

³ Doutorado do curso de Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, alandcgc@hotmail.com;

⁴ Doutorado do curso de Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, dallino@hotmail.com;

⁵ Professor orientador: Doutor, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, jeffpesquisador@gmail.com

INTRODUÇÃO

A preocupação dos consumidores vem crescendo com relação às qualidades nutricionais e sensoriais dos produtos industrializados (GOBBI, 2016). Dentre esses produtos estão os sucos e as bebidas à base de vegetais, por apresentarem vitaminas, sais minerais e antioxidantes naturais. A aplicação de técnicas de processamento e de conservação podem interferir nas características originais dos produtos alimentícios, alterando suas características nutricionais e sensoriais (CIANCI et al., 2005), inclusive em bebidas à base de vegetais (ALVARENGA, 2017).

Dentre as técnicas de conservação mais utilizadas para a conservação de sucos, destaca-se a pasteurização, que tem por finalidade eliminar microrganismos patogênicos e alteradores, promovendo menores alterações nutricionais e sensoriais quando comparadas a métodos mais drásticos de processamento (JIAO, CASSANO, DRIOLI, 2004). O processo de pasteurização é dividido em duas fases: aquecimento e resfriamento.

A flutuação de temperatura no processo de pasteurização é mais observada devido o aumento e a diminuição de temperatura. Essa diferença de temperatura pode levar a fadiga térmica do material, podendo posteriormente ocasionar uma falha na sua estrutura devido as altas tensões produzidas, diminuindo assim a vida útil da tubulação. Assim é de grande importância se fazer o estudo dos efeitos da flutuação de temperatura na estrutura da tubulação.

Este trabalho tem como objetivo estudar os gradientes de temperatura e velocidade no processo de pasteurização em uma tubulação do tipo “T”, utilizando a Fluidodinâmica Computacional que tem sido bastante empregada em aplicações industriais em busca de otimizar projetos. Esta ferramenta envolve a solução numérica das equações de conservação da massa, quantidade de movimento e energia. O uso de modelos computacionais pode ser eficaz para a detecção de possíveis vazamentos, ocasionados por trincas e fraturas, durante o escoamento do fluido.

Dentre os softwares comerciais mais utilizados para simulação utilizando a Fluidodinâmica Computacional, pode-se destacar o FlexPDE®, CFX®, FLUENT®, POLIFLOW®, OpenFOAM® e outros.

METODOLOGIA

A modelagem matemática de escoamentos de fluidos é fundamentada nas equações básicas da mecânica dos fluidos. Tais equações são expressas pelas leis de conservação da massa, da quantidade de movimento e da energia.

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]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u\phi) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v\phi) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w\phi) \\ = \frac{\partial}{\partial x}\left(\Gamma^\phi \frac{\partial\phi}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\Gamma^\phi \frac{\partial\phi}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\Gamma^\phi \frac{\partial\phi}{\partial z}\right) + S^\phi \dots [1] \end{aligned}$$

A equação [1] equivale à equação de conservação da massa, quando S^ϕ for igual a zero e $\phi=1$. As equações de movimento nas três direções coordenadas são obtidas fazendo-se ϕ 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. Γ^ϕ representa o produto da difusividade pela massa específica da propriedade transportada em questão.

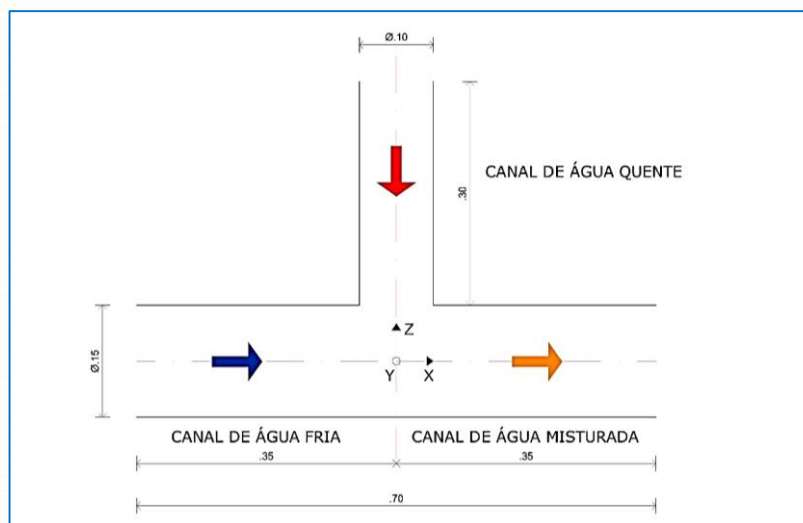
Assim, $\Gamma^\phi = \mu$ e para a equação da energia $\Gamma^\phi = k/c_p$, quando o escoamento é laminar, e é igual a $\mu_{efetivo}$ e $(k/c_{p_{efetivo}})$, quando o escoamento for turbulento, Maliska [2004].

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, Maliska[2004].

DESENVOLVIMENTO

O problema em estudo consiste na análise da mistura de dois fluidos com temperaturas distintas escoando em duas entradas numa tubulação do tipo “T”, de modo que possa ser avaliado os gradientes de temperatura e velocidade. A figura 1, a geometria utilizada na análise experimental tridimensional

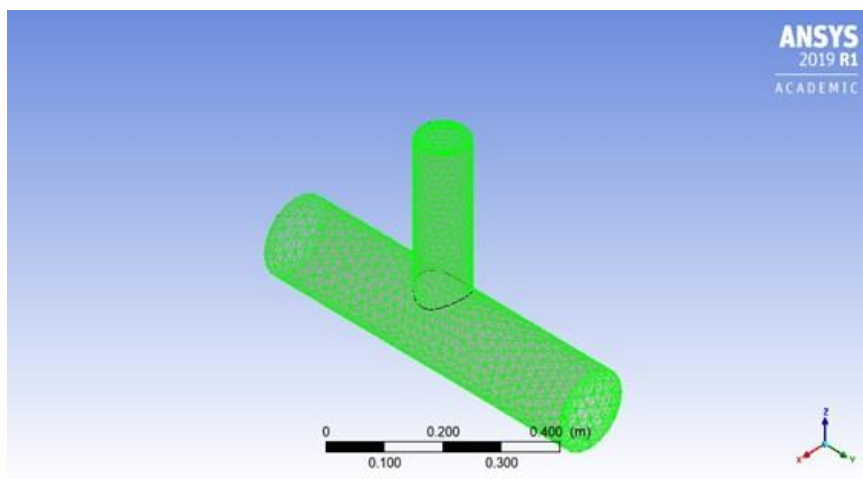
Figura 1- Desenho esquemático do problema físico



Fonte: Produção própria (2019)

A Figura 2, ilustra a malha não estruturada e a conexão estudada. A malha apresenta 8200 nós e 20793 elementos.

Figura 2- Malha numérica

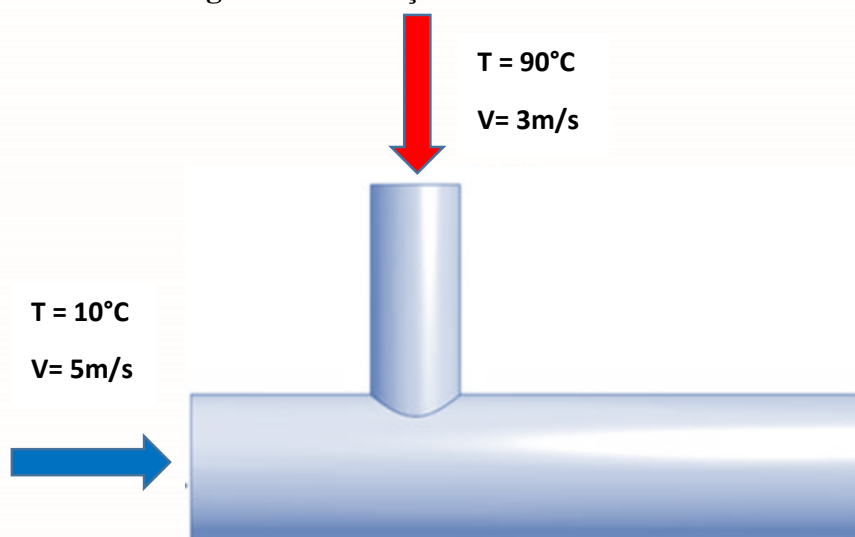


Fonte: Ansys CFX 16.0

Foi simulado um caso, onde as condições de contorno são apresentadas conforme Figura 3: no inleto (entrada y) uma velocidade de 5 m/s e uma temperatura de 10°C e no inleto (entrada z) uma velocidade de 3 m/s e uma temperatura de 90°C. A condição de pressão utilizada para o caso foi de 1 atm para o inlet e 0 atm para o outlet.

Os dados do material estudado foram os seguintes: Água com densidade de 997 Kg/m³ e viscosidade dinâmica de 8,899x10⁻⁴ kg/m.s. O critério de convergência utilizado foi de 10⁻⁴.

Figura 3 – Condições de contorno e de Limites



Fonte: Produção própria (2019)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise do Gradiente de Temperatura

Os resultados da saída dos tubos verticais e horizontais, para o gradiente de temperatura, representada através do corte longitudinal mostrado na Figura 4. e 4.1, foram extraídos e impostos como condições de entrada para os dutos que formam conexão T, para os planos Y e Z.

Como resultado da obtenção dos gradientes de temperatura pode-se observar ponto 1, na tubulação, com alta concentração de tensões e ponto 2 com tensões desprezíveis. Os

gradientes de temperatura $\frac{\Delta T}{\Delta y}$ e $\frac{\Delta T}{\Delta z}$ estão representados no Gráfico 1 e 2 no plano zy.

Figura 4. Distribuição de Temperatura em 3D

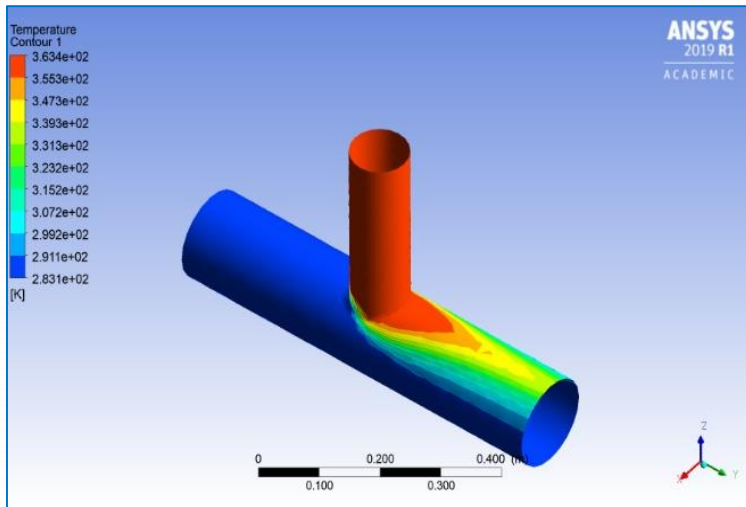
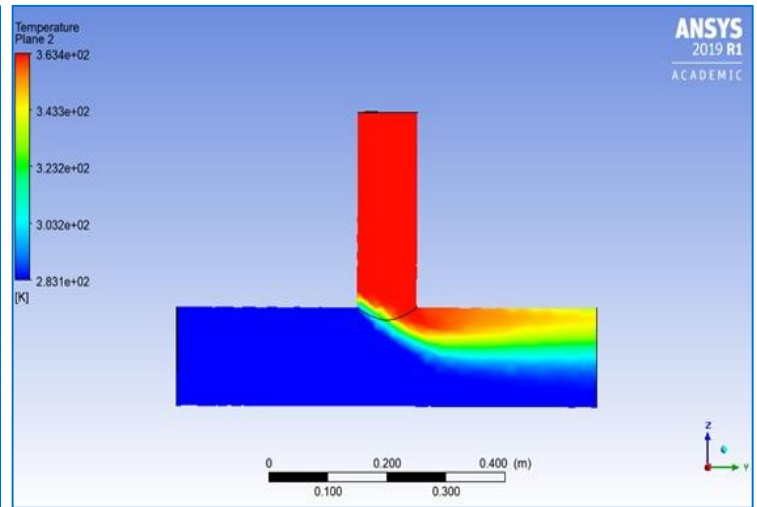


Figura 4.1 Distribuição de Temperatura eixo ZY



Fonte : Produção própria (2019)

Dos Gradientes de Temperatura $\therefore \frac{\Delta T}{\Delta y}$

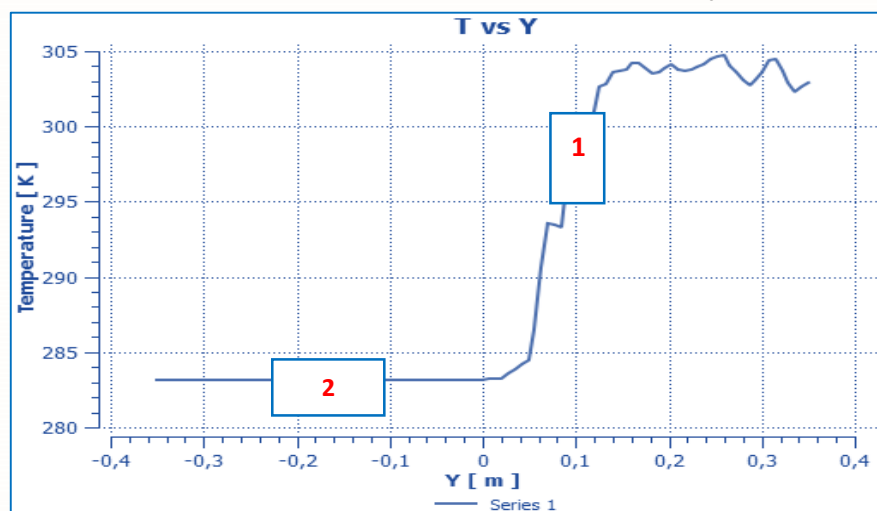
Condições de contorno para $\frac{\Delta T}{\Delta Y} \therefore \text{mín } 0,100m ; \text{máx } 0,150$

$$\frac{\Delta T}{\Delta Y} \text{ Gradiente}_1 = 244,47 \frac{K}{m}$$

Condições de contorno para $\frac{\Delta T}{\Delta y} \therefore \text{mín } -0,200; \text{máx } 0,105$

$$\frac{\Delta T}{\Delta Y} \text{ Gradiente}_2 = 0$$

Gráfico 1 – Gradientes de Temperatura $\frac{\Delta T}{\Delta y}$



Fonte : Produção própria (2019)

Dos Gradientes de Temperatura $\therefore \frac{\Delta T}{\Delta Z}$

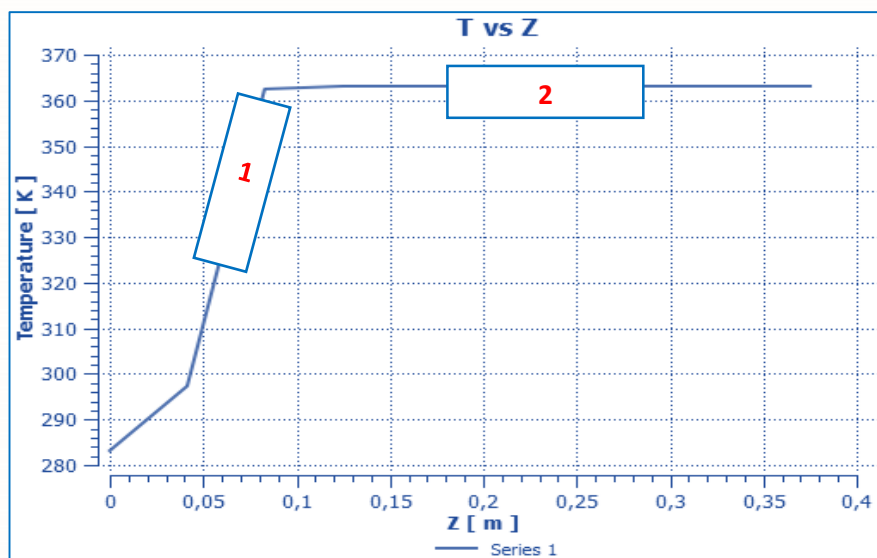
Condições de contorno para $\frac{\Delta T}{\Delta Z} \therefore \text{mín } 0,0416m ; \text{ máx } 0,083$

$$\frac{\Delta T}{\Delta Z} \text{ Gradiente}_1 = 1568 \frac{K}{m}$$

Condições de contorno para $\frac{\Delta T}{\Delta y} \therefore \text{mín } -0,200m ; \text{ máx } 0,205$

$$\frac{\Delta T}{\Delta Z} \text{ Gradiente}_2 = 0$$

Gráfico 2 – Gradientes de Temperatura $\frac{\Delta T}{\Delta Z}$



Fonte: Produção Própria (2019)

Resultados mostram que os modelos são capazes de prever com precisão através dos perfis de temperatura nos eixos y e z que uma maior concentração de energia ocorre onde se forma a conexão “T”, na ligação entre os tubos, onde os gradientes de temperatura são maiores, ponto 1, nos quais, se aproximam do raio de concordância de 90°, ou seja, áreas de turbulências com maiores possibilidades de colapso estrutural, tornando a conexão mais suscetível às fraturas ou trincas, que poderá aumentar os custos operacionais do processo. Considerando o ponto onde o gradiente de temperatura é menor e tende a zero, ponto 2, a tubulação sofrerá menos tensões e as possibilidades de fraturas ou trincas serão minimizadas.

Análise do Gradiente de Velocidade

Os resultados da saída dos tubos verticais e horizontais, para o gradiente de velocidade, representada através do corte longitudinal mostrado na Figura 5. e 5.1, foram extraídos e impostos como condições de entrada para os dutos que formam conexão **T**, para os planos Y e Z.

Como resultado da obtenção dos gradientes de velocidade pode-se observar, no ponto 1, na tubulação, com alta concentração de tensões e no ponto 2 com tensões desprezíveis. Os gradientes de temperatura $\frac{\Delta V}{\Delta y}$ e $\frac{\Delta V}{\Delta Z}$ estão representados no Gráfico 3 e 4 no plano zy.

Figura 5. Distribuição de Velocidade em 3D

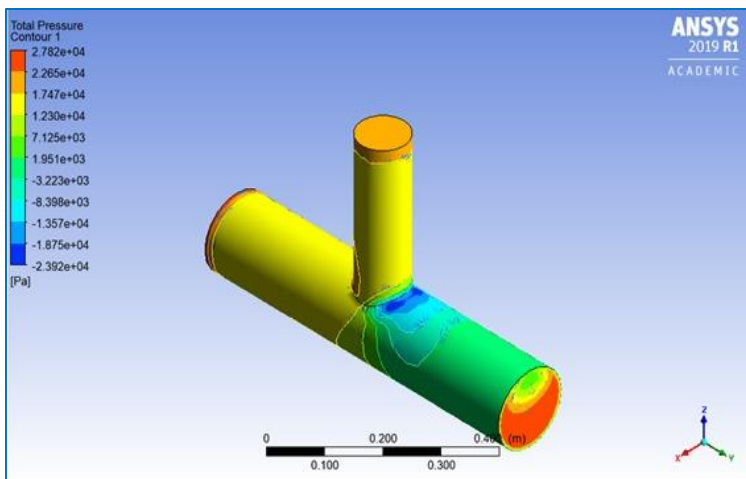
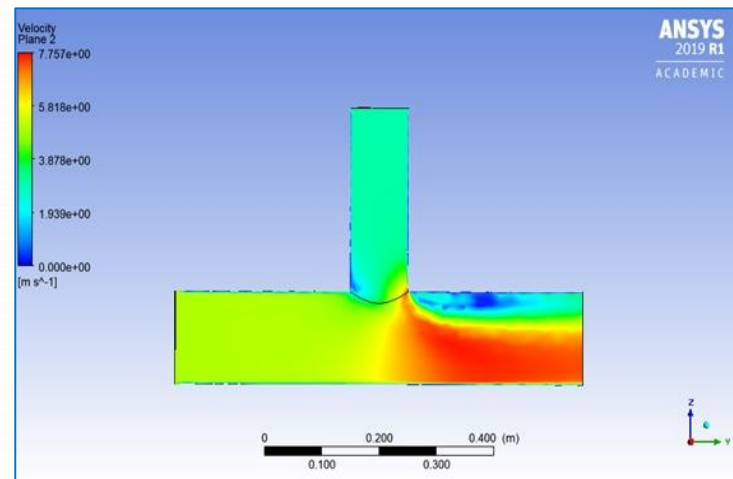


Figura 5.1 Distribuição de Velocidade em ZY



Fonte : Produção própria (2019)

Dos Gradientes de Velocidade $\therefore \frac{\Delta V}{\Delta Y}$

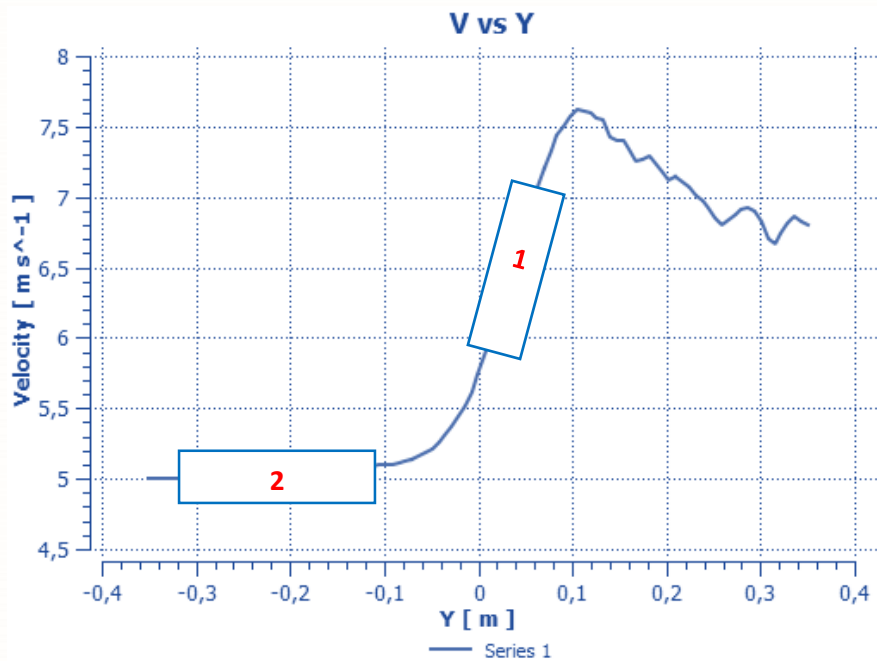
Condições de contorno para $\frac{\Delta V}{\Delta Y} \therefore \text{mín } 0,0573m ; \text{máx } 0,0732$

$$\frac{\Delta V}{\Delta Y} \text{Gradiente}_1 = 20,58 \frac{K}{m}$$

Condições de contorno para $\frac{\Delta T}{\Delta y} \therefore \text{mín } -0,05030m ; \text{máx } 0,05008$

$$\frac{\Delta V}{\Delta Y} \text{Gradiente}_2 = 0$$

Gráfico 3 – Gradientes de Velocidade $\frac{\Delta V}{\Delta Y}$



Fonte: Produção Própria (2019)

Dos Gradientes de Velocidade $\therefore \frac{\Delta V}{\Delta z}$

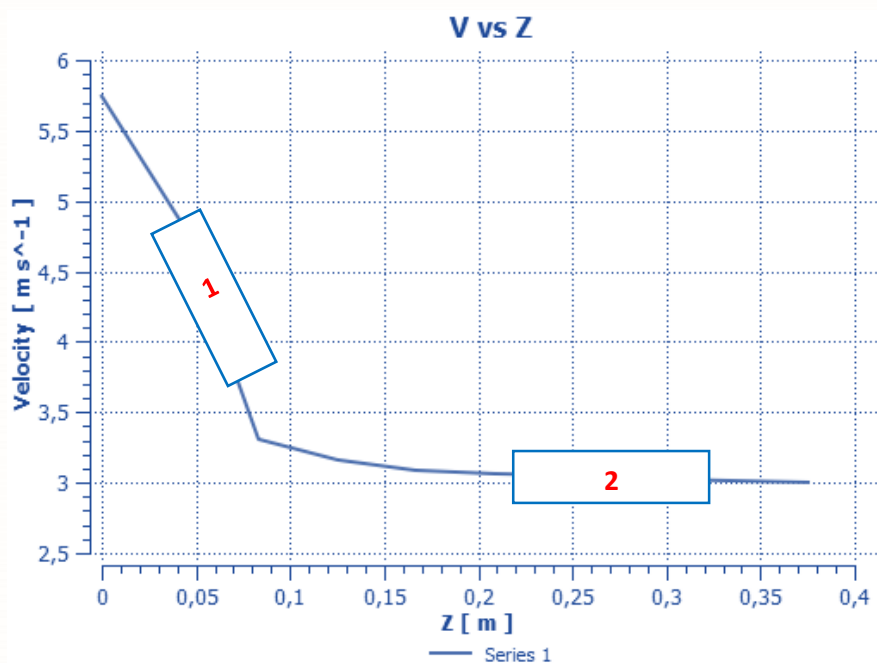
Condições de contorno para $\frac{\Delta V}{\Delta Z} \therefore \text{mín } 0,0331m ; \text{máx } 0,0489$

$$\frac{\Delta V}{\Delta Z} \text{ Gradiente}_1 = 36,86 \frac{K}{m}$$

Condições de contorno para $\frac{\Delta T}{\Delta y} \therefore \text{mín } -0,0299m ; \text{máx } 0,03008$

$$\frac{\Delta V}{\Delta Z} \text{ Gradiente}_2 = 0$$

Gráfico 4 – Gradientes de Velocidade $\frac{\Delta V}{\Delta Z}$



Fonte: Produção Própria (2019)

Ao analisar os resultados para o gradiente de velocidade, percebe-se que uma maior concentração de tensões ocorre onde se forma a conexão “T”, na ligação entre os tubos, no ponto 1. Dessa forma, essa região apresenta os maiores gradientes da grandeza estudada, tornando a conexão mais suscetível às fraturas ou trincas. Poderá ocorrer a formação de uma deformação do tipo plástica, processo no qual a deformação é irreversível se tornando permanente, se as flutuações da grandeza mencionada originarem tensões internas que ultrapassam o limite de escoamento do material dos tubos. Quando estas tensões, por sua vez, ultrapassam o limite de resistência do material, há uma maior probabilidade de acontecer um dano estrutural de fratura na tubulação. Já onde o gradiente de velocidade é menor e tende a zero, no ponto 2, a tubulação sofrerá menos tensões e as possibilidades de fraturas ou trincas serão minimizadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da simulação realizada, constata-se que no encontro entre os dutos que formam a conexão “T”, as grandezas estudadas, velocidade e temperatura, apresentam gradientes significativos, o que pode levar ao surgimento de danos estruturais caso o limite de escoamento e/ou de resistência seja ultrapassado. O processo de simulação dos estudos de casos realizados mostrou-se eficiente.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, G. F.; ALMEIDA-CARLOS, L.; ARRUDA, A.C.; MARTINS, L. M.; OLIVEIRA, K. G.; SILVA, E.C. **Blend de maracujá e capuchinha: efeito do processamento térmico sobre compostos bioativos e características sensoriais.** Brazilian Journal of Food Research, v. 8, p. 112 – 125, 2017.

CIANCI, F.C.; SILVA, L.F.M.; CABRAL, L.M.C.; MATTA, V.M. **Clarificação e concentração de suco de caju por processos com membranas.** Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 25, n.3, p. 579-583, 2005.

GOBBI, K. R.; ALMEIDA, L.R.; SCHIRMER, M.; FARIA, R. A. P. G. **Qualidade físico-química de néctares industrializados comercializados em Cuiabá--MT.** Brazilian Journal of Food Research, v. 7, p. 16-28, 2016.

JIAO, B.; CASSANO, A.; DRIOLI, E. **Recent advances on membrane processes for the concentration of fruit juices: a review.** Journal of Food Science, v. 63, p. 303-324, 2004.

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.** 51p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Panambi, 2012.