

4 ESTUDOS PRELIMINARES

A metodologia da dinâmica dos fluidos computacionais foi aplicada para alguns casos simples de forma a verificar a adequação do software ANSYS CFX[®] na resolução dos problemas descritos na literatura.

4.1 CANAL RETO

O primeiro caso serviu de base para a verificação da aplicação da técnica de estímulo e resposta, através da injeção em degrau de um componente de mesmas propriedades do fluido que já escoava pelo duto.

Aplicou-se fluidos de mesmas propriedades físicas de tal maneira que o escoamento no interior do canal não seja perturbado. Acompanhou-se a concentração na saída para calcular a distribuição de tempos de residência como descrito por Fogler (1999). Primeiramente realizou-se uma simulação em estado estacionário para levantar o campo de velocidades no interior do canal. Posteriormente, com o perfil de velocidades levantado, congelou-se a solução, sendo resolvido; então, o balanço de massa para os componentes da mistura em regime transiente. A geometria, o campo de velocidades e a distribuição de tempos de residência são apresentados a seguir.

Na Figura 18 é possível visualizar a geometria do canal reto, a seção transversal é quadrada com lados de 200 μm e tem comprimento de 3000 μm , pela baixa complexidade da geometria foi possível utilizar uma malha puramente hexaédrica.

As condições de contorno aplicadas na simulação em estado estacionário foram: na entrada, velocidade perpendicular a seção e com magnitude igual a 0,6 m/s; na saída, considerou-se a pressão relativa igual zero e nas paredes impôs-se

uma condição de não escorregamento. As propriedades físicas dos fluidos utilizados nesta simulação são as mesmas da água a 20 °C ($\rho = 997 \text{ kg/m}^3$; $\mu = 0.0008899 \text{ Pa.s}$). Adotou-se uma difusividade de $1.10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ entre os fluidos, pois com este valor é verificado que o efeito da difusão torna-se desprezível numericamente, e qualquer mistura obtida é somente devida à convecção.

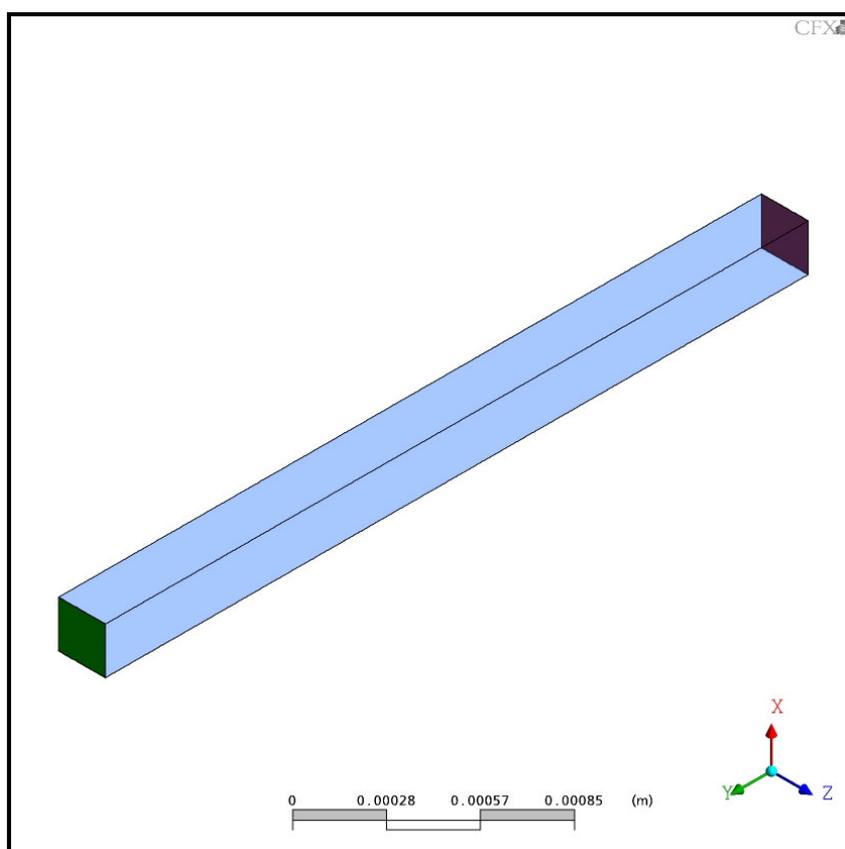


Figura 18 - Geometria do canal reto.

Nas Figuras 19 e 20 pode-se visualizar as linhas de corrente resultantes do escoamento do fluido no interior do canal reto. Nota-se que em toda a extensão do canal as linhas de corrente são paralelas, característica marcante de um escoamento em regime laminar. Calculando o número de Reynolds para este caso, chega-se a um valor de 134.

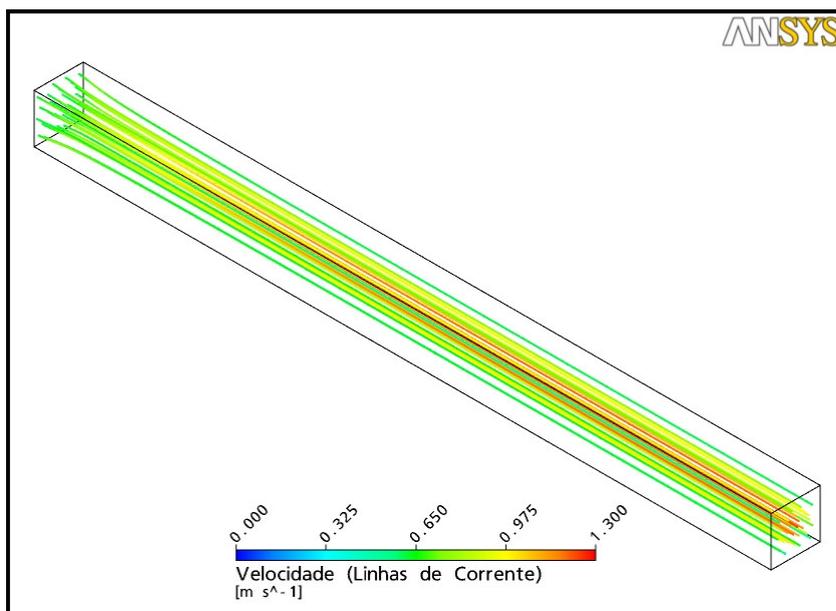


Figura 19 - Linhas de corrente no duto reto.

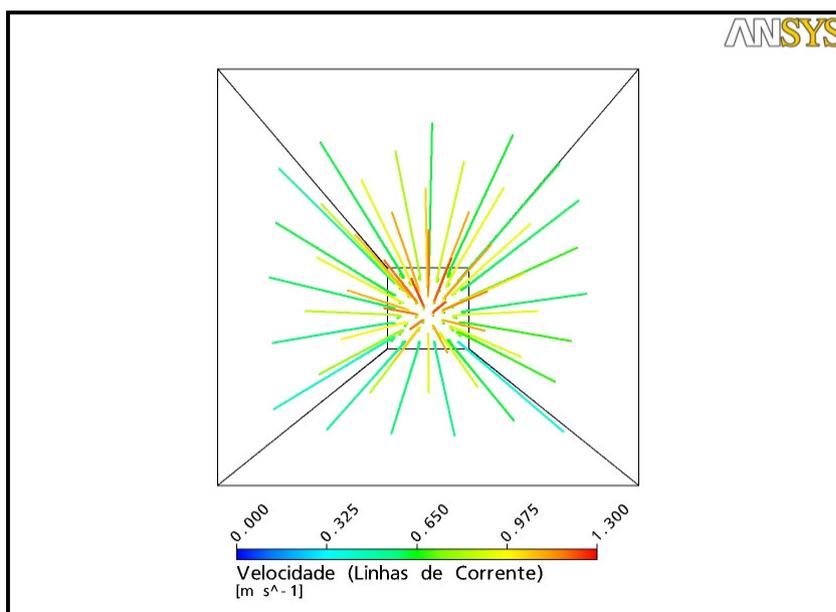


Figura 20 - Vista frontal das linhas de corrente no duto reto.

Na Figura 21 são apresentados os contornos de velocidade em um plano médio, localizado na metade da altura total do canal ($100\ \mu\text{m}$). Verifica-se que um trecho do canal precisa ser percorrido para o que escoamento se desenvolva e o perfil de velocidade esperado, parabólico, possa ser alcançado, tal fato pode ser observado uma vez que no plano médio, em sua região central, não se tem a velocidade máxima (conforme especificado na legenda da figura) em toda a sua extensão.

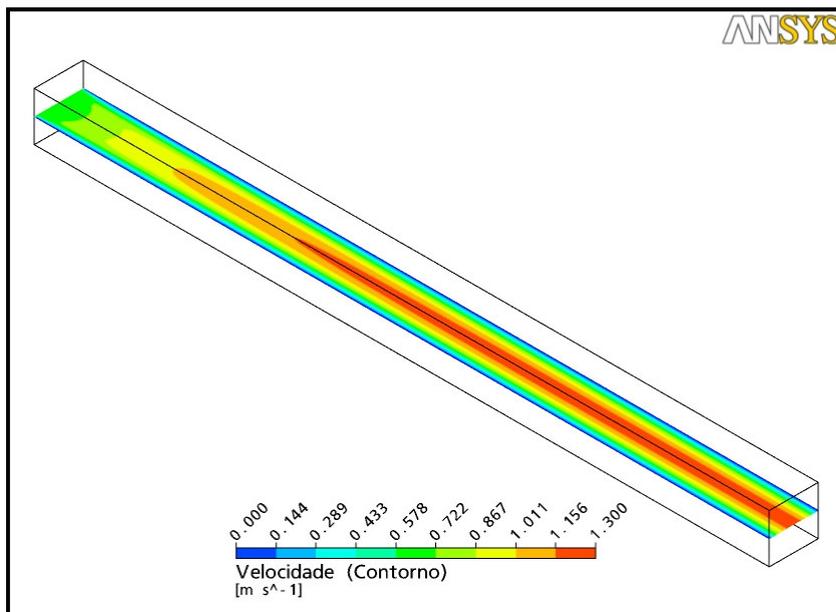


Figura 21 - Contornos de velocidade em um plano médio do duto reto.

Nas Figuras 22 (a), (b), (c), (d) são apresentados os contornos da fração mássica do corante utilizado na técnica de estímulo e resposta com estímulo do tipo degrau unitário, em diferentes tempos da simulação em regime transiente, a qual foi realizada com um intervalo de tempo igual a 0,0005 s.

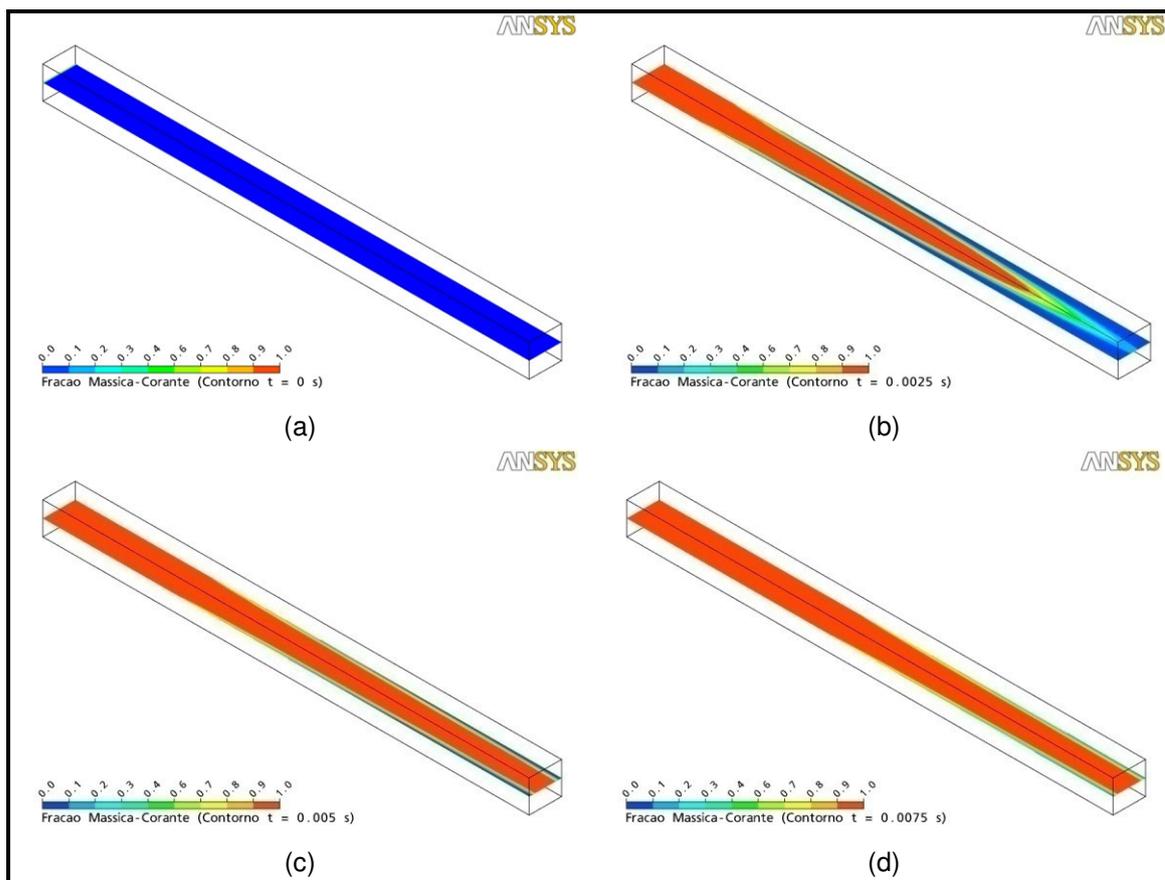


Figura 22 - Fração mássica do corante para diferentes tempos.

A distribuição de tempos de residência como apresentada anteriormente pode ser levantada para canais de seção retangular como apresentado nas Figuras 23 e 24.

Na Figura 23 é apresentada a distribuição de tempo de residência do fluido calculada com relação à concentração de um único ponto localizado no centro da saída do canal (linha vermelha) e a distribuição de idade do fluido calculada com relação à concentração calculada como sendo a média na seção de saída (linha azul).

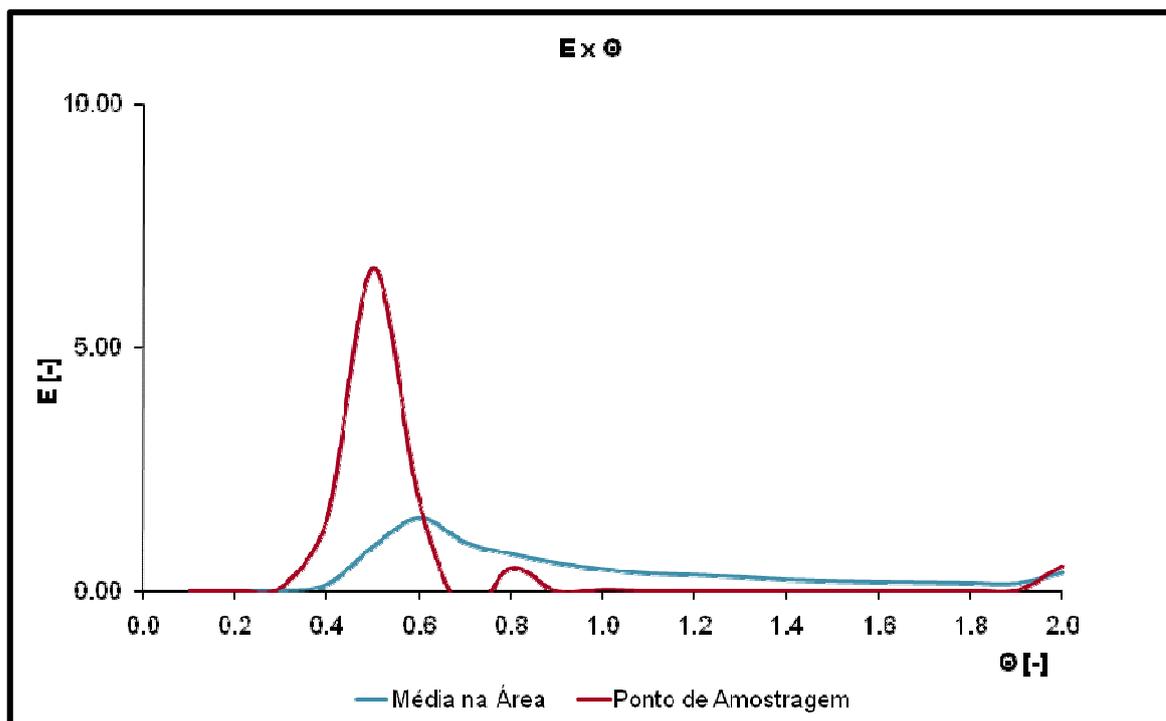


Figura 23 - Distribuição do tempo de residência calculados na saída por diferentes critérios.

Já era esperado que a distribuição de tempos de residência fosse diferente, quando calculada pelos dois critérios, uma vez que o fluido que escoar próximo a parede tem velocidade quase nula e a velocidade no ponto central da saída é a maior no interior do canal. Essa diferença de velocidade faz com que a concentração média na seção seja diferente da concentração no ponto central da saída, no qual a amostragem foi realizada.

Além disso, existe um sobressalto na distribuição de idades, isso é resultado do passo de tempo utilizado para avançar a solução. Indicando que ou a malha deve ser refinada, ou o passo de tempo para avanço da solução transiente deva ser reduzido.

Na entrada do canal retangular a perturbação injetada foi um degrau unitário, para o escoamento em questão, como o escoamento não está completamente desenvolvido, era de se esperar como resposta na saída um degrau suavizado, entretanto, além da suavização notada na Figura 24 há um ressalto na resposta, novamente resultado da simulação numérica, a qual deve ter a malha refinada e o passo de tempo de avanço da solução reduzido.

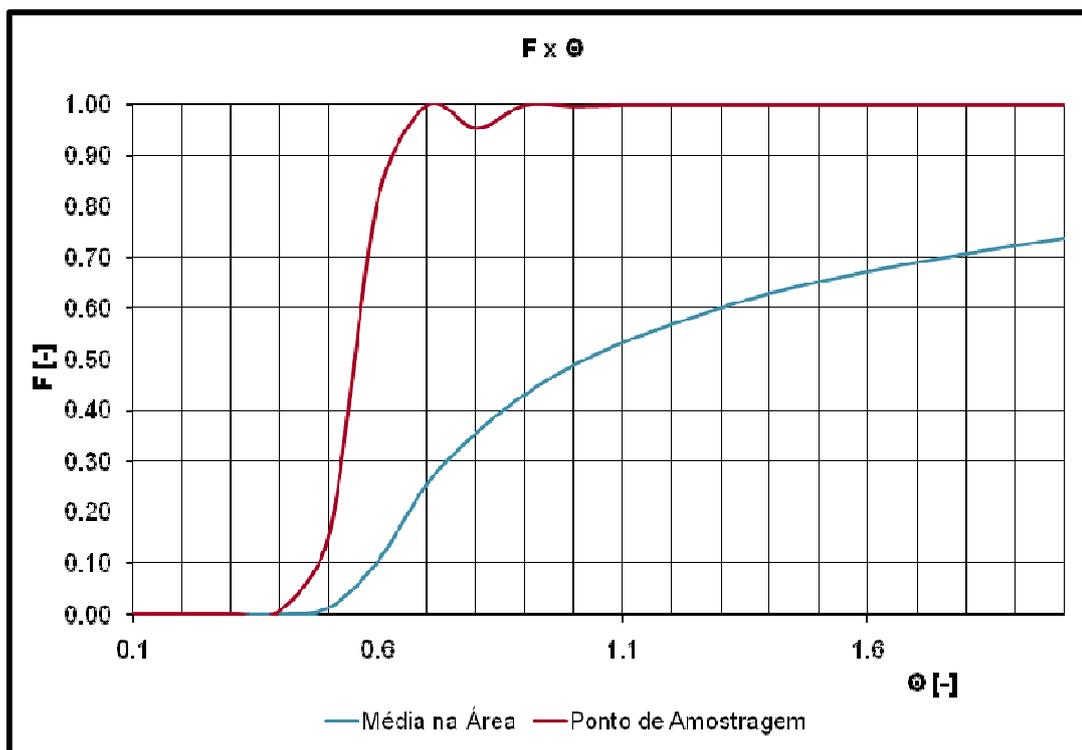


Figura 24 - Concentração normalizada com relação ao tempo adimensional.

4.2 MISTURADOR EM FORMATO -T

O segundo caso trata de um misturador em formato -T, no qual, inicialmente, foi imposta a mesma condição de contorno para os dois ramais de alimentação, e em um segundo momento mudou-se a velocidade de entrada em cada um dos canais de alimentação, para demonstrar o efeito da velocidade de entrada. Neste caso também foram utilizados fluidos com as mesmas propriedades da água a 20 °C ($\rho = 997 \text{ kg/m}^3$; $\mu = 0.0008899 \text{ Pa.s}$) e difusividade de $1.10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ entre os fluidos.

Na Figura 25 é apresentado o misturador em formato -T, o qual possui dois canais de alimentação que se unem e encaminham o fluido para um canal perpendicular com mesma área das seções de entrada. Neste caso também se utilizou canais de seção transversal quadrada com 200 μm de lado. Pela simplicidade da geometria também foi possível utilizar malha puramente hexaédrica.

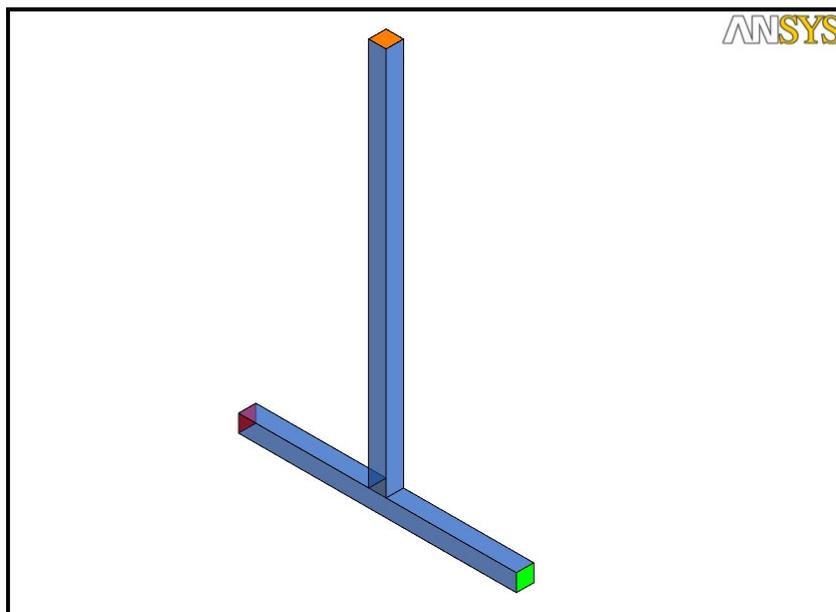


Figura 25 - Geometria do misturador em formato –T.

Para verificar o efeito da velocidade de entrada na qualidade da mistura, realizou-se primeiramente uma simulação, na qual se aplicou como condição de contorno um perfil de velocidade totalmente perpendicular a seção transversal dos dois canais de entrada identificados na cor verde e vermelha na Figura 25.

Em um segundo caso utilizou-se como condição de contorno uma velocidade composta por uma componente perpendicular e uma componente horizontal, sendo que a última correspondia a uma intensidade de 10% da componente perpendicular, tendo uma das entradas a componente horizontal apontando no sentido positivo e na outra no sentido negativo.

Nas Figuras 26 e 27 é possível visualizar as linhas de corrente para a alimentação não perpendicular e para alimentação perpendicular dos fluidos, respectivamente, na posição em que as duas correntes se encontram e entram no canal de saída. Nota-se que até o ponto de encontro das correntes de alimentação o escoamento ainda não se desenvolveu, fato demonstrado pela velocidade na faixa de $0,6 \text{ m.s}^{-1}$ a $1,2 \text{ m.s}^{-1}$, sendo possível identificar a velocidade máxima de $2,4 \text{ m.s}^{-1}$ somente no canal de saída próximo a região central da seção transversal.

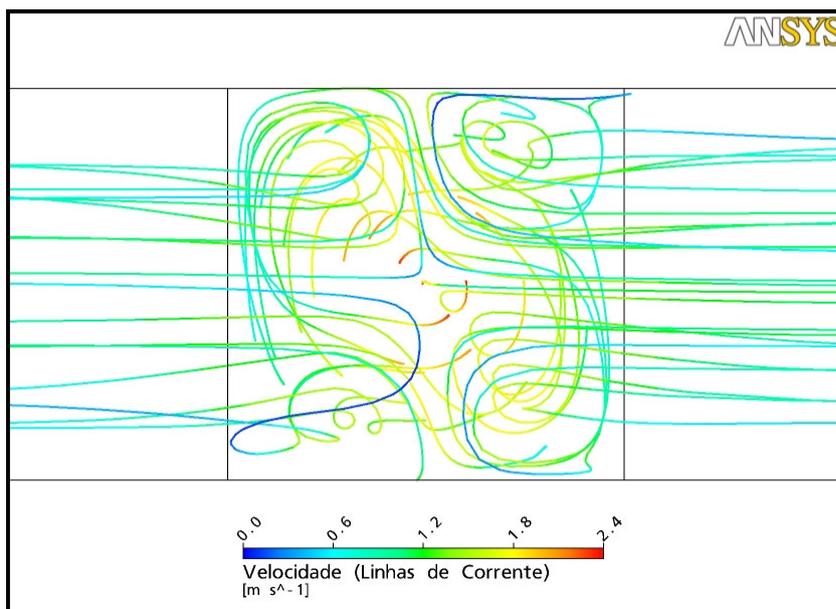


Figura 26 - Vista aproximada das linhas de corrente para alimentação não perpendicular.

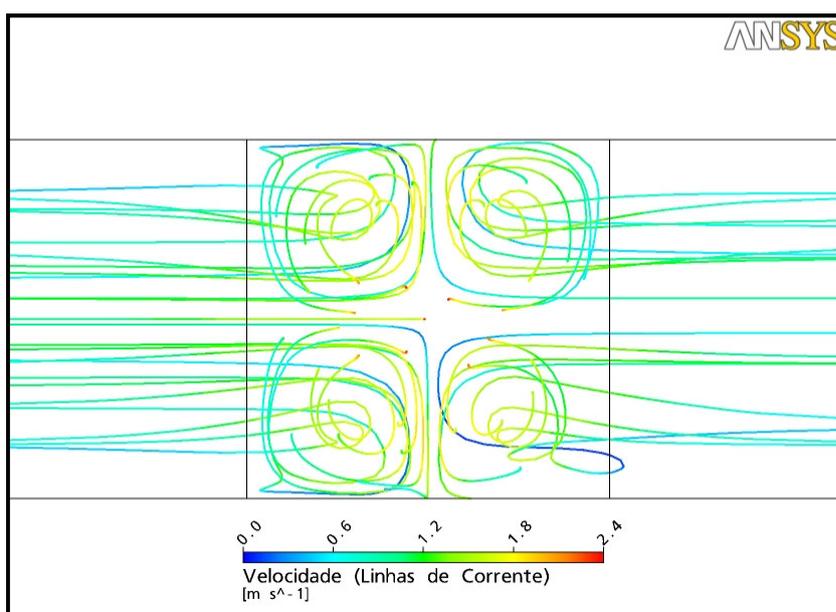


Figura 27 - Vista aproximada das linhas de corrente para alimentação perpendicular.

Pela característica diferente das linhas de corrente que se desenvolvem no interior do micromisturador, para as duas diferentes condições de contorno de alimentação simuladas, verifica-se que ao se avaliar um misturador, o perfil de velocidade deve ser corretamente caracterizado na condição de contorno para se aproximar o máximo possível da condição real, caso contrário os resultados da simulação poderão ser destoantes dos valores experimentais.

Nas Figuras 28, 29, 30 e 31 é demonstrada a visualização da fração mássica do corante para os dois casos simulados em diferentes posições.

Na Figura 28 são mostrados os contornos de fração mássica para a alimentação dos fluidos na condição não perpendicular, em um plano médio, o qual secciona a geometria na metade da altura total. Na Figura 29 com o plano na mesma posição são apresentados os contornos para a condição de alimentação perpendicular.

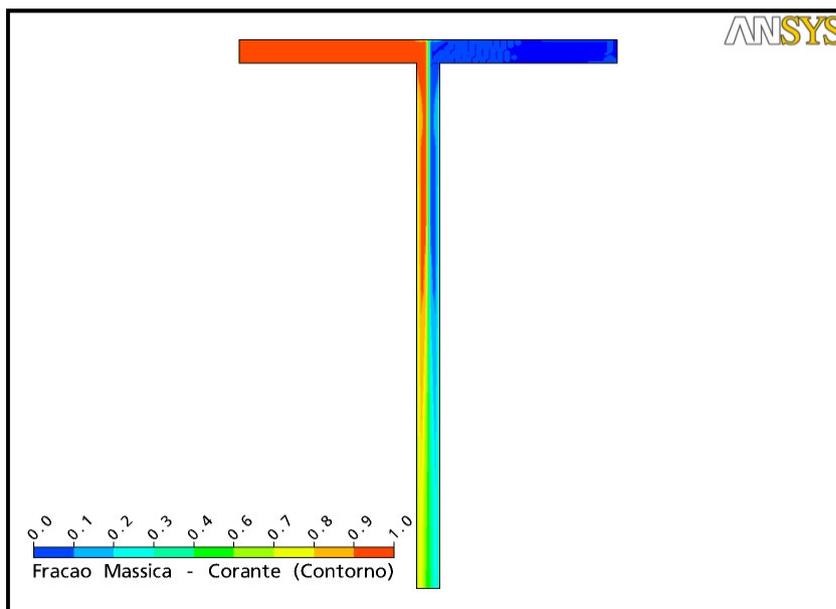


Figura 28 - Fração mássica em um plano médio para alimentação não perpendicular.

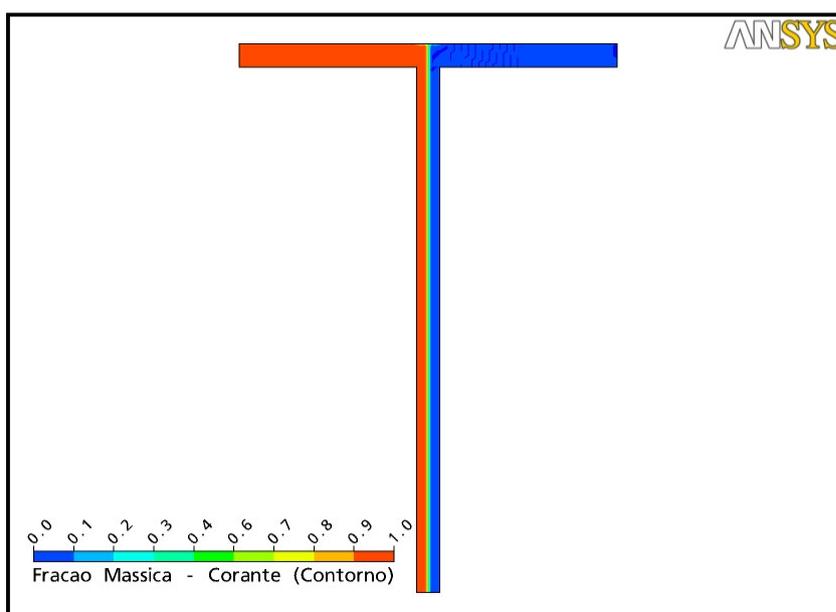


Figura 29 - Fração mássica em um plano médio para alimentação perpendicular.

Nas Figuras 30 e 31 os contornos de fração mássica do plano localizado no início do canal em que a mistura se inicia foram criados.

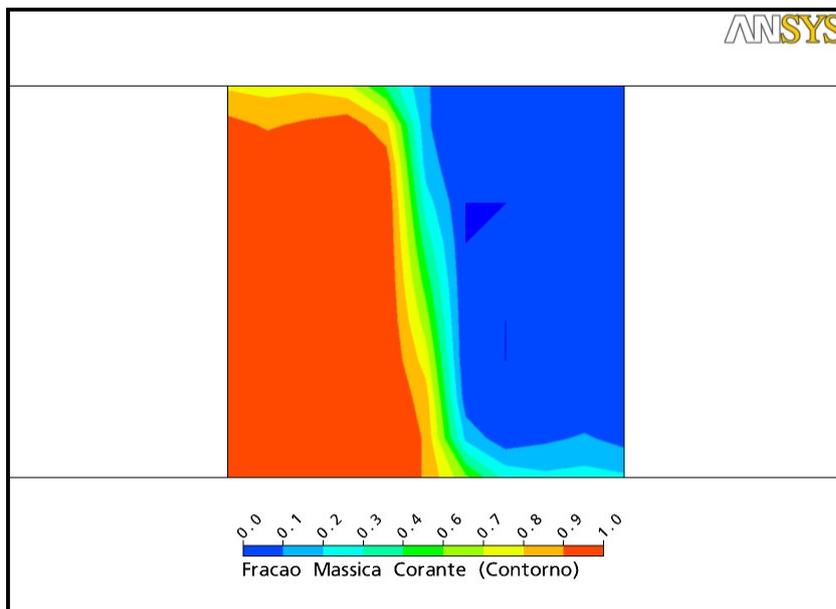


Figura 30 - Fração mássica no contato dos fluidos para alimentação não perpendicular.

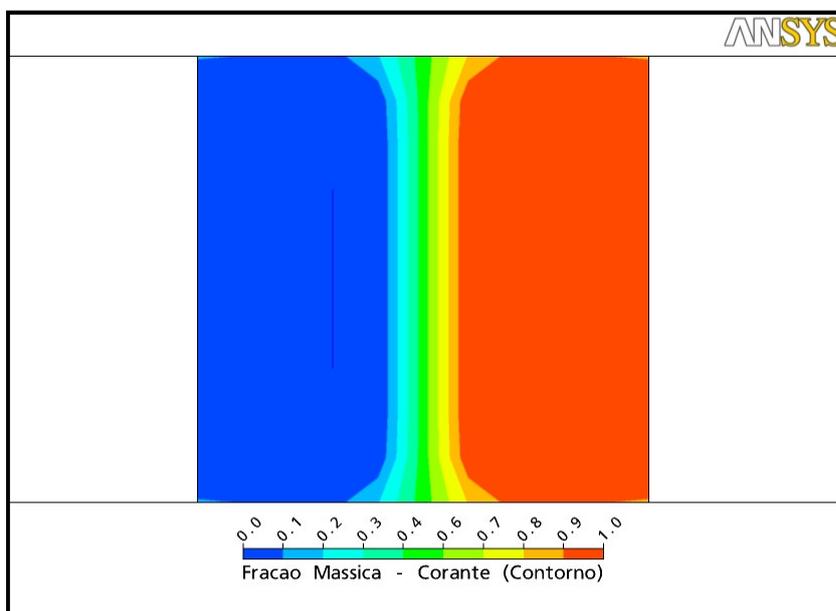


Figura 31 - Fração mássica no contato dos fluidos para alimentação perpendicular.

Os dados obtidos nestes dois últimos planos podem ser utilizados para o cálculo da média e do desvio padrão naquela seção, sendo possível também o

cálculo em outras seções transversais do micromisturador para avaliar o coeficiente de variação, o qual serve como parâmetro para caracterizar a qualidade da mistura.

Na Figura 32 tem-se os contornos de fração mássica na seção de saída do micromisturador em formato -T para o caso em que a alimentação do micromisturador não foi perpendicular.

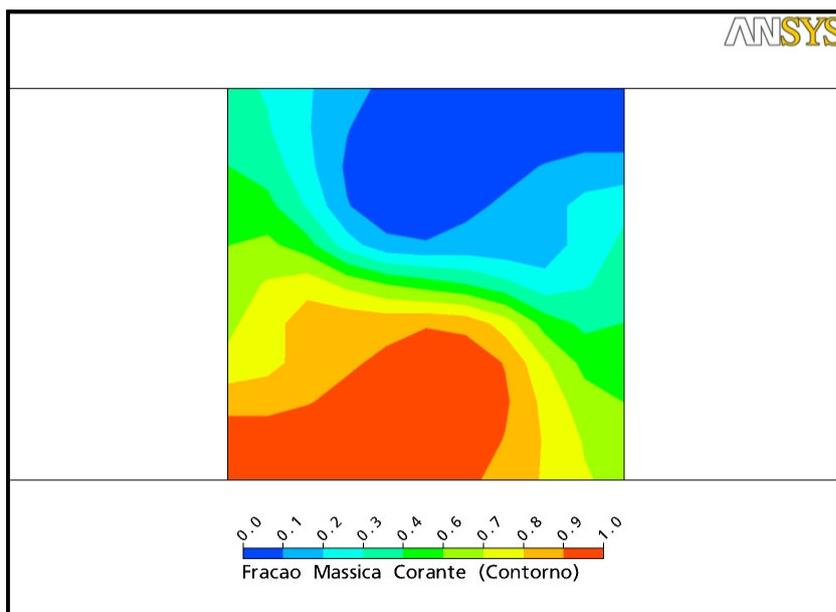


Figura 32 - Fração mássica na saída do misturador para alimentação não perpendicular.

4.3 MISTURADOR COM RANHURAS EM ZIGUEZAGUE

E para concluir os estudos preliminares realizaram-se simulações do micromisturador com ranhuras em formato de ziguezague no fundo do misturador (Figuras 33 e 34), para demonstrar a formação da convecção caótica, como demonstrado pelas Figuras 35 e 36, nas quais se pode visualizar como as linhas de corrente se torcem conforme o fluido passa pelas ranhuras que ficam localizadas no fundo do misturador.

Esta geometria foi proposta por Strooke et al. (2002) e avaliada para diferentes profundidades e largura dos canais em trabalhos subseqüentes.

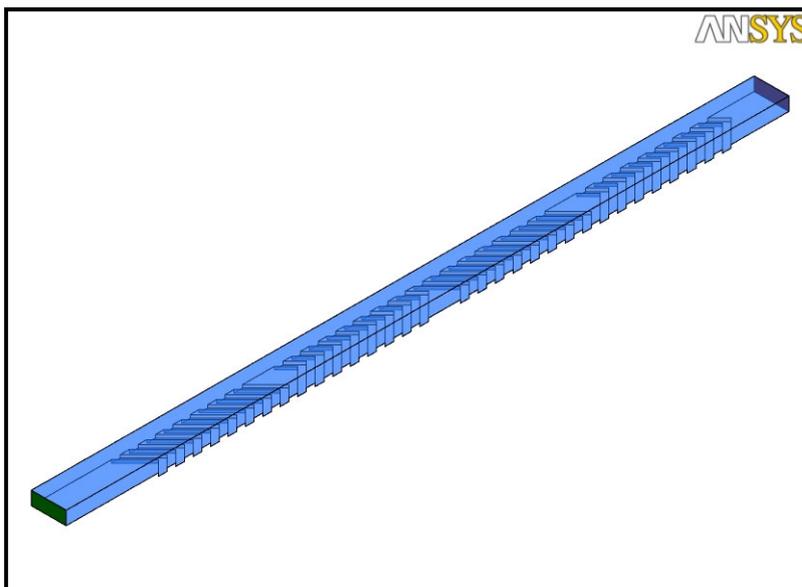


Figura 33 - Geometria do misturador com ranhuras em ziguezague.

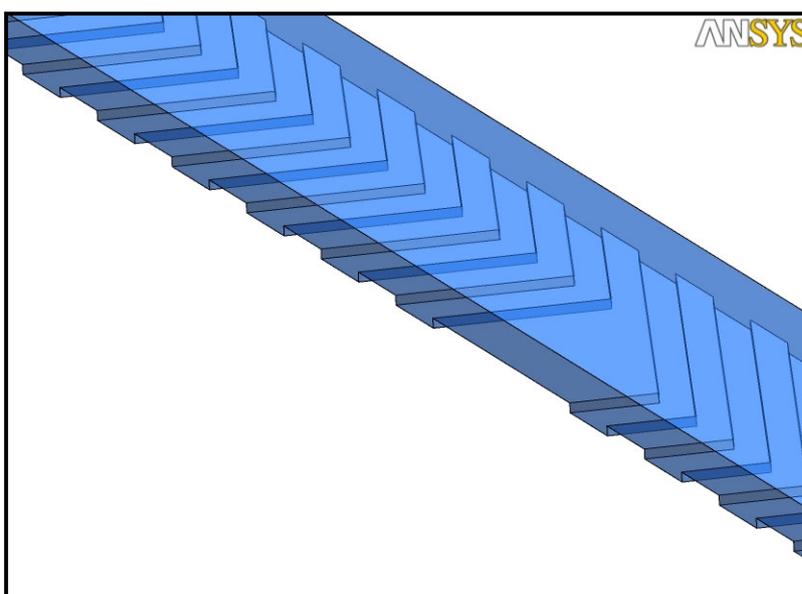


Figura 34 - Detalhe das ranhuras em ziguezague.

Nas figuras 35 e 36 verifica-se a torção das linhas de corrente gerada pelas ranhuras no fundo do micromisturador. Tal efeito foi obtido para as duas condições de alimentação testadas, tanto para alimentação perpendicular quanto para alimentação não perpendicular, como definida no micromisturador em formato –T.

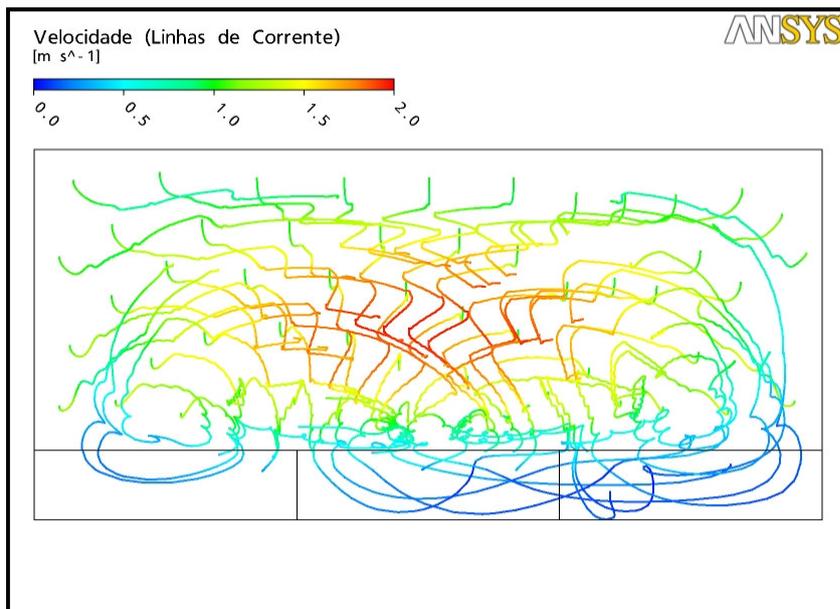


Figura 35 - Linhas de corrente para alimentação não perpendicular.

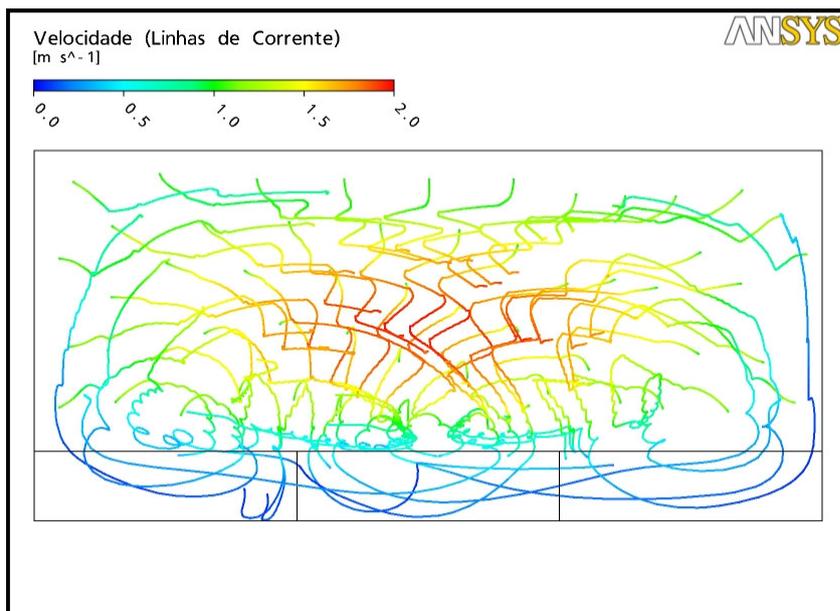


Figura 36 - Linhas de corrente para alimentação perpendicular.