

GUILHERME POLETTO DE SETA e LEANDRO JULIO MACHADO

Estudo do escoamento de emulsões utilizando uma ferramenta de simulação fluidodinâmica computacional (CFD) e testes experimentais

São Paulo
2012

GUILHERME POLETTO DE SETA e LEANDRO JULIO MACHADO

Estudo do escoamento de emulsões utilizando uma ferramenta de simulação fluidodinâmica computacional (CFD) e testes experimentais

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a conclusão do curso de Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia Química

Orientadores:
Prof. Dr. Roberto Guardani
Prof. Dr. José Luis de Paiva

São Paulo
2012

RESUMO

Este trabalho apresenta informações coletadas ao longo de 8 meses na Universität de Bremen e também dados de simulação computacional realizados nos laboratórios da USP.

A partir de um fluido de corte, uma emulsão muito utilizada para o processamento do metal, foram realizadas análises de turbidez com um sensor imerso na solução além da distribuição do tamanho de gotas das mesmas soluções, podendo assim, com base na teoria de Mie, relacionar os tamanhos de gotas com a turbidez obtida, com o objetivo do desenvolvimento de um sensor online para emulsões.

No entanto, foram detectados problemas relacionados ao escoamento e a influências de concentração, onde se necessitou um estudo posterior utilizando-se de técnicas de fluidodinâmica computacional para identificar a causa destes problemas encontrados e, assim, podermos relacionar quais devem ser as condições em que o sensor deve trabalhar, determinando limites e fatores de correção.

ABSTRACT

This work states information collected along 8 months in the Bremen Universität and also data obtained from computational simulation performed in USP labs.

From a metalworking fluid, a widely used emulsion for metalworking process, turbidimetric analysis were performed with a dip probe and was also determined, for the solutions, the droplet size distribution, in order to, based in Mie theory, relate the droplet size with the turbidity obtained, aiming to develop an online sensor for emulsion analysis.

However, problems related to flow and concentration influences were detected in previous analysis, requiring a further study using computational fluid dynamics to identify the cause of found problems and permitting to list which conditions the sensor must works, determining limits and correction factors.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Etapas da desestabilização da emulsão	6
Figura 2 - Esquema do funcionamento da sonda	8
Figura 3 - Espalhamento de luz na caracterização do tamanho de gotas	9
Figura 4 - Malvern Mastersizer 2000	9
Figura 5 - Múltiplo espalhamento decorrente da alta concentração	10
Figura 6 - Sistema de bombeamento e canal.....	13
Figura 7 - Fluidos de corte sem adição de CaCl_2 (embaixo) e com adição (em cima)	20
Figura 8 - Dimensões do sensor e da fenda	23
Figura 9 - Geometria do canal de seção quadrada de 3 cm de lado e comprimento de 20 cm. O sensor encontra-se localizada no centro de forma que a fenda esteja no plano central.....	23
Figura 10 - Estrutura da malha 1	24
Figura 11 - Estrutura da malha 2.....	25
Figura 12 - Estrutura da malha 3.....	25
Figura 13 - escoamento de emulsão água-óleo a 2 mps, 5% de fração volumétrica e partículas de 500 micra - Malha 3	26
Figura 14 - escoamento de emulsão água-óleo a 2 mps, 5% de fração volumétrica e partículas de 500 micra - Malha 2	26
Figura 15 - Perfil de velocidade no plano ZX para água (a) e óleo (b) com partículas de 0,1 μm	28
Figura 16 - Perfil de velocidade no plano ZX para água (a) e óleo (b) com partículas de 1 μm	28
Figura 17 - Perfil de velocidade no plano ZX para água (a) e óleo (b) com partículas de 50 μm	29
Figura 18 - Perfil de velocidade no plano ZX para água (a) e óleo (b) com partículas de 500 μm	29
Figura 19 - Perfil de fração volumétrica da fase dispersa para fração inicial de 5% e velocidade de 1 m.s-1 para partículas de diâmetros 0,1 μm (a), 1 μm (b), 50 μm (c) e 500 μm (d).....	30

Figura 20 - Perfil de fração volumétrica da fase dispersa para fração inicial de 5% e velocidade de 2 m.s ⁻¹ para partículas de diâmetros 0,1 µm (a), 1 µm (b), 50 µm (c) e 500 µm (d).....	31
Figura 21 - Perfil de fração volumétrica da fase dispersa para fração inicial de 5% e velocidade de 5 m.s ⁻¹ para partículas de diâmetros 0,1 µm (a), 1 µm (b), 50 µm (c) e 500 µm (d).....	32
Figura 22 - Perfil de fração volumétrica da fase dispersa para partículas de diâmetro 0,1 µm e frações volumétricas iniciais de 2% (a), 5% (b) e 10% (c).....	34
Figura 23 - Perfil de fração volumétrica da fase dispersa para partículas de diâmetro 500 µm e frações volumétricas iniciais de 2% (a), 5% (b) e 10% (c).....	35
Figura 24 - Perfil de velocidades analisados para os planos ZX e ZY para água (a) e óleo (b) a 2 m.s ⁻¹ , fração volumétrica de 5% e diâmetro de 500 µm.	36
Figura 25 - Perfil de fração volumétrica para óleo nos planos ZX e ZY a 2 m.s ⁻¹ , 5% de fração volumétrica e 0,1 µm	37
Figura 26- Perfil de fração volumétrica para óleo nos planos ZX e ZY a 2 m.s ⁻¹ , 5% de fração volumétrica e 500 µm	37

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Influência da concentração de fluidos de corte.....	15
Gráfico 2 - Influência da velocidade de agitação na espectroscopia.....	16
Gráfico 3 - Influência do aumento de temperatura do fluido de corte.....	17
Gráfico 4 - Variação das curvas espectroscópicas ao longo do tempo.....	18
Gráfico 5 - Análise da distribuição do tamanho de gotas ao longo do tempo.....	19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros comuns adotados à todas simulações	22
Tabela 2 - Numero de nós e elementos existentes em cada malha testada	24
Tabela 3 - Número de Stokes para cada tamanho de partícula e variando a velocidade	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CFD – Fluido Dinâmica Computacional

DTG – Distribuição do Tamanho de Gotas

MWF – Fluido de Corte

PIV – Velocimetria por Imagem de Partículas

RMS – Valor Quadrático Médio

LISTA DE SÍMBOLOS

μ – Viscosidade

D – Diâmetro da partícula

d_c – Dimensão mais restritiva

I – Intensidade de luz transmitida

I_0 – Intensidade de luz inicial

l – Caminho ótico

m_p – Massa da partícula

S_k – Número de Stokes

T – Tempo de relaxação

U_0 – Velocidade média

τ – Turbidez

SUMÁRIO

1. Objetivos	1
2. Introdução	2
3. Revisão Bibliográfica	3
3.1. Óleos lubrificantes e fluidos de corte	3
3.2. Emulsões	4
3.3. Formação e desestabilização de emulsões	4
3.4. Espectroscopia turbidimétrica	6
3.6. CFD	10
4. Metodologia	12
4.1. Experimental	12
4.2. Computacional	12
5. Resultados e discussões	14
5.1. Testes Experimentais	14
5.1.1. Concentração	14
5.1.2. Velocidade de agitação	15
5.1.3. Temperatura	16
5.1.4. Desestabilização ao longo do tempo com a adição de CaCl₂	17
5.2. Fluidodinâmica computacional (CFD)	20
5.2.1. Geometria do canal e sensor	22
5.2.2. Análise de malhas	23
5.2.3. Simulações	27
5.2.4. Planos adicionais	35
5.2.5. Cálculo do número de Stokes	38
6. Conclusão	40

1. Objetivos

A parte experimental deste trabalho de conclusão de curso tem como objetivos a análise da influência de diferentes fatores na desestabilização de uma emulsão, através de medidas da turbidez, através da espectrofotometria, e sua correlação com medidas da distribuição do tamanho de gotas.

A parte computacional desse TCC tem como objetivo a análise do escoamento de um sistema multifásico por um canal através da modelagem e simulação computacional, a fim de avaliar o comportamento do fluido na região de medição da turbidez, realizada na parte experimental.

2. Introdução

Esse Trabalho de Conclusão de Curso é parte integrante de um projeto intitulado “Emulsion-Process-Monitor”. Tal projeto é realizado em parceria com a Universidade de Bremen na Alemanha e é parte do programa BRAGECRIM - Iniciativa Brasil-Alemanha para Pesquisa Colaborativa em Tecnologia de Manufatura tendo como orientador o Prof. Dr. Roberto Guardani e como co-orientador o Prof. Dr. José Luis de Paiva.

O projeto tem como tema o desenvolvimento de um sensor para o monitoramento do processo de emulsões, utilizando-o para controle da estabilidade e qualidade de tais emulsões. As emulsões utilizadas para tal projeto são óleos lubrificantes e fluidos de corte.

O sensor é baseado na espectroscopia das emulsões e os parâmetros que alteram os valores obtidos. A partir da distribuição do tamanho de gotas é possível se determinar as curvas espectrométricas da emulsão. O objetivo final é obter, a partir das curvas espectrométricas, e baseado em redes neurais, a distribuição do tamanho de gotas com objetivo do controle de qualidade de um processo.

Ao longo deste trabalho foram obtidas informações sobre influências que poderiam ocasionar para a desestabilização de uma emulsão ou mesmo interferir na medida do sensor, uma vez que é uma geometria complexa para um escoamento, onde não se possui muitas informações a respeito do mesmo. Tais dados (influência de temperatura, velocidade de escoamento, concentração) requereu uma análise posterior do perfil de escoamento através do sensor e o que isso poderia interferir na concentração da emulsão e nos parâmetros que são adquiridos pelas técnicas turbidimétricas.

Essas análises foram realizadas por meio de softwares de resolução de equações em volumes finitos (CFD) e verificadas com a relação de Stokes que nos permite avaliar a tendência de descolamento da partícula ou não.

3. Revisão Bibliográfica

3.1. Óleos lubrificantes e fluidos de corte

Fluidos de corte são utilizados no processo de fabricação de peças metálicas em operações como perfuração, torneamento, fresagem, corte, entre outros¹. Para esses tipos de processos, necessitamos de fluidos que possuam características de resfriamento e lubrificação.

Tais fluidos podem ser gasosos, sólidos e na maioria dos casos, líquidos. Isso se dá pelo fato que fluidos de corte líquidos apresentam tanto características lubrificantes como refrigerantes, enquanto os gasosos só refrigeram e os sólidos só lubrificam.

O grupo de Fluidos de Corte Líquidos pode ser dividido em três subgrupos:

- Óleos de corte integrais (puros): óleos minerais (derivados de petróleo), óleos graxos (de origem animal ou vegetal), óleos sulfurados (enxofre) e clorados (cloro) que são agentes EP;
- Óleos emulsionáveis ou solúveis: são fluidos de corte em forma de emulsão composto por uma mistura de óleo e água na proporção de 1:10 a 1:1000. Sua composição é à base de óleos minerais, óleos graxos, emulsificados, agentes EP (enxofre, cloro, fósforo ou cálcio) e água.
- Fluidos químicos ou sintéticos: não contêm óleo mineral em sua composição, formam soluções transparentes (boa visibilidade no processo de corte). Composto por misturas de água e agentes químicos (aminas e nitritos, fosfatos e boratos, sabões e agentes umectantes, glicóis e germicidas).

Para o projeto, os fluidos emulsionáveis são os de maior importância e para utilizá-los, é importante um conhecimento mais aprofundado na área de emulsões.

3.2. Emulsões

Emulsão é um sistema heterogêneo composto de dois líquidos imiscíveis, um deles se encontrando intimamente disperso na forma de gotículas no outro.

Emulsões são termodinamicamente instáveis e tendem a voltar às fases óleo e água através da fusão ou coalescência das gotículas, a menos que seja estabilizada cineticamente por um terceiro componente, o agente emulsificante (surfactante ou tensoativo).

A estabilidade da emulsão é determinada pelo tipo e pela quantidade de agentes emulsificantes que agem na formação de gotas. Tais agentes atuam nas interfaces das gotículas, impedindo o coalescimento, mantendo assim uma fase dispersa em outro líquido.

Em uma emulsão, o líquido que se mantém na forma de gotículas dispersas é a fase descontínua (também chamada fase dispersa ou interna). O líquido que está ao redor das gotas é a fase contínua ou externa. Uma emulsão formada por óleo e por água deverá ter ou óleo ou água como fase dispersa, dependendo das características do agente emulsificante, de acordo com a Lei de Bancroft.

As emulsões podem ser classificadas em dois grandes grupos, um na qual há a presença de gotículas de água dispersas no óleo - água em óleo (A/O) e o outro que é formado por gotículas de óleo dispersas em água - óleo em água (O/A).

No caso desse projeto, as emulsões são do tipo óleo-em-água.

3.3. Formação e desestabilização de emulsões

Dois aspectos são fundamentais em relação à formação de emulsões, um deles é propiciar a formação do tipo de emulsão correto com a distribuição de tamanhos de partículas desejada e o outro é garantir a estabilização da dispersão de gotas.

Quando dois líquidos são misturados ou agitados mecanicamente na ausência de outros aditivos, ambas as fases tendem a formar gotículas de diferentes tamanhos. A distribuição de tamanhos está relacionada com as forças envolvidas durante o processo de agitação e também com o número de gotículas de cada líquido dependendo do volume relativo.

A energia livre de superfície do sistema, que depende tanto da área superficial total quanto da tensão interfacial, é gerada pelo aumento da área superficial durante a dispersão e o sistema se torna termodinamicamente instável.

Para diminuir isso, as gotículas de alta energia assumem a forma esférica, minimizando assim a área superficial. Com a colisão entre tais gotículas, ocorre o coalescimento reduzindo ainda mais a área superficial, porém a tensão superficial permanece constante.

O tipo de emulsão a ser formado (A/O ou O/A) depende da taxa relativa de coalescência das gotículas. Gotículas que mais rapidamente se coalescem formam a fase contínua.

Geralmente a fase contínua é formada pelo líquido presente em maior quantidade, pelo fato de quanto maior seja o número de gotículas, maior a probabilidade de colisão e coalescência.

Quando tem-se volumes de ambas as fases (água e óleo) próximos a 50%, outros fatores como ordem e taxa de adição de cada líquido são importantes.

Com a adição de emulsificantes, o tipo de emulsão formado não é simplesmente uma função do volume das fases e da ordem da mistura, mas também das solubilidades relativas do emulsificante em óleo e em água. Em geral, a fase na qual o emulsificante é mais solúvel é considerada a fase contínua (Lei de Bancroft), portanto polímeros hidrofílicos e surfactantes promovem emulsões O/A e tensoativos lipofílicos promovem emulsões A/O. A coalescência da fase em que o emulsificante é mais solúvel é preferencial

devido ao fato de quando as gotas se chocam o emulsificante é facilmente deslocado da interface, diminuindo a proteção contra a coalescência.

Se a agitação cessa, a coalescência continuará até a completa separação, isto é, até que o estado de energia livre mínimo seja alcançado. Isso se dá pelo comportamento instável das emulsões e é a chamada desestabilização da emulsão.

A desestabilização de uma emulsão ocorre em quatro etapas: floculação, coalescência, formação de creme e separação total das fases. A figura 1 representa tais etapas:

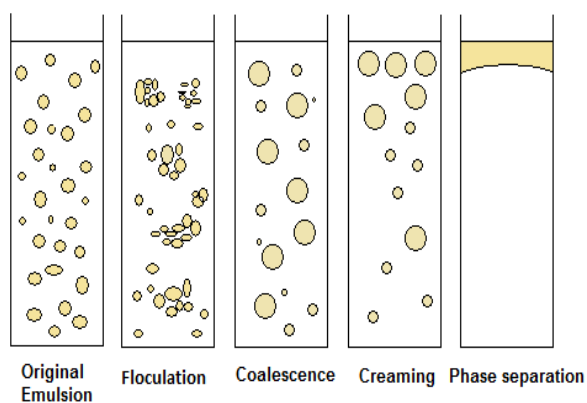


Figura 1 - Etapas da desestabilização da emulsão

Devido a grande utilização de emulsões em diversos processos, nos quais as características intrínsecas destas são essenciais e não podem ser alteradas durante seu uso, um estudo on-line do comportamento da estabilidade das emulsões faz-se necessário.

3.4. Espectroscopia turbidimétrica

A espectroscopia é um método poderoso e pode ser classificado de acordo com a natureza de interação dos átomos e moléculas quando excitados. Dentre inúmeras classificações, podemos citar três principais [1]:

- Espectroscopia de absorção, que compara o quanto que da energia incidente foi absorvida pela substância;

- Espectroscopia de emissão, baseada no princípio da energia emitida pela substância quando excitada;
- Espectroscopia de espalhamento, relacionada à quantidade de luz que sofreu espalhamento em um determinado ângulo.

Com a relação entre as intensidades de luz (emitida e transmitida), é possível se determinar a turbidez de uma solução, de acordo com a fórmula abaixo:

$$\tau = \left(\frac{1}{l}\right) \cdot \ln\left(\frac{I_0}{I}\right)$$

Além disso, segundo Mie [2], a turbidez de uma solução pode ser relacionada, caso haja partículas em suspensão, com a distribuição do tamanho dessa, segundo fórmula abaixo:

$$\tau(\lambda_0) = \int_0^{\infty} \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot Q_{ext}(\lambda_0, D) \cdot f(D) dD$$

Onde para cada comprimento de onda (λ_0) temos uma integral relacionando a função da distribuição do tamanho de partícula, o diâmetro e um coeficiente de extinção, que leva em conta os índices de refração (real e complexo) [3].

Para a aquisição das curvas espectrométricas, foi utilizado um sistema da Ocean Optics com um detector HR 2000+ ES, uma fonte de luz DH 2000-BAL e uma sonda de transmissão (figura 2) T3000-RT-UV-VIS com uma ponteira de 2 mm de caminho óptico (RT-2MM), que pode ser substituída por outras ponteiros de tamanhos diferentes.

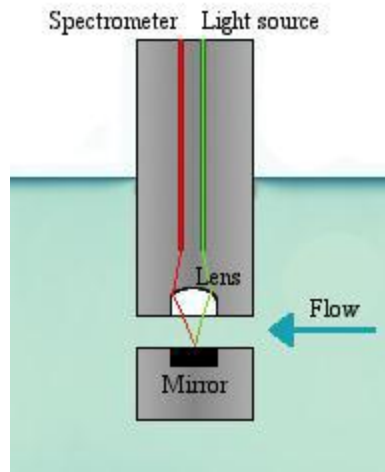


Figura 2 - Esquema do funcionamento da sonda

Na ponta, a luz passa pela lente convergente e posteriormente pelo líquido, onde é espelhada e retorna pelo mesmo caminho óptico.

3.5. Caracterização do tamanho de partícula

A caracterização do tamanho de partículas, ou no caso de emulsões, onde se trabalha com diâmetro de gotas ou bolhas, é uma lista de valores onde se podem encontrar partículas, arranjadas de acordo com os seus tamanhos [4].

Existem vários métodos de caracterização dessa distribuição e algumas hipóteses são adotadas devido a complexidade do sistema (uma delas é assumir que as partículas são esféricas, e que o seu tamanho não varia com diluições).

Um método comumente usado para a caracterização da distribuição de gotas é o uso da luz espalhada, onde o ângulo da luz espalhada de partículas pequenas é maior do que o da luz espalhada de partículas grandes (como mostra a figura 3)

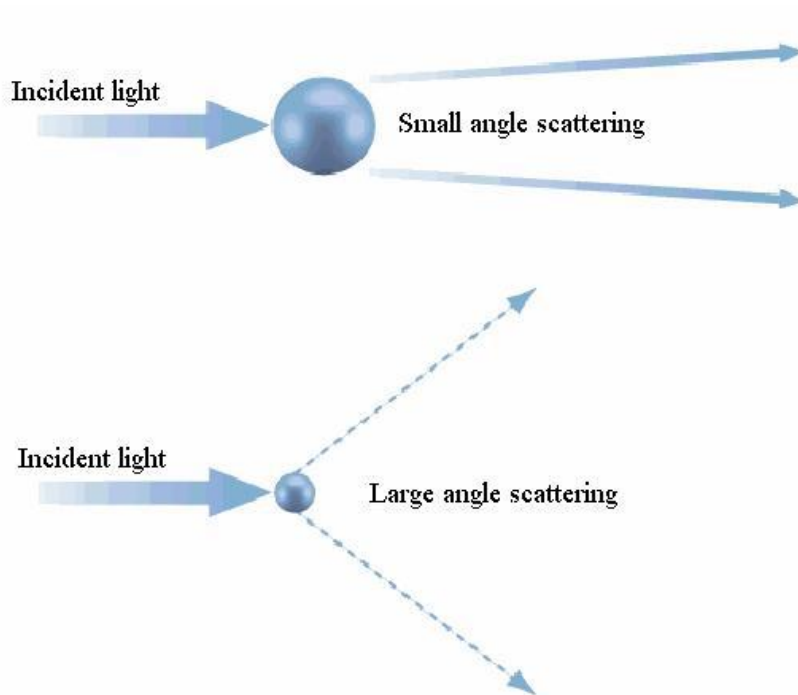


Figura 3 - Espalhamento de luz na caracterização do tamanho de gotas

Com base nesse princípio, é possível se determinar o tamanho de cada partícula analisada e também a distribuição de tamanhos dela em uma solução.

No sistema, a luz passa pela amostra e por uma lente de Fourier que converge a luz não espalhada e diverge a luz espalhada. Dessa forma, a luz espalha é detectada em um dos 53 sensores e utilizada para cálculos posteriores (vide figura 4). No sistema, existem detectores para ângulos largos e também detectores traseiros, que nos dão informações importantes para partículas muito pequenas.

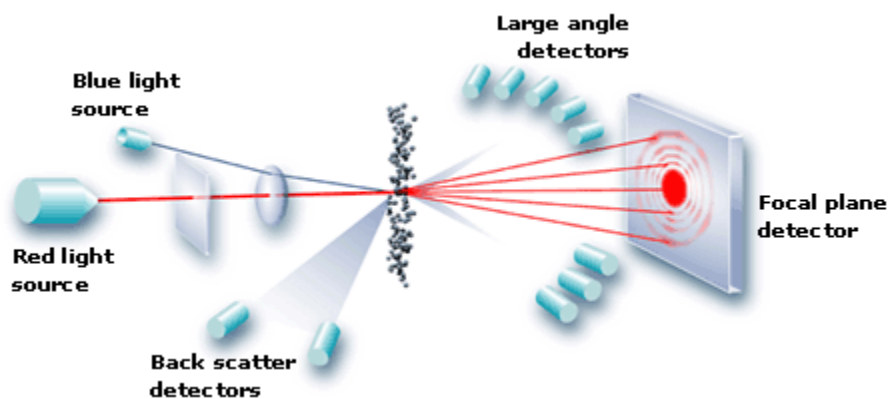


Figura 4 - Malvern Mastersizer 2000

No entanto, é recomendável que a solução seja diluída (de 4% a 5% em água) para evitar a presença de múltiplo espalhamento, resultando em uma falsa aquisição de dados. O múltiplo espalhamento decorre de uma grande quantidade de partículas que fazem com que o mesmo raio incidente reflita diversas vezes e desvie o caminho real de uma partícula apenas (veja figura 5).

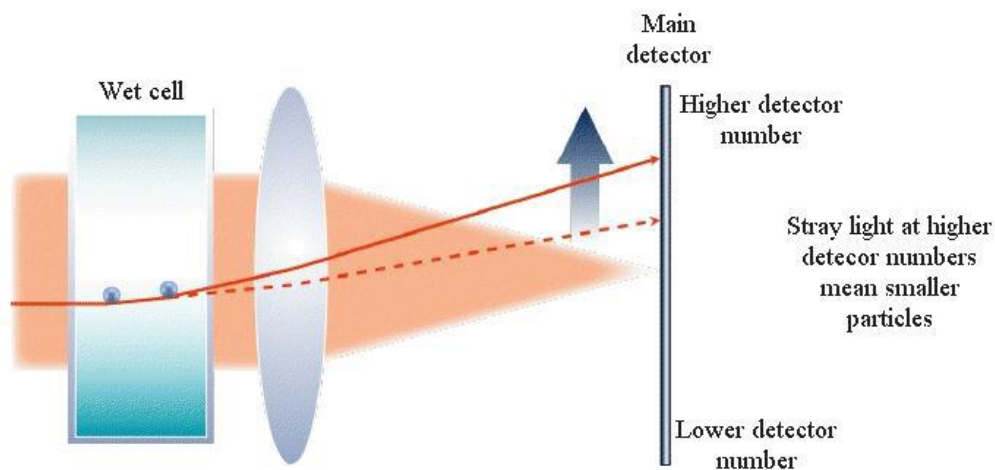


Figura 5 - Múltiplo espalhamento decorrente da alta concentração

Outro fator que interfere na distribuição do tamanho de gotas é a utilização da agitação com base em ultrassom. O uso do ultrassom no sistema insere energia que permite com que se forma menores partículas, mudando assim o resultado esperado para a emulsão.

A aquisição do tamanho de gotas foi realizada em um Malvern Mastersizer 2000 com um sistema de bombeamento HydroS Unit. A lente utilizada ia de uma faixa de 0,02 μm até 2000 μm . Foram utilizados índices de refração de 1,333 para a água e 1,470 para o fluido de corte (índice típico de óleos).

3.6. Fluidodinâmica Computacional (CFD)

Além da análise do comportamento de uma emulsão através de medidas de turbidez e de distribuição do tamanho de gotas, conforme os itens anteriores, a análise computacional do escoamento de emulsões também possibilita a avaliação do comportamento da desestabilização dessas. Estudos computacionais analisando a influência de fatores, tais como a variação das

velocidades de escoamento e de temperatura podem ser realizados, prevendo assim o comportamento real, sem a necessidade de testes experimentais [5].

Modelos de coalescência podem ser implementados em CFD, e assim pode-se analisar o comportamento das emulsões, por exemplo, durante o escoamento em um canal como o que será utilizado nos testes experimentais.

Dessa maneira, com a obtenção dos resultados experimentais e simulados, podemos desenvolver e aprimorar o canal e o sensor para que se tenha uma melhor performance na aquisição dos dados, evitando assim custos de manutenção, desvios do modelo proposto e aumentar a gama de condições que podem ser trabalhadas.

Ferramentas de CFD foram elaboradas com o objetivo de possibilitar uma simulação numérica de processos físicos e/ou físico-químicos que apresentam escoamento e através de resoluções matemáticas são capazes de predizerem aspectos tais como campos de concentração, velocidade, pressão, temperatura, etc.

A utilização de softwares de CFD nas diversas áreas da indústria, dentre elas as que atuam em segmentos cuja Engenharia Química está presente, vem crescendo muito nos últimos anos. Isso se deve à sua empregabilidade no estudo dos diferentes comportamentos, possibilitando a realização de análises consistentes e importantes, sem que haja a necessidade de se estudar o fenômeno através de testes experimentais que apesar de serem inevitáveis para validações, podem ser realizados em uma escala menor.

4. Metodologia

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi dividido em duas partes:

- Experimental: Análise do comportamento da desestabilização de uma emulsão através da medida da turbidez, através da espectrofotometria, e sua correlação com medidas da distribuição do tamanho das gotas.
- Computacional: Análise do comportamento da desestabilização de uma emulsão através de modelagem e simulação computacional através da utilização de uma ferramenta de fluidodinâmica computacional.

4.1. Experimental

Foram realizados diferentes experimentos para avaliar a influência de diferentes fatores no comportamento de emulsões. Os fatores analisados foram:

- Concentração;
- Velocidade de agitação;
- Temperatura;
- Adição de Cloreto de Cálcio (análise da desestabilização de uma emulsão ao longo do tempo).

Os fluidos de corte utilizados no projeto foram o Multan 71-2 da Henkel, o Hakuform 70-69 da Kluthe e o S91 da Jokisch.

Os testes experimentais consistiam de medidas da espectroscopia e da distribuição do tamanho de gotas para diferentes amostras utilizando-se os fluidos de corte citados acima.

4.2. Computacional

Em Bremen foi construído um sistema de bombeamento, que será utilizado para analisar a influência da velocidade de escoamento para diferentes concentrações no comportamento de emulsões de diferentes concentrações.

O esquema proposto está representado na figura 6.

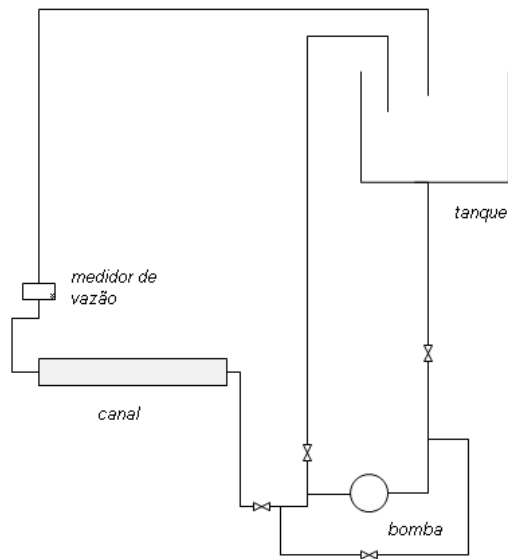


Figura 6 - Sistema de bombeamento e canal

O canal representado na figura 6 é o volume de controle estudado nesse TCC, este canal apresenta seção quadrada na qual o fluido escoa em uma velocidade determinada. Neste canal está mergulhado um sensor cilíndrico com uma fenda de 1 mm por onde o fluido escoa e se mede a turbidez..

Na região onde serão realizadas as medições é imprescindível que não haja concentração da fase dispersa, ou seja, a concentração na fenda deve ser igual à concentração do fluido na entrada. Caso contrário as medidas não representarão a realidade, ou seja, o que está sendo medido não pode ser considerado para uma análise razoável do que está ocorrendo. O sensor é muito sensível à variações na concentração da fase dispersa, ou seja, caso aconteça a fidelidade da medida estará comprometida.

Portanto, o estudo computacional foi realizado com o objetivo de analisar o comportamento do escoamento do fluido na região na qual são realizadas as medições espectroscópicas.

5. Resultados e discussões

5.1. Testes Experimentais

Conforme fora mostrado na Metodologia, durante esse trabalho foram realizados experimentos para avaliar a influência de diferentes fatores no comportamento de emulsões. Os fatores analisados foram:

- Concentração;
- Velocidade de agitação;
- Temperatura;
- Adição de Cloreto de Cálcio (análise da desestabilização de uma emulsão ao longo do tempo).

Devido à resolução do aparelho e também às condições de aquisição dos dados (tempo de aquisição, redução de interferências e outros fatores), notamos em diversos gráficos a presença de um limite. No entanto, o que interessa para a análise é que o formato da curva varia de acordo com o aumento do tamanho de partícula.

Cada fator influencia o comportamento da emulsão de uma forma diferente e as análises de cada um serão apresentadas a seguir:

5.1.1. Concentração

Foram feitas seis amostras com concentrações diferentes (2%, 5%, 8%, 10%, 15% e 20% em massa) analisadas com a sonda. Além disso, foi simulado, com base na distribuição do tamanho de gotas e na teoria de Mie e avaliado por um “script” baseado em um programa de base Fortran desenvolvido por Bohren e Huffman [6]. No entanto, a simulação apresenta o formato da curva, mas, como não é possível se determinar o número de gotas na distribuição do tamanho de gotas (estipulado em um valor arbitrário), a curva aparece aumentada.

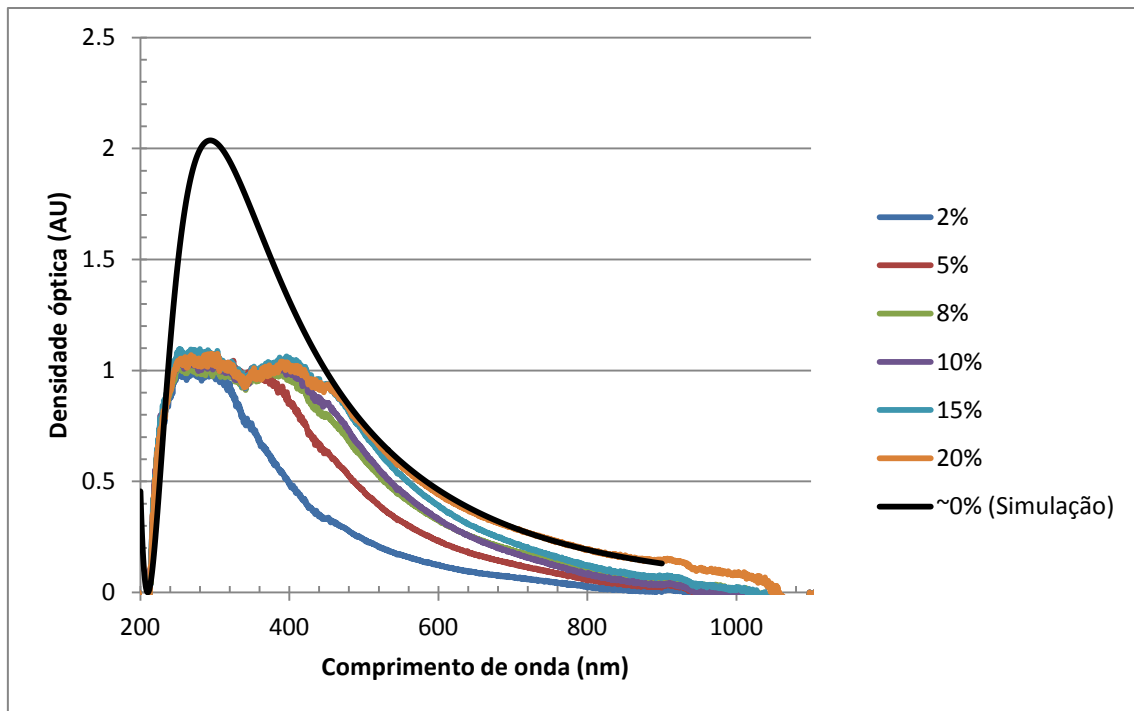


Gráfico 1 - Influência da concentração de fluidos de corte

Quanto maior é a concentração, maior a densidade óptica do sistema. Além disso, podemos notar uma pequena mudança no formato da curva devido à coalescência das gotas de óleo.

5.1.2. Velocidade de agitação

Para desenvolver um sensor online, precisamos identificar se há influência no tamanho de gota, e, conseqüentemente, no formato da curva, devido ao escoamento, já que a sonda causa uma perturbação no mesmo e o fluido sofre influência de suas paredes. Além disso, o escoamento pode ocasionar a formação de zonas mortas, onde pode haver acúmulo ou escassez de gotas dentro da fenda, ocasionando um erro na medida.

Para isso, foi medida, sobre agitação uma mesma amostra de concentração 5% em massa, onde percebemos que a curva se mantém praticamente constante até uma agitação de 700 rpm e após isso começa a aumentar. Acima de 1000 rpm nota-se a formação de bolhas e sua forte influência na densidade óptica do sistema.

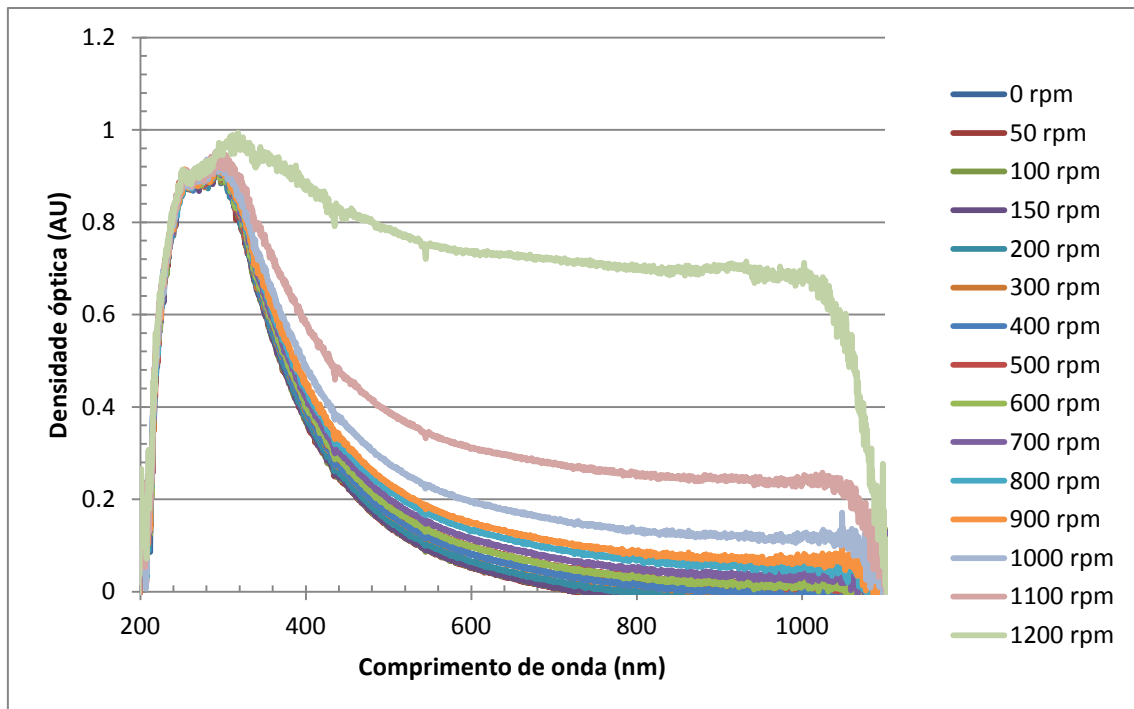


Gráfico 2 - Influência da velocidade de agitação na espectroscopia

5.1.3. Temperatura

Outro fator importante a ser analisado é a temperatura, uma vez que o fluido de corte, além de ser armazenado em temperaturas diferentes, ele está sempre em contato com o corte de metal que atinge temperaturas muito altas (acima de 1000°C). Como a função do fluido de corte é também a refrigeração desse metal, sua temperatura sobe muito.

Foi então medida para uma amostra de 5% em massa sobre aquecimento, diversas temperaturas e suas correspondentes curvas de espectrometria.

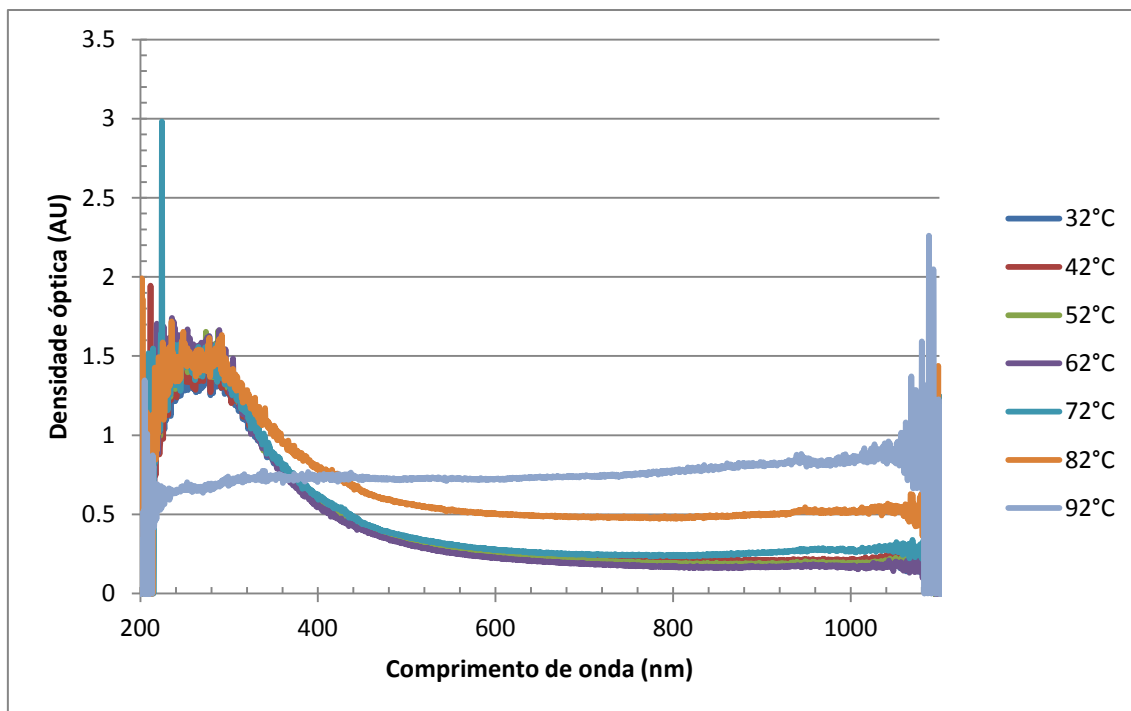


Gráfico 3 - Influência do aumento de temperatura do fluido de corte

Percebe-se que a influência de temperatura é pequena na alteração do formato da curva para temperaturas baixas. Para temperaturas altas (acima de 70°C), percebe-se a formação de bolhas (devido à evaporação) e também a coalescência de gotas.

5.1.4. Desestabilização ao longo do tempo com a adição de CaCl_2

Através das medições de turbidez e da distribuição do tamanho de gotas ao longo do tempo pode-se verificar o fenômeno de desestabilização (coalescência) de uma emulsão.

A adição de um sal, como por exemplo, o Cloreto de Cálcio, no sistema óleo-água pode-se notar sua influência sobre a estabilidade. O sal altera a carga superficial, desativa emulsificantes aniônicos e modifica a densidade da fase líquida contínua, provendo assim a desestabilização das emulsões mais rapidamente.

Diferentes concentrações de CaCl_2 foram utilizadas. As emulsões eram preparadas em uma proporção de 30 g de água bi-destilada e 1,5 g de fluido de

corde (Yokisch S91) para diferentes concentrações de uma solução de cloreto de cálcio (20g de água bi-destilada para 2 g de cloreto de cálcio sólido).

Os resultados abaixo são relativos a uma concentração de 0,25g dessa solução adicionadas a emulsão óleo-água. São apresentados os gráficos de espectrometria turbidimétrica (turbidez versus comprimento de onda) e da distribuição do tamanho de gotas em uma faixa de análise de 5 a 18000 minutos.

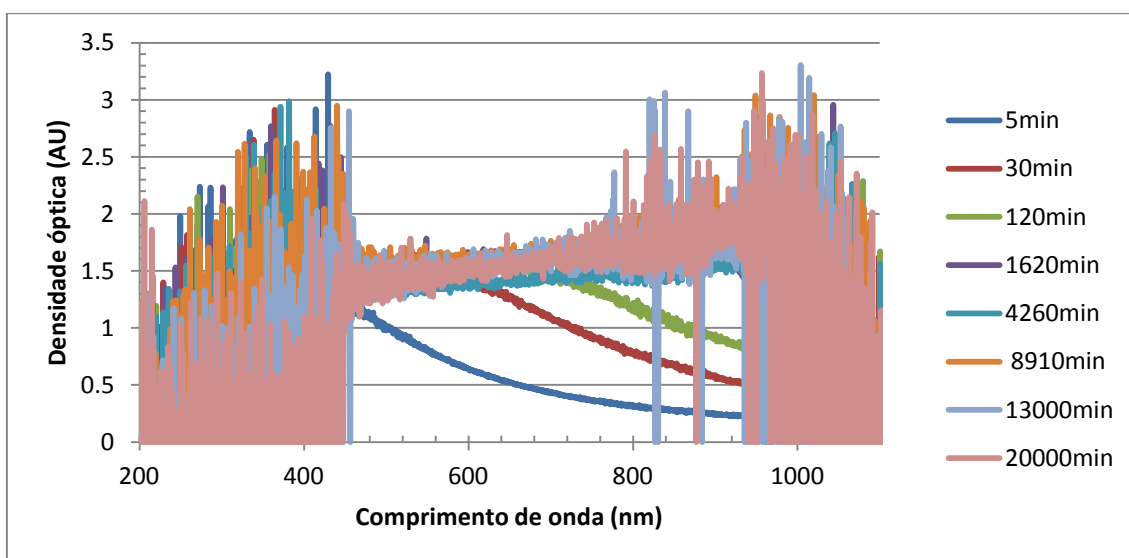


Gráfico 4 - Variação das curvas espectroscópicas ao longo do tempo

Ao analisarmos o gráfico 4, pode-se perceber que a qualidade do sinal obtido é baixa (oscilações) nas faixas de 200 a 400 nm e acima de 900nm, ou seja, o sinal tem melhor qualidade na área visível do espectro.

Pode-se notar também que a turbidez sempre cresce ao longo do tempo, isso representa um aumento do tamanho das gotículas, assim como apresentado no gráfico 5.

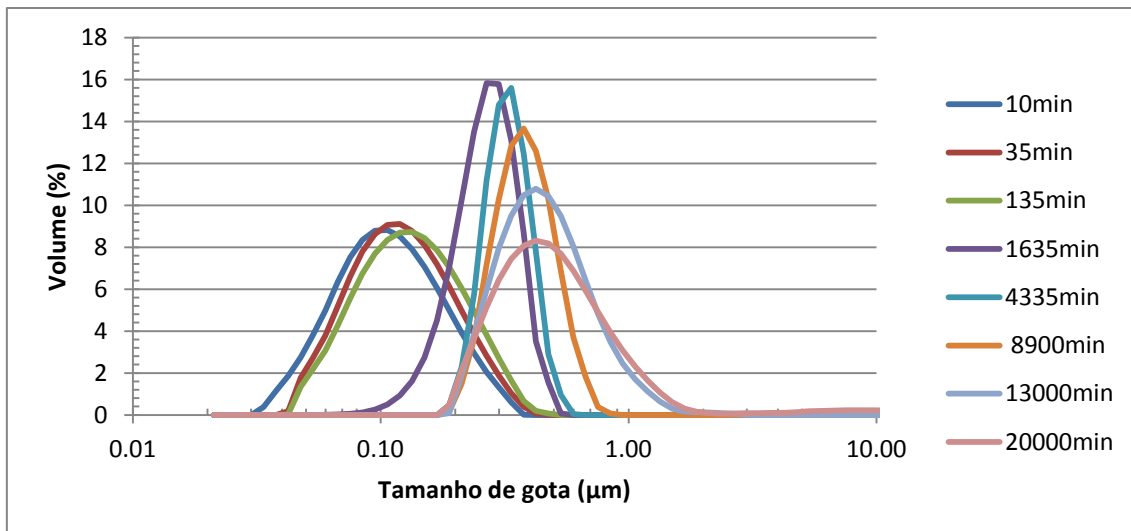


Gráfico 5 - Análise da distribuição do tamanho de gotas ao longo do tempo

Ao analisarmos a distribuição do tamanho de gotas ao longo do tempo, pode-se perceber que o tamanho de partícula sempre cresce, o que era esperado, já que o fenômeno de coalescência tem como princípio a formação de gotículas maiores, após a flocculação das gotículas menores.

Percebe-se então, que a adição de um sal ajuda na desestabilização de uma emulsão. Uma emulsão sem adição de cloreto de cálcio demoraria muito mais para desestabilizar e dividir em duas fases do que com a presença de um sal. Podemos ver essa diferença pela análise da figura 7.

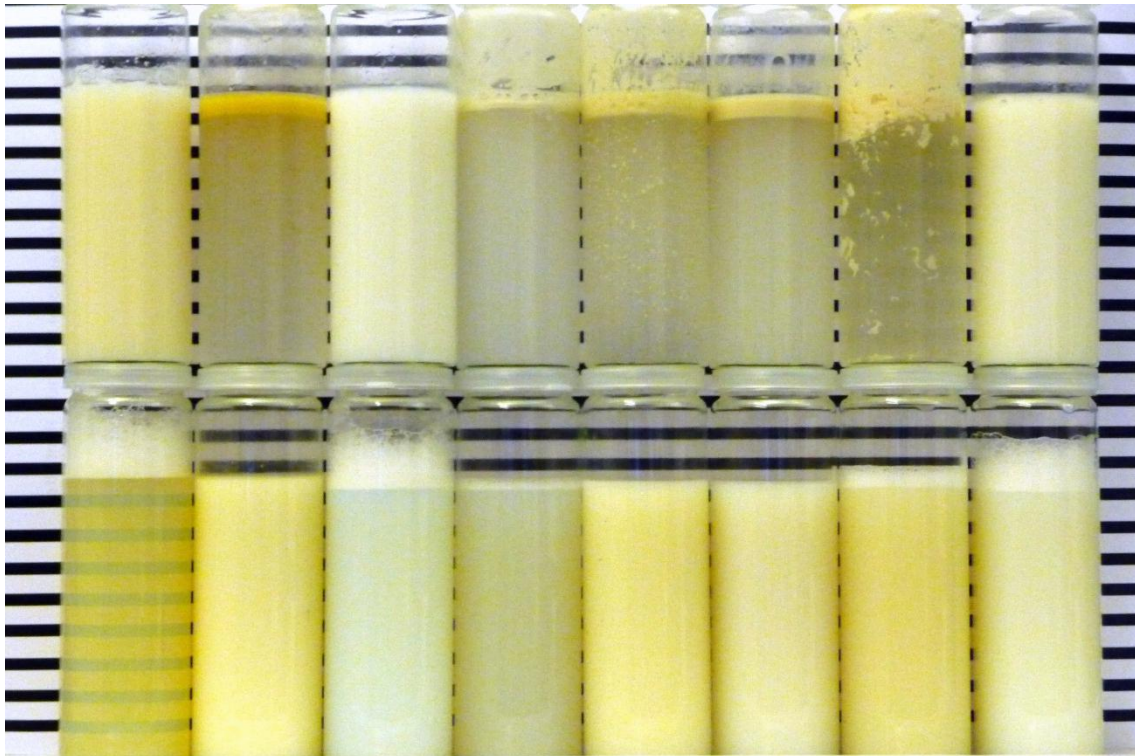


Figura 7 - Fluidos de corte sem adição de CaCl_2 (embaixo) e com adição (em cima)

As amostras da parte superior da figura foram preparadas com a adição de Cloreto de Cálcio, enquanto as amostras da parte inferior foram preparadas sem a adição.

Pode-se notar que as amostras da parte inferior ainda não se desestabilizaram totalmente, enquanto as da parte superior sim.

5.2. Fluidodinâmica computacional (CFD)

Durante o período do TCC1 foram estudados dois diferentes Softwares (openFOAM e CFX).

A ideia inicial foi utilizar um software livre para o estudo, que apresenta como principal vantagem o fato de ser gratuito, já que licenças de softwares de Simulação Fluidodinâmica Computacional são caras. Para isso escolheu-se o OpenFOAM®, que é uma ferramenta baseada em programação C++ e que pode ser utilizada em soluções de problemas mecânicos contínuos, incluindo CFD. Além de sua utilização ser gratuito, outro ponto principal do openFOAM é a possibilidade de alterar os códigos do programa, para assim adequar melhor

a simulação a cada caso específico. O problema a ser simulado deixa de ser uma “caixa preta” e pode ser melhor interpretado, com a finalidade de obter-se um melhor resultado da simulação.

Foram realizados diferentes tutoriais, testando diferentes tipos de solvers e condições de contorno, porém apesar das vantagens citadas, devido ao curto período de tempo dessa primeira etapa do TCC, e principalmente, à alta complexidade de se programar em openFOAM, optou-se por não trabalhar o openFOAM por ora.

O software escolhido para essa mudança foi o CFX, da ANSYS Inc., que é um software comercial de CFD, e também pode ser utilizado nesse projeto. A utilização do CFX traz como principal vantagem uma maior facilidade e rapidez de aprendizado, devido a sua interface “amigável”. Para a geração da geometria e da malha foi utilizado o software Workbench, também da ANSYS Inc.. Outro motivo da utilização do CFX para as simulações desse projeto é sua alta empregabilidade em estudos de sistemas multifásicos.

Após a definição dos softwares, primeiramente criou-se a geometria, que será melhor detalhada no tópico 5.2.1. Após isso foram criadas três diferentes malhas, que foram avaliadas com o objetivo de selecionar a mais adequada para a simulação, tópico 5.2.2. O estudo foi baseado no escoamento de um fluido composto por duas fases, contínua (água) e dispersa (gasolina) e as análises feitas com base na geometria e malha escolhidas, tiveram como objetivos analisar a influência de diferentes fatores no comportamento do fluido.

Os parâmetros analisados foram:

- Diferentes tamanhos de gota: 0,1, 1, 50 e 500 micra.
- Diferentes frações volumétricas da fase dispersa (gasolina): 2%, 5% e 10%.
- Diferentes velocidades: 1, 2 e 5 m/s.

Para a abordagem multifásica foi escolhida a de Euler-Euler, onde as diferentes fases são tratadas matematicamente como contínuas. O outro tipo

de abordagem, Euler-Lagrange, na qual a fase fluida é tratada como uma série contínua e a fase discreta é resolvida através do campo de escoamento previamente calculado, não foi abordada nesse estudo.

A tabela 1 apresenta os parâmetros comuns adotados durante todas as simulações em CFD durante este trabalho:

Tabela 1 - Parâmetros comuns adotados à todas simulações

Local	Parâmetro	Valor / Opção
Geral	RMS	1,00E-04
Geral	Fator de "Timescale"	1,1
Fase 1	Morfologia	Fluido Contínuo
Fase 2		Fluido Disperso
Fase 1	Material	Água
Fase 2		C ₈ H ₁₈ l
Entrada	Turbulência	Média (Intensidade = 5%)
Saída	Pressão Estática	0 Pa

5.2.1. Geometria do canal e sensor

A geometria do canal e do sensor foi elaborada no software Workbench da ANSYS tomando como base o canal construído na Universität Bremen e na sonda adquirida por eles. Além disso, foi definido que a fenda que o sensor possui deveria ficar no centro do canal, para que não houvesse influências da parede no escoamento. Além disso, o canal simulado possui um comprimento suficientemente grande para que o fluido desenvolva completamente o escoamento. As dimensões do canal estão abaixo nas Figuras 8 e 9.

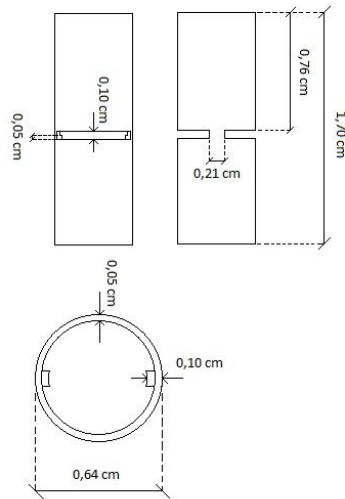


Figura 8 - Dimensões do sensor e da fenda

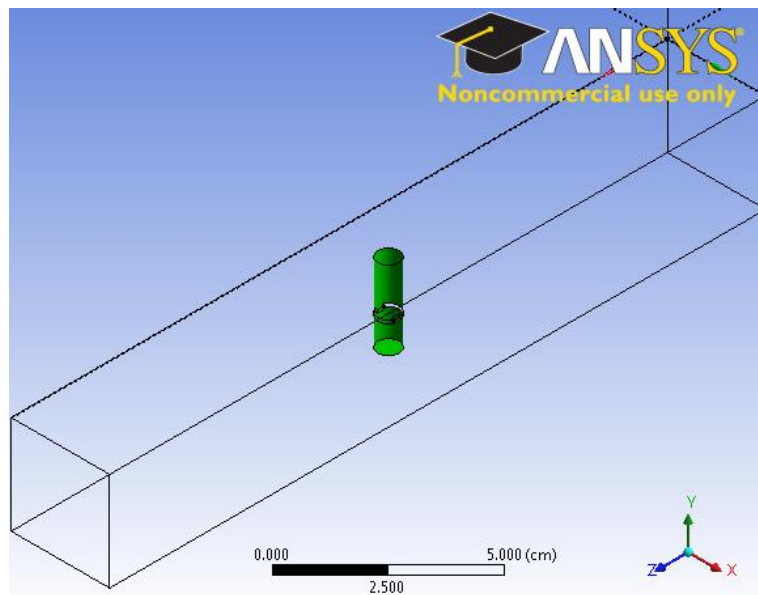


Figura 9 - Geometria do canal de seção quadrada de 3 cm de lado e comprimento de 20 cm. O sensor encontra-se localizada no centro de forma que a fenda esteja no plano central

5.2.2. Análise de malhas

Foram estabelecidos alguns parâmetros de criação da malha, onde se utilizou uma otimização do próprio Workbench para a criação da malha de acordo com o software de simulação (CFX). Após essa malha grosseira, foram elaboradas três malhas com refinamentos em áreas consideradas críticas e

que portanto, necessitavam um melhor detalhamento. Foram testadas três malhas diferentes para definir qual delas seria a mais adequada para utilização nas simulações.

Nos três casos, as malhas geradas foram do tipo tridimensional, não-estruturadas e com elementos de diversos formatos (tetraédricos, piramidais e prismas). A Tabela 2 apresenta os números de elementos e números de nós de cada uma delas:

Tabela 2 - Numero de nós e elementos existentes em cada malha testada

	Elementos	Nós
Malha 1	342455	71820
Malha 2	711352	214239
Malha 3	1359783	344572

As Figuras 10 a 12 representam a estrutura das malhas utilizadas nas simulações.

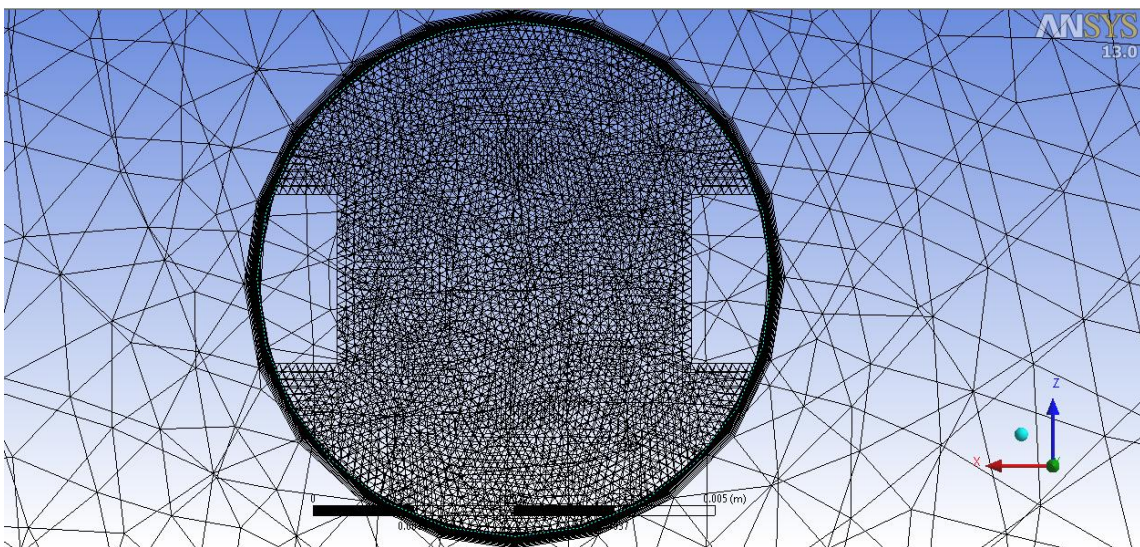


Figura 10 - Estrutura da malha 1

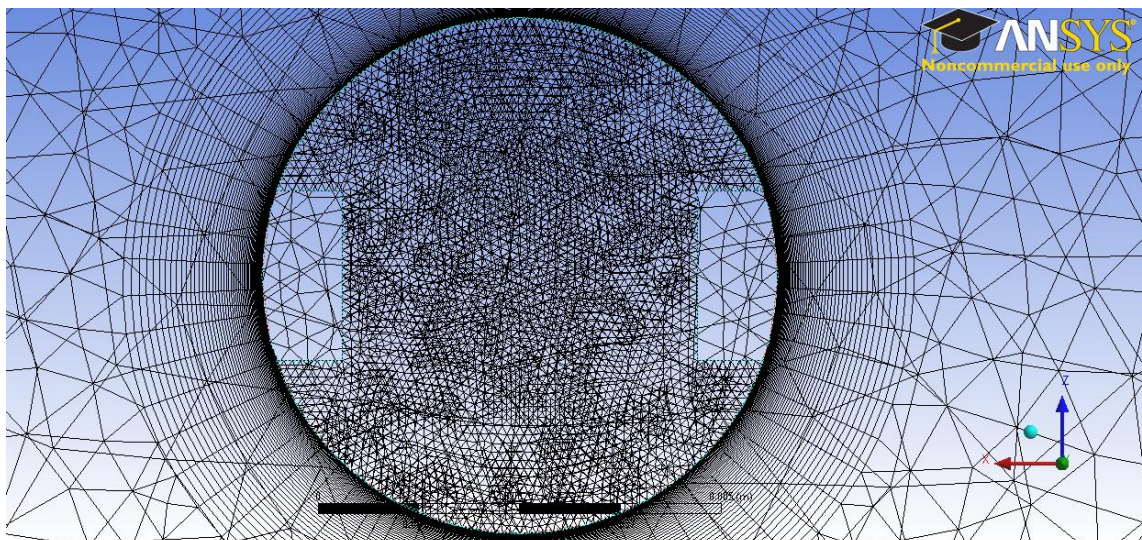


Figura 11 - Estrutura da malha 2

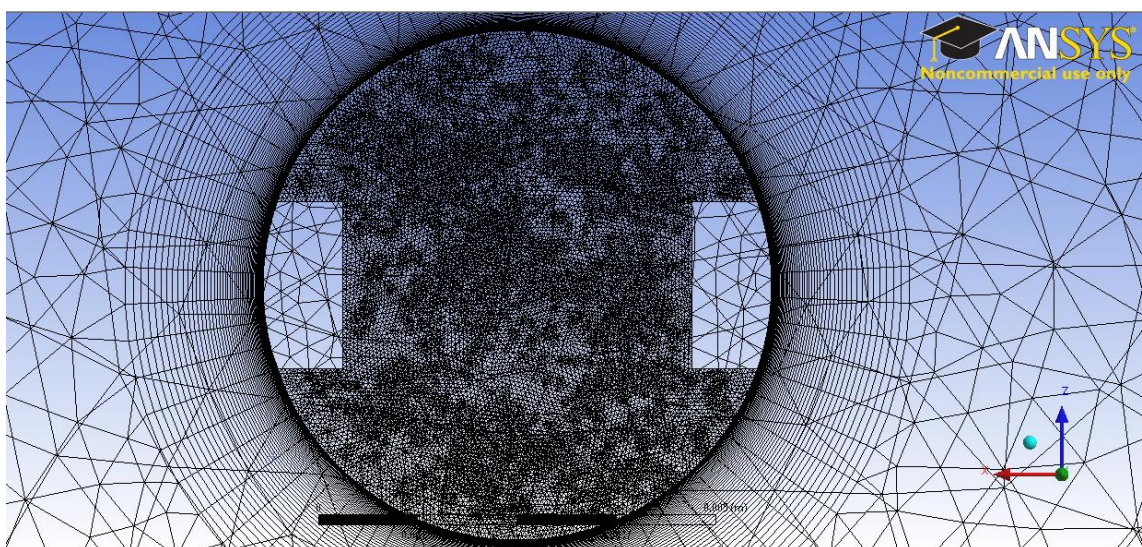


Figura 12 - Estrutura da malha 3

A malha 1 apresentou pouco refinamento, onde priorizou-se a velocidade da simulação, no entanto ao ser utilizada, não foi possível obter resultados satisfatórios, uma vez que esta não convergiu para nenhuma condição simulada, e então foi descartada logo de início.

Já a malha 2 não apresentou problemas de convergência e os tempos de simulações computacionais foram aceitáveis (cerca de 30 minutos). No entanto, comparando-se os resultados da malha 2 com a malha 3 nota-se que para algumas simulações os resultados não foram coincidentes e ao relacionar o número de Stokes com o perfil de velocidade obtido em cada malha percebeu-se uma divergência para partículas grandes, onde a tendência seria

o descolamento da partícula (número de Stokes $\gg 1$) e na malha 2 não ocorre tal fenômeno.

Devido a tais fatores, e também levando em conta o tempo de simulação computacional, foi escolhido a malha 3, onde os resultados obtidos estavam de acordo com o perfil de escoamentos esperado, as partículas seguiam a lei de Stokes e o tempo computacional não era extremamente elevado (cerca de 50 minutos por simulação) conforme pode ser observado nas Figuras 13 e 14.

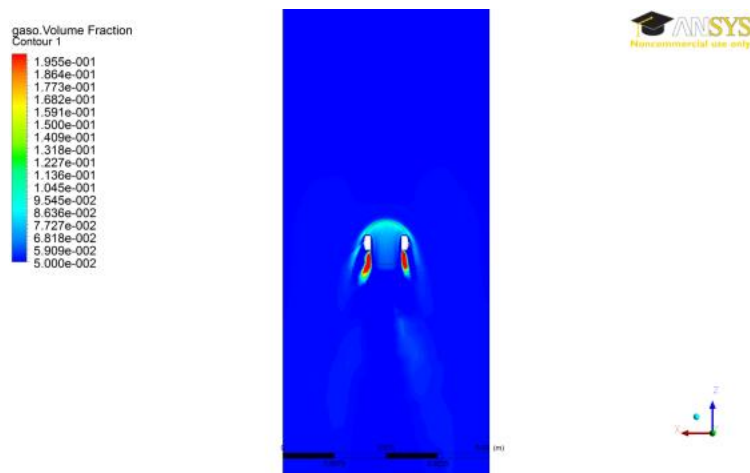


Figura 13 - Escoamento de emulsão água-óleo a 2 mps, 5% de fração volumétrica e partículas de 500 micra - Malha 3

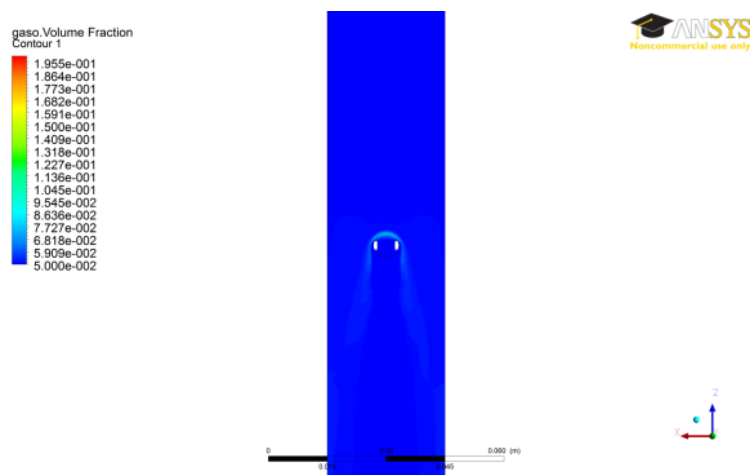


Figura 14 - Escoamento de emulsão água-óleo a 2 mps, 5% de fração volumétrica e partículas de 500 micra - Malha 2

Outras malhas, com maiores números de elementos, foram testadas no entanto não se obteve resultados para simulações simples apenas com água devido a convergência estipulada não ter sido atingida.

5.2.3. Simulações

Nas simulações foram analisadas as variações de velocidade do escoamento da emulsão através da fenda e também se há influência para diferentes tamanhos de gotas e para diferentes concentrações iniciais. Com isso, podemos dividir o grupo de análises para a variação do tamanho de gotas, variação da velocidade e por fim variação da concentração.

O modelo escolhido para a simulação foi um modelo onde não se considera a coalescência de partículas, pois envolve a determinação de parâmetros para a fase dispersa do fluido de corte, sendo dificultada pela formulação fechada desses tipos de fluidos.

5.2.3.1. Tamanho de gotas

Foram utilizados quatro tamanhos diferentes de gotas para a análise do escoamento (0,1 μm , 1 μm , 50 μm e 500 μm). Os dois maiores tamanhos de gotas nos servem como parâmetro de análise do escoamento de acordo com o esperado, mas não representa a realidade do escoamento de uma emulsão de fluido de corte, onde os maiores tamanhos de gotas estão entre 0,1 a 1 μm . No entanto, devido ao número de Stokes desses tamanhos serem muito pequenos, não há o descolamento da partícula do fluido, e, portanto, a partícula caminhará junto ao fluido e não haverá acúmulo de concentrações em nenhum ponto.

Para a análise do escoamento foi analisado o perfil de velocidades de cada fluido e também a fração volumétrica da fase dispersa.

Dessa maneira, temos os perfis de velocidade para frações volumétricas de 2% (valores mínimos de concentrações de emulsões de fluidos de corte) e para diferentes tamanhos de gotas à mesma velocidade (Figuras 15 a 18)

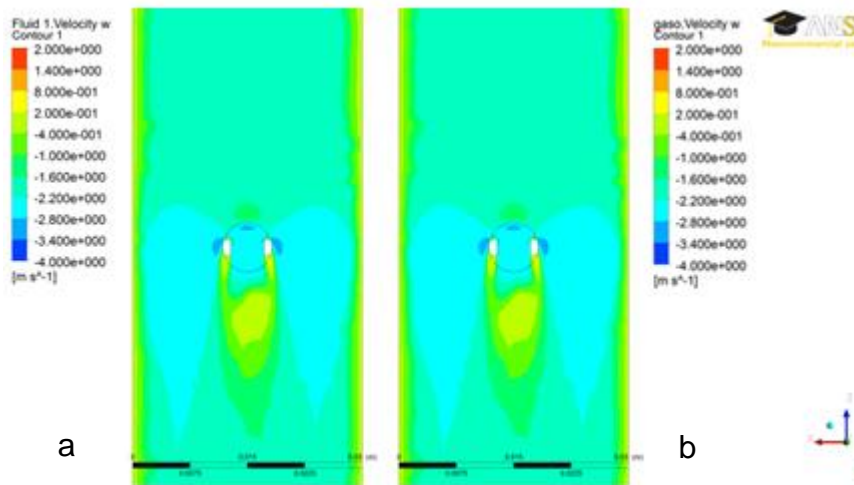


Figura 15 - Perfil de velocidade no plano ZX para água (a) e óleo (b) com partículas de 0,1 μm

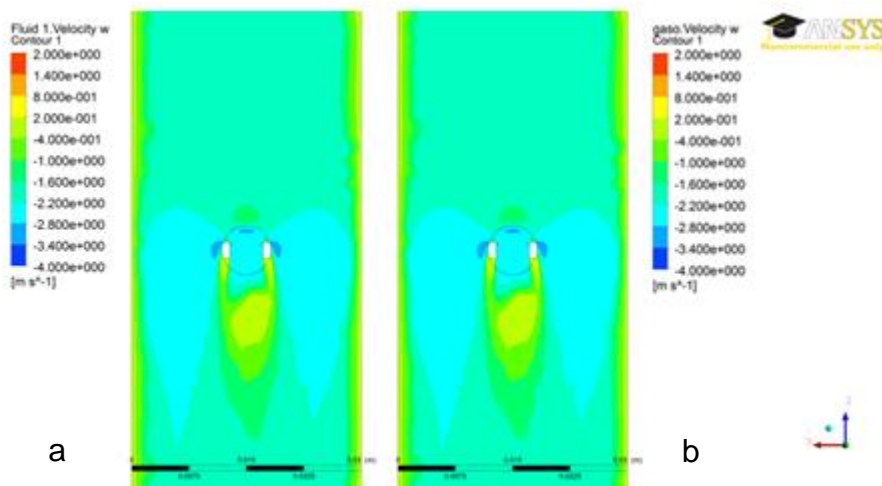


Figura 16 - Perfil de velocidade no plano ZX para água (a) e óleo (b) com partículas de 1 μm

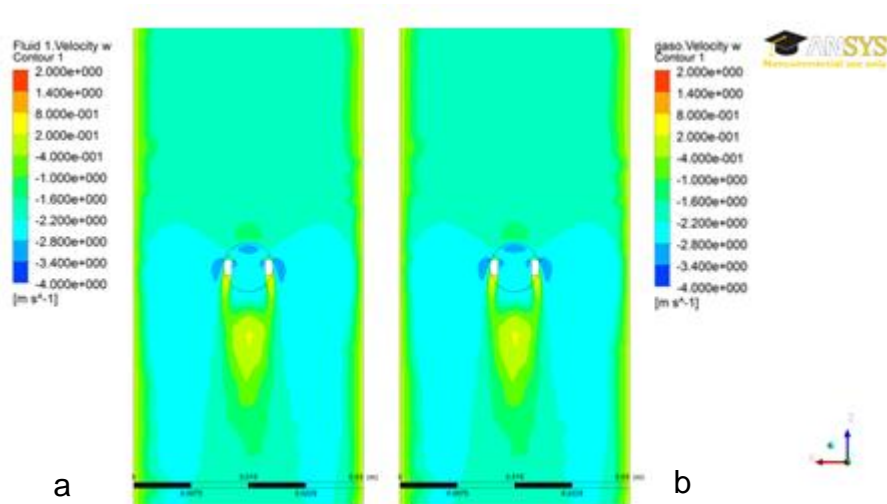


Figura 17 - Perfil de velocidade no plano ZX para água (a) e óleo (b) com partículas de 50 µm

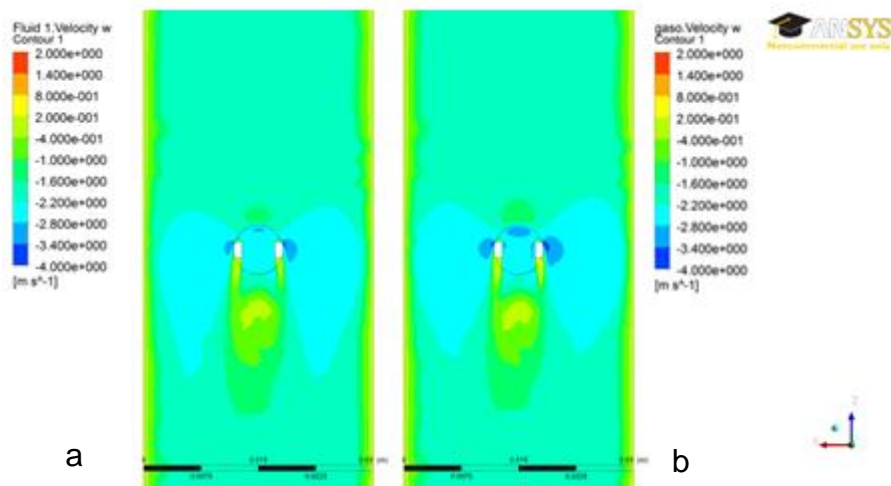


Figura 18 - Perfil de velocidade no plano ZX para água (a) e óleo (b) com partículas de 500 µm

A fração volumétrica do óleo deve seguir a diferença de velocidade entre os fluidos, ou seja, se o fluido contínuo possuir velocidade diferente do fluido disperso deverá ocorrer uma falta de fluido disperso em um determinado ponto e um acúmulo do mesmo em outro ponto ($Stokes \gg 1$), para o fechamento dos balanços de massa. Caso as velocidades sejam próximas ou iguais, os fluidos devem permanecer juntos e não ocorrer acúmulos ($Stokes \ll 1$).

5.2.3.2. Velocidade

Três diferentes velocidades foram utilizadas durante o estudo (1, 2 e 5 m/s). Fixando-se a fração volumétrica da fase dispersa em 5% foram

estudados os comportamentos do perfil de fração volumétrica da fase dispersa para os quatro diferentes tamanhos de gota citados no item anterior, conforme mostrado nas figuras 19,20 e 21.

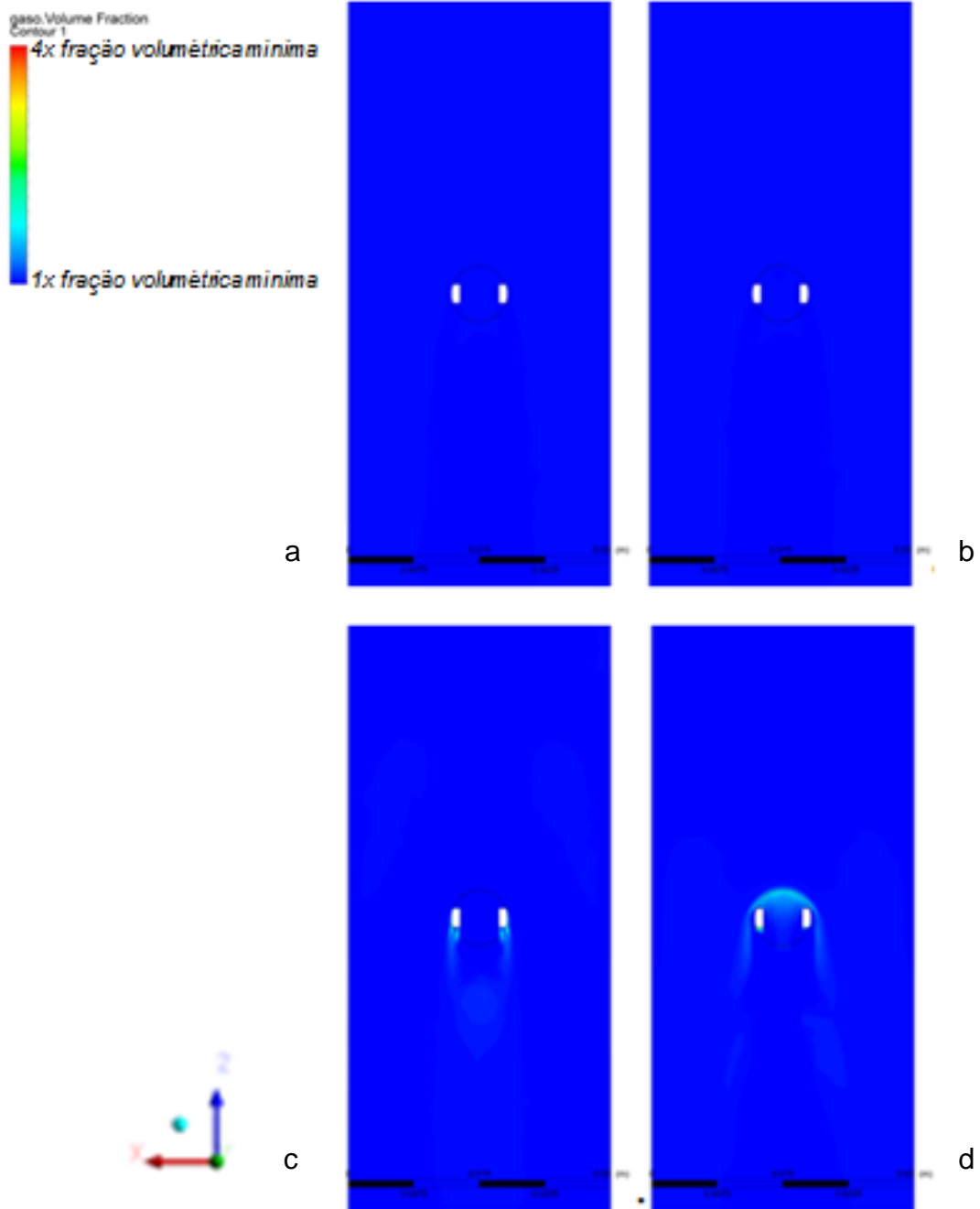


Figura 19 - Perfil de fração volumétrica da fase dispersa para fração inicial de 5% e velocidade de 1 m.s-1 para partículas de diâmetros 0,1 μm (a), 1 μm (b), 50 μm (c) e 500 μm (d)

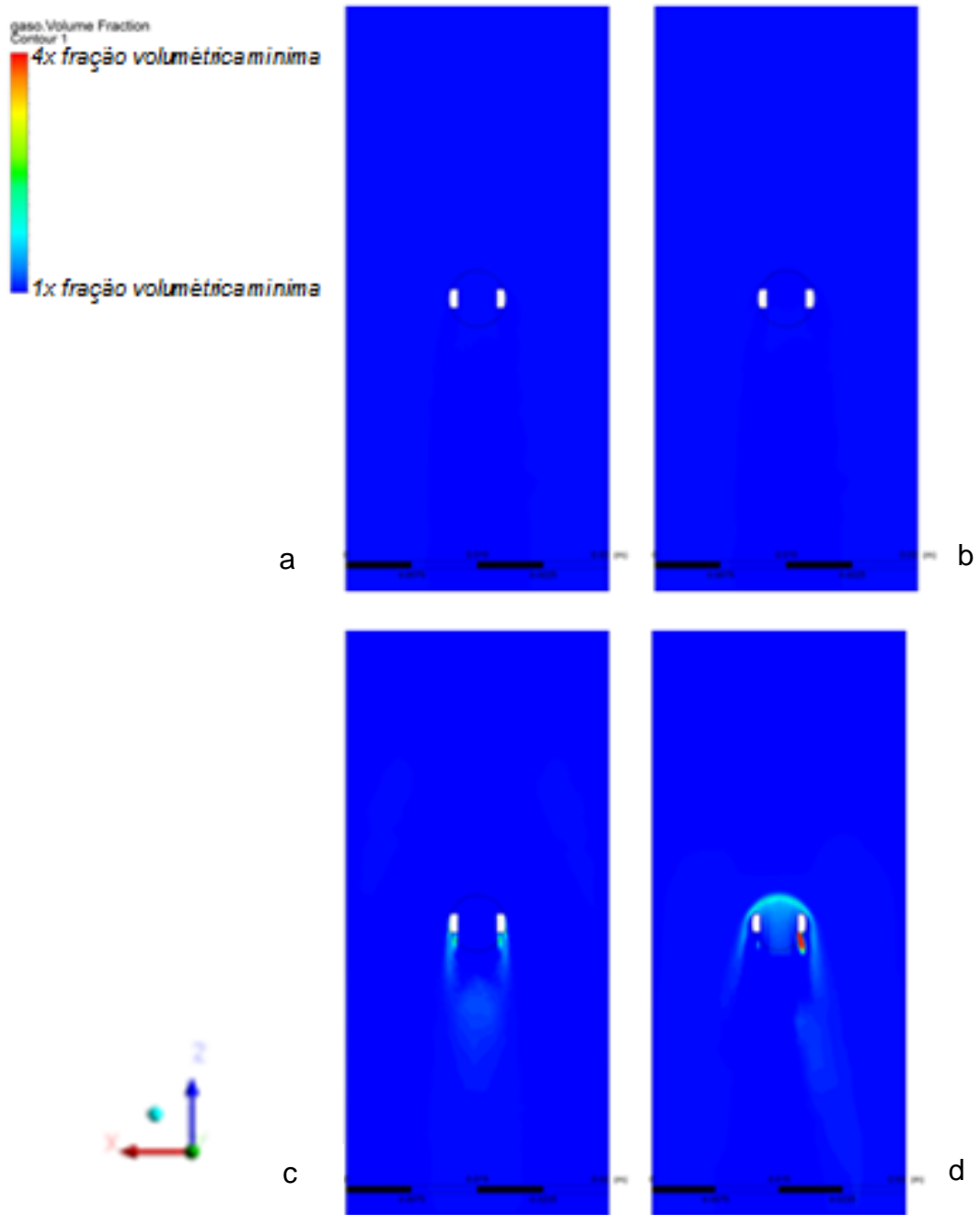


Figura 20 - Perfil de fração volumétrica da fase dispersa para fração inicial de 5% e velocidade de 2 m.s-1 para partículas de diâmetros 0,1 μm (a), 1 μm (b), 50 μm (c) e 500 μm (d)

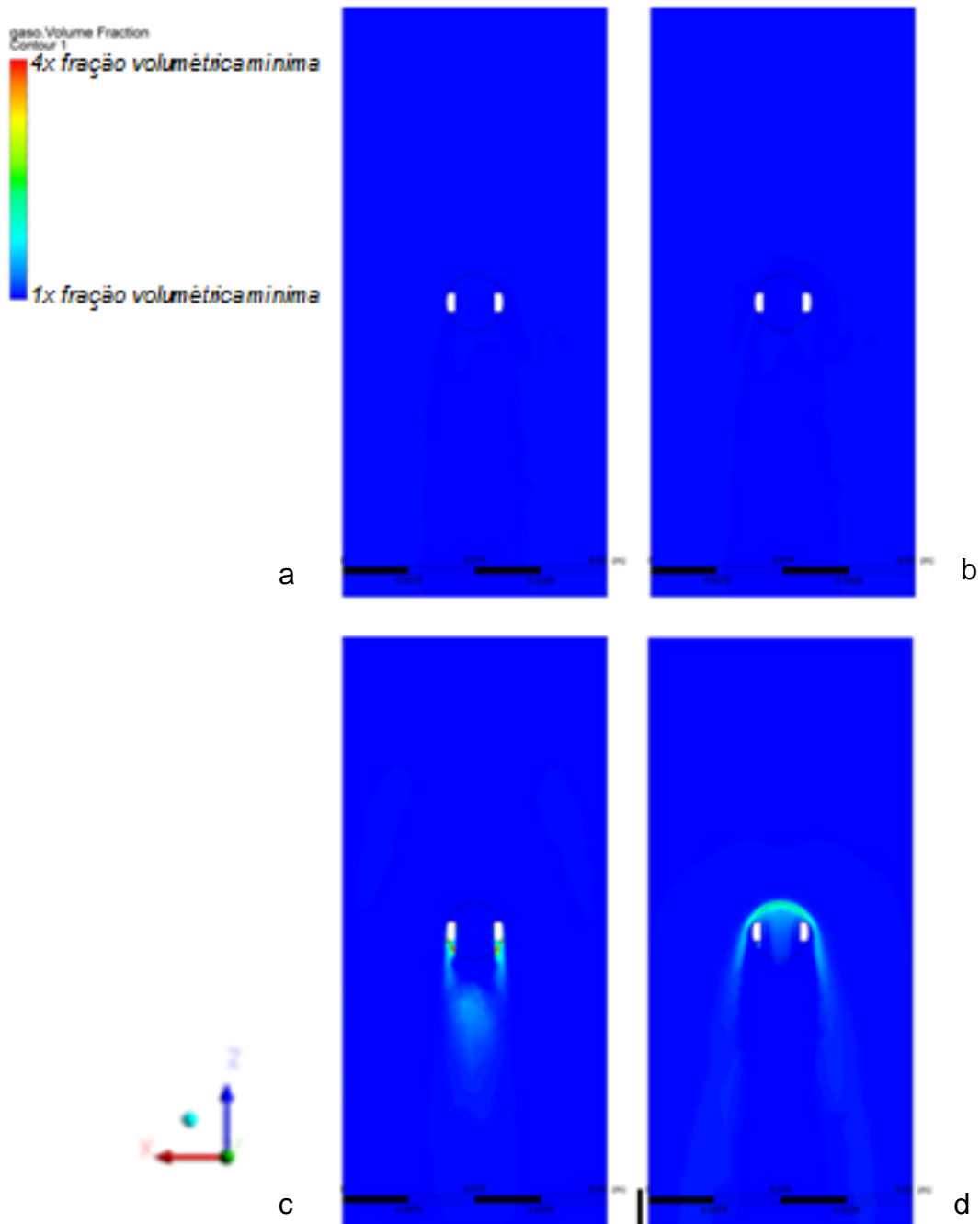


Figura 21 - Perfil de fração volumétrica da fase dispersa para fração inicial de 5% e velocidade de 5 m.s-1 para partículas de diâmetros 0,1 μm (a), 1 μm (b), 50 μm (c) e 500 μm (d)

Pode-se notar que para as três velocidades utilizadas não há alterações nos perfis de fração volumétrica da gasolina para os dois menores tamanhos de gota (0,1 e 1 μm), ou seja, uma variação da velocidade na faixa estudada, de 1 a 5 m/s, não promovem acúmulo da fase dispersa em nenhum ponto do

canal e conseqüentemente não geram problemas na medição da turbidez caso o canal utilizado tivesse a geometria adotada.

Em relação aos dois maiores tamanhos de gota (50 e 500 μm), nos quais pode ser notado o descolamento da fase dispersa e assim um acúmulo em algumas áreas do canal, a alteração da velocidade de escoamento altera o perfil de frações volumétricas.

No caso do diâmetro de 50 μm , pode-se notar que na fenda do sensor em si não há um acúmulo muito grande, porém tal fenômeno acontece logo após a posição do sensor. Já para o diâmetro de 500 μm é perceptível que há um acúmulo de gasolina antes do sensor e na fenda em si há uma mudança considerável na concentração da fase dispersa.

Analisando-se a influência das velocidades, portanto, pode-se perceber que para diâmetros comumente presentes nas emulsões estudadas nesse projeto (0,1 e 1 μm) não há acúmulo e portanto não é um fator crítico em relação à geração de fontes de erros nas medidas de turbidez.

5.2.3.3. Concentração

Além do tamanho das gotas e das velocidades de escoamento, outro fator que foi avaliado neste projeto foi a influência da concentração da fase dispersa na emulsão, ou seja, foram utilizadas três diferentes frações volumétricas de gasolina no estudo (2%, 5% e 10%).

A figura 22 mostra os perfis de fração volumétrica da fase dispersa para gotas de diâmetro de 0,1 μm submetidas a um escoamento com velocidade de 2 m/s. Para esse caso, pode-se notar que uma alteração na fração volumétrica não gera concentração da fase dispersa em um determinado ponto. As partículas são tão pequenas que sempre escoam com a água (fase contínua) sem que haja descolamento. Partículas de 1 μm de diâmetro apresentam o mesmo comportamento.

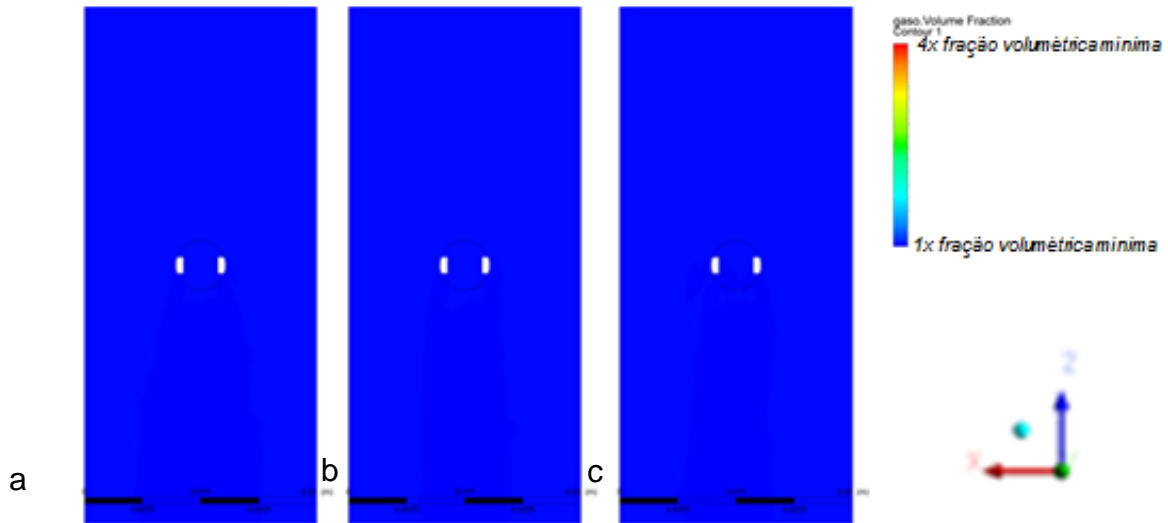


Figura 22 - Perfil de fração volumétrica da fase dispersa para partículas de diâmetro 0,1 μm e frações volumétricas iniciais de 2% (a), 5% (b) e 10% (c)

A figura 23 mostra os perfis de fração volumétrica da fase dispersa para gotas de diâmetro de 500 μm também submetidas a um escoamento com velocidade de 2 m/s. Para esse caso, diferentemente do caso anterior pode-se notar que uma alteração na fração volumétrica gera concentração da fase dispersa em um determinado ponto. Para este tamanho de gota pode-se perceber que há um acúmulo da fase dispersa na região anterior à fenda e quanto maior a fração volumétrica maior sua tendência de escoamento por fora da fenda.

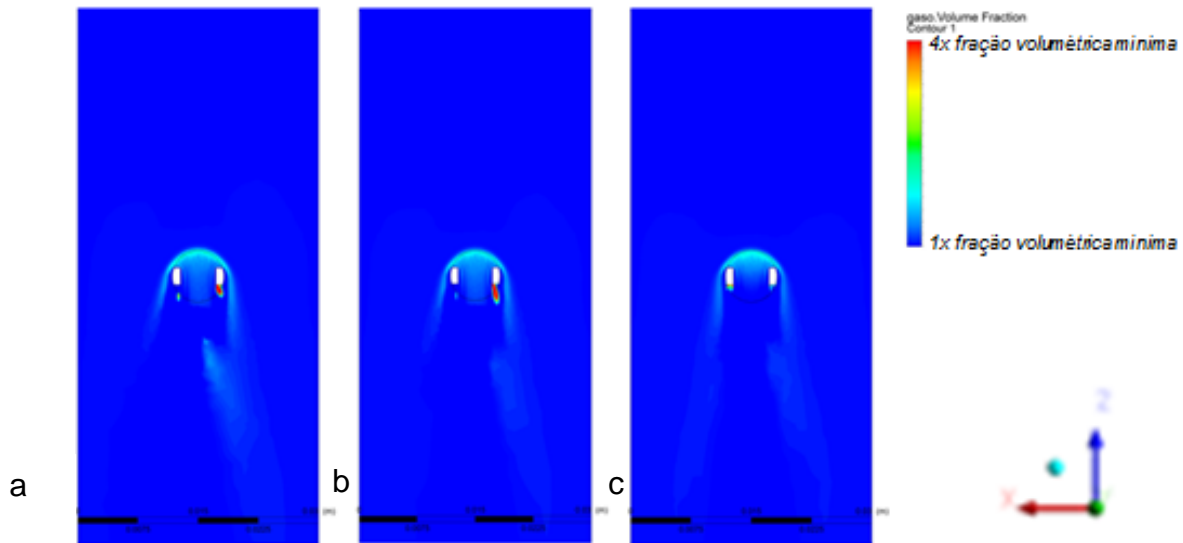


Figura 23 - Perfil de fração volumétrica da fase dispersa para partículas de diâmetro 500 μm e frações volumétricas iniciais de 2% (a), 5% (b) e 10% (c)

5.2.4. Planos adicionais

Além das análises no plano XZ, que foi considerada até agora, também podemos analisar o que acontece no escoamento a partir do plano YZ.

O plano XZ representa a visão do escoamento na região central da fenda, posição crítica para avaliação do comportamento pois é nesta região que se dá a medida de turbidez. Se utiliza o plano XZ pois a ideia é analisar o escoamento nessa região crítica e para análise da influência das interações com as paredes do canal. Já o plano YZ é interessante pois mostra uma diferença de camadas dentro da fenda e isso pode influenciar na medida.

Primeiramente, na figura 24 temos os perfis de velocidade para o escoamento da emulsão a 2 m/s, fração volumétrica de 5% e tamanho de gota de 500 μm , tanto para a fase contínua (a) e para a fase dispersa (b).

O perfil no plano YZ serve para complementar a análise, com fatores que não podiam ser notados analisando-se apenas o perfil no eixo XZ.

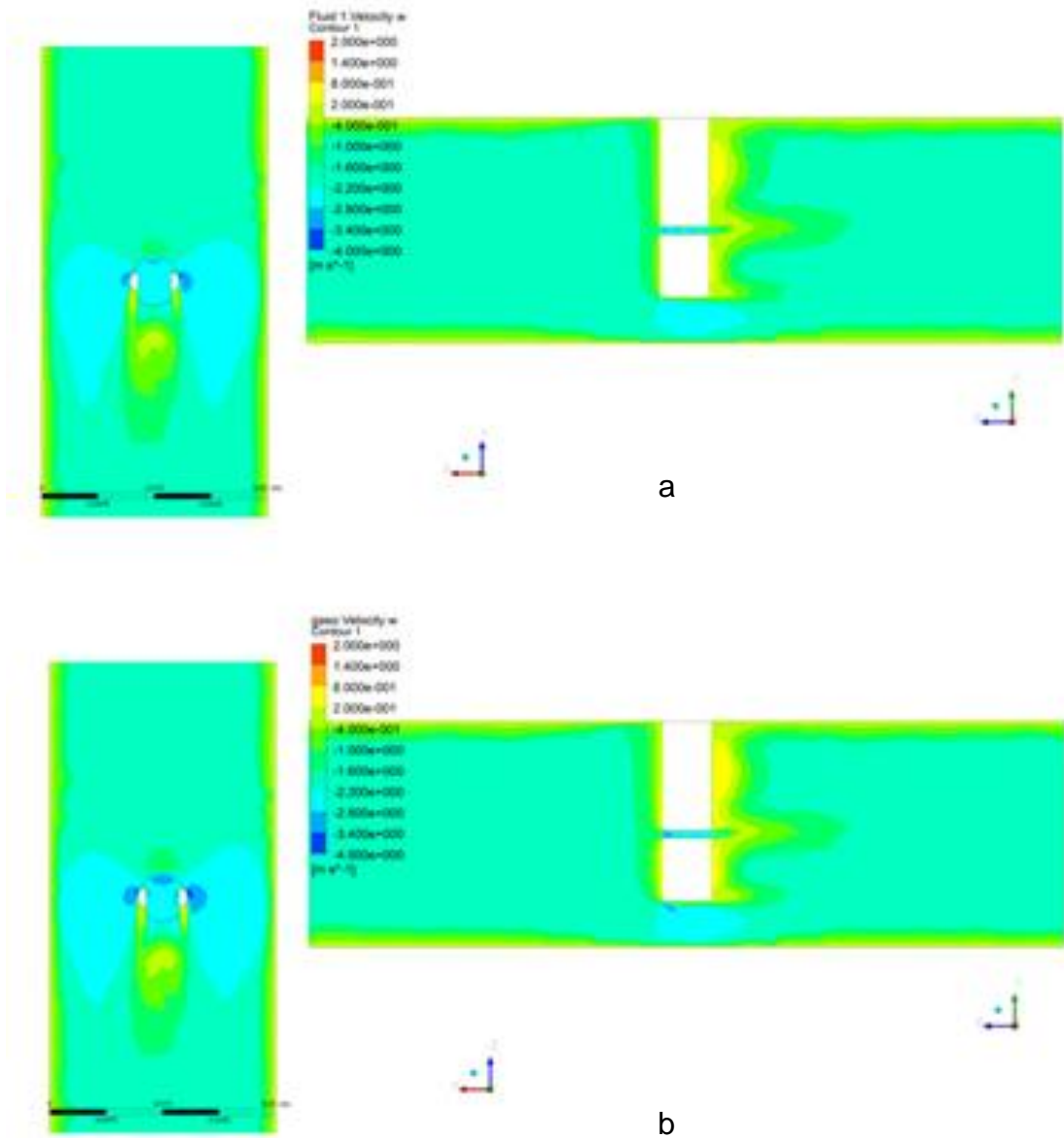


Figura 24 - Perfil de velocidades analisados para os planos ZX e ZY para água (a) e óleo (b) a 2 m.s^{-1} , fração volumétrica de 5% e diâmetro de $500 \mu\text{m}$.

A figura 25 representa os perfis de fração volumétrica para a emulsão a 2 m/s , fração volumétrica de 5% e tamanho de gota de $0,1 \mu\text{m}$ e pode-se notar que não há acúmulo para partículas de diâmetro pequeno em nenhum ponto do escoamento.

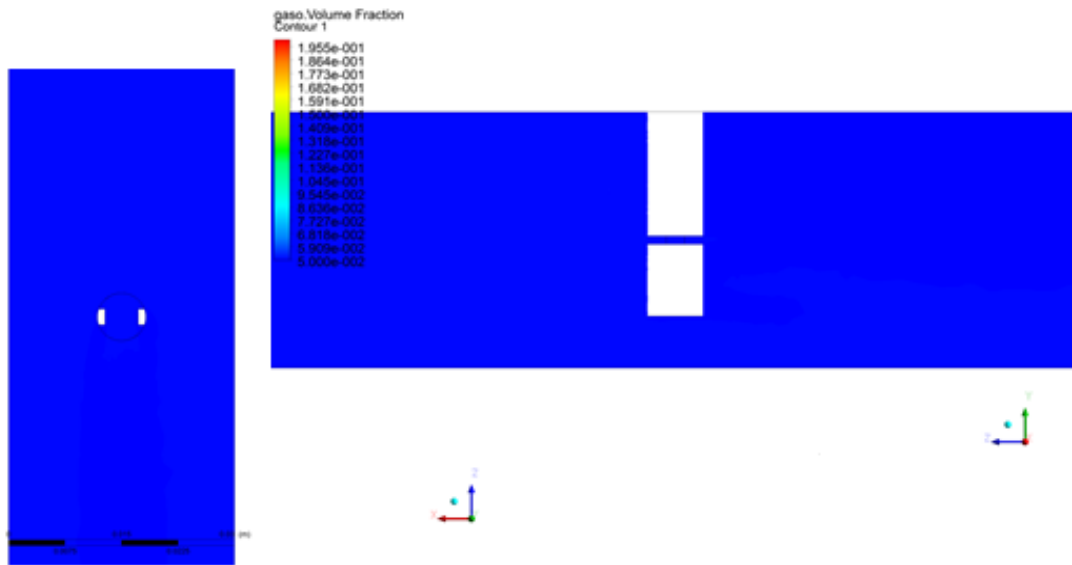


Figura 25 - Perfil de fração volumétrica para óleo nos planos ZX e ZY a 2 m.s^{-1} , 5% de fração volumétrica e $0,1 \mu\text{m}$

A figura 26 apresenta a mesma análise anterior, porém para um tamanho de gota de $500 \mu\text{m}$ e pode-se perceber que dentro da fenda há uma faixa onde há acúmulo, o que influenciaria os valores de turbidez medida, caso as gotas tivessem tal diâmetro.

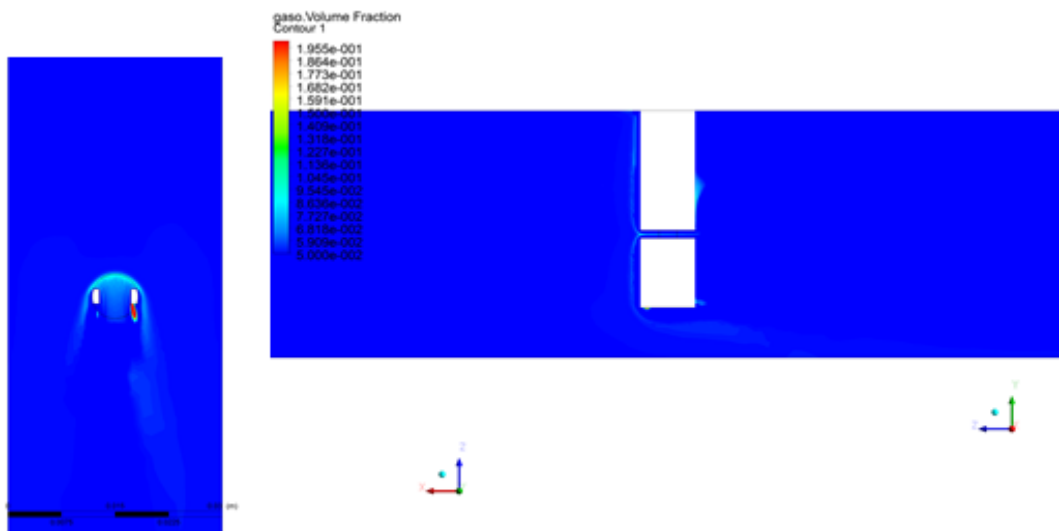


Figura 26- Perfil de fração volumétrica para óleo nos planos ZX e ZY a 2 m.s^{-1} , 5% de fração volumétrica e $500 \mu\text{m}$

5.2.5. Cálculo do número de Stokes

Com base nos parâmetros definidos para análise das simulações calculou-se os números de Stokes correspondentes.

O número de Stokes (Stk) é um número adimensional que caracteriza o comportamento de partículas suspensas em um escoamento.

O número de Stokes é calculado por:

$$S_k = \frac{T U_0}{d_c}$$

Onde U_0 é a velocidade média, d_c é a dimensão mais restritiva do sistema (altura da fenda no caso) e T é o tempo de relaxação e é calculado por:

$$T = \frac{m_p}{3\pi\mu D}$$

Onde m_p é a massa da partícula, μ é a viscosidade e D o diâmetro da partícula.

Em fluido dinâmica experimental, o número de Stokes é uma medida de fidelidade da trajetória de um escoamento em um experimento PIV, onde partículas pequenas entram em escoamento turbulento e observados opticamente para determinar a velocidade e a direção de movimento do fluido (também conhecido como campo de velocidades do fluido). Números de Stokes pequenos apresentam uma precisão melhor de traçado da trajetória, para $Stk \gg 1$, partículas irão desacoplar do escoamento, especialmente aonde o fluido sofre desacelerações bruscas. Para $Stk \ll 1$, as partículas seguirão as correntes de escoamento do fluido. Se o $Stk \ll 1$, os erros de traçado do escoamento ficam abaixo de 1% [7].

O cálculo do numero de Stokes para as condições analisadas tem como resultados os valores apresentados na Tabela 3:

Tabela 3 - Número de Stokes para cada tamanho de partícula e variando a velocidade

	D (m)	V_p (m ³)	m_p (kg)	τ	U_0 (m/s)	Stk
0,1 μ m	1,00 E-7	5,24 E-22	3,68 E-19	3,91 E-10	1	3,91 E-7
	1,00 E-7	5,24 E-22	3,68 E-19	3,91 E-10	2	7,81 E-7
	1,00 E-7	5,24 E-22	3,68 E-19	3,91 E-10	5	1,95 E-6
1 μ m	1,00 E-6	5,24 E-19	3,68 E-16	3,91 E-8	1	3,91 E-5
	1,00 E-6	5,24 E-19	3,68 E-16	3,91 E-8	2	7,81 E-5
	1,00 E-6	5,24 E-19	3,68 E-16	3,91 E-8	5	1,95 E-4
50 μ m	5,00 E-5	6,54 E-14	4,60 E-11	9,76 E-5	1	0,10
	5,00 E-5	6,54 E-14	4,60 E-11	9,76 E-5	2	0,20
	5,00 E-5	6,54 E-14	4,60 E-11	9,76 E-5	5	0,49
500 μ m	5,00 E-4	6,54 E-11	4,60 E-8	9,76 E-3	1	9,76
	5,00 E-4	6,54 E-11	4,60 E-8	9,76 E-3	2	19,53
	5,00 E-4	6,54 E-11	4,60 E-8	9,76 E-3	5	48,82

Sendo:

- Densidade (g/ml) – 0,703
- Dimensão mais restritiva (m) – 0,001
- Viscosidade (Pa.s) – 0,001

Pode-se notar que quaisquer que sejam as condições, para os diâmetros de 0,1 e 1 micra o número de Stokes é muito abaixo de 1, significando que não deve haver descolamento e conseqüentemente não há concentração da fase dispersa no canal.

Para o caso do diâmetro de 50 micra, o valor de Stk está perto de 1, representando uma condição intermediária onde só a análise do número de Stokes não é representativa para afirmar que haverá ou não um descolamento das partículas.

Já para o caso de diâmetro de 500 micra, o número de Stokes já é bem maior que 1 e em todos os casos, provavelmente haverá descolamento.

6. Conclusão

O desenvolvimento de um sensor não é exclusivamente para fluidos de corte, mas sim para uma ampla gama de emulsões utilizadas comumente nas indústrias, em que se deseja controlar suas características, como por exemplo, fração volumétrica, tamanho das gotas, mudança de esfericidade da gota devido a forças de cisalhamento, temperaturas de operação e armazenagem.

Com base na densidade óptica da emulsão (técnica espectroscópica) pode-se determinar a distribuição do tamanho de gotas e também suas alterações frente às mudanças de concentração e outros parâmetros do sistema. Analisando-se a influência de diferentes fatores tais como temperatura, velocidade, adição de CaCl_2 e concentração, pode-se perceber que a medida que tais fatores são aumentados a densidade óptica também aumenta.

A utilização da ferramenta de CFD nos permite comparar as análises obtidas experimentalmente com modelos já conhecidos e, assim, determinar quais os parâmetros que influenciam no escoamento através do sensor. Dessa maneira, podemos ampliar o escopo, analisado para um tipo de emulsão, para diversas outras emulsões e determinarmos fatores de correção sobre as análises realizadas.

Para os diâmetros comumente presentes em emulsões (0,1 a 1 μm) através da simulação computacional, com a geometria proposto, constatou-se que alterações nos três fatores analisados (velocidade, fração volumétrica e tamanho de gota) não proporcionam acúmulos em nenhum ponto do canal, em especial na fenda do sensor (zona crítica) e conseqüentemente não há problemas quanto à validação dos testes experimentais, uma vez que se alterando as condições do escoamento o valor medido será sempre o correto, pois nesse caso não foram implementados modelos de coalescência de gota.

Os dados experimentais e de CFD serão cruzados no projeto inicial de elaboração do sensor, criando uma rede neural para prover informações a

respeito da emulsão em análise com base nos parâmetros e fatores de correção obtidos para a emulsão base (MWF).

REFERÊNCIAS

- [1] Williams, D.: Spectroscopy – Methods of experimental physics, v. 13. Academic Press, London, 1976, p 19 – 28.
- [2] Kerker, M.: The Scattering of Light and Other Electromagnetic Radiation. Academic Press, New York, 1969.
- [3] García-Rubio, L. H., Eliçabe, G. E. (1988): Latex Particle Size Distribution from Turbidimetry Using Inversion Technique. Journal of Colloid and Interface Science, Vol. 129, No. 1, April 1989.
- [4] Jillavenkatesa A., Dapkunas S. J., Lien-Sien Lum (2001): Particle Size Characterization. NIST Special Publication 960-1.
- [5] Kobayashi, I., Mukataka, S., Nakajima, M. (2005): Effects of Type and Physical of Oil Phase on Oil-in-Water Emulsion Droplet Formation in Straight-Through Microchannel Emulsification, Experimental and CFD Studies. Langmuir 2005, 21, 5722-5730.
- [6] Bohren, C.F., Huffman, D.: Absorption and scattering of light by small particles. John Wiley. New York, 1983.
- [7] Cameron Tropea, Alexander Yarin, John Foss, ed. Springer Handbook of Experimental Fluid Mechanics. Springer
- [8] Versteeg H K , Malalasekera W, Introduction to Computational Fluid Dynamics: the Finite Volume Method. Longman, 1995.
- [9] Maliska, C.R., Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional, LTC, 2003.