



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE UM CICLONE
SEPARADOR PRESENTE EM UM CICLO DE COMBUSTÃO COM
QUÍMICA RECIRCULANTE**

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)

Diego Janjardi Briz Llopis (LAC/INPE, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: puma_hobby@hotmail.com

Dr. Reinaldo Roberto Rosa (LAC/CTE/INPE, Orientador)
E-mail: reinaldo@lac.inpe.br

COLABORADORES

Dr. Jeronimo dos Santos Travelho (LAC/CTE/INPE)

Julho 2009

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

CAPÍTULO 2 – DESENVOLVIMENTO

- 2.1. Revisão da literatura
- 2.2. Material
- 2.3. Procedimento
- 2.4. Resultados obtidos

CAPÍTULO 3 – DISCUSSÕES

CAPÍTULO 4 -- CONCLUSÕES

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CAD	Computer Aided Design
CFD	Dinâmica dos Fluidos Computacional
CLC	Chemical Looping Combustion
VSE	Vale Soluções em Energia
CO₂	Gás Carbônico

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 O ciclone industrial
- Figura 2 Chemical Looping Combustion
- Figura 3 Leito fluidizado com serpentina para troca de calor
- Figura 4 Desenho 2D e 3D de um modelo de ciclone industrial
- Figura 5 Geometria importada para o Ansys CFX 11
- Figura 6 Malha gerada para o ciclone industrial
- Figura 7 Ciclone industrial no modo de pré-processamento
- Figura 8 Modo de processamento do software Ansys CFX 11
- Figura 9 Linhas de corrente resultantes do processo
- Figura 10 Energia cinética oriunda da turbulência
- Figura 11 Valores de pressão ao longo do corpo do ciclone
- Figura 12 Viscosidade do fluido
- Figura 13 Sistema informatizado na qualidade de carvão vegetal

1. Introdução

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um modelo computacional CAD (Computer Aided Design) referente a um ciclone industrial e sua posterior simulação em uma situação próxima da real, por intermédio de um programa CFD (Dinâmica dos fluidos computacional).

Este componente industrial será utilizado em um modelo de ciclo para geração de energia conhecido como Chemical Looping Combustion (CLC), uma tecnologia recente e promissora que consiste na utilização de um portador de oxigênio (um óxido metálico) necessário para o processo de combustão e na captura e armazenamento de todo o gás carbônico (CO_2) resultante do processo sem necessidade de se utilizar energia gerada durante o ciclo, tendo então como vantagem sobre os ciclos tradicionais um maior rendimento e ser não poluente. Este projeto está sendo desenvolvido em parceria com a empresa Vale Soluções em Energia (VSE).

Esta idéia vai de encontro com a nova mentalidade das empresas e indústrias em colaborar na redução da poluição do planeta através das chamadas “tecnologias verdes”, contribuindo assim para amenizar problemas graves como o efeito estufa, o aquecimento global, chuvas ácidas, entre outros.

Nos dias atuais, o excesso de CO_2 na atmosfera contribui ativamente nos processos citados acima, causando também problemas a saúde humana, como doenças cardíacas e pulmonares.

Nos últimos 300 anos, a concentração de CO_2 na atmosfera aumentou 40%, de 275 partes por milhão (ppm) em 1700 para 380ppm nos dias de hoje. Apesar de parecer pouco, esses “meros” 380 ppm de CO_2 representam mais de 2,6 trilhões de toneladas de CO_2 espalhados pela atmosfera. Dois terços desse aumento ocorreram apenas nos últimos 100 anos, coincidindo com a industrialização e o uso de combustíveis fósseis sem precedentes na história. A alta de concentração de CO_2 na atmosfera é importante

porque esse é o principal gás estufa na atmosfera, e o efeito estufa é o responsável pelas temperaturas relativamente amenas do planeta. Alterar a concentração de CO₂ é alterar o clima do planeta. Por isso há essa preocupação crescente em retirar esse excesso de carbono da atmosfera, ou seja, implementar ações de “seqüestro de carbono”, tal como o sistema CLC.

2. Desenvolvimento

2.1. Revisão da literatura

Ciclones Industriais

Os ciclones estão entre os antigos tipos de equipamentos da indústria de particulados. Eles têm sido usados em diferentes processos industriais, tais como processos físicos de separação e reações químicas.

Os ciclones são amplamente usados como separador gás-sólido, pois sua estrutura é simples e possui baixo custo de operação. Os ciclones podem ser adaptados em operações de condições extremas como: altas pressões, altas temperaturas e gases corrosivos, desde que usado o material apropriado na sua construção. Os principais parâmetros relacionados ao projeto e desempenho dos ciclones são os diâmetros de corte, que é o diâmetro médio de partículas onde a eficiência de coleta é de 50%, a queda de pressão e a eficiência de coleta. Esses parâmetros são influenciados pela vazão de entrada de sólidos, pelo tipo de fluido, pela natureza das partículas que serão separadas, pela geometria do ciclone, entre outras características.

O ciclone é composto por uma parte cônica e outra cilíndrica, que juntas formam o corpo do ciclone. A entrada do ciclone é usualmente tangencial à parede da parte cilíndrica próxima ao topo. O tubo de saída do gás, usualmente chamado de vórtex ou finder, é fixo na parte superior do ciclone.

Os separadores ciclônicos são amplamente usados para remoção de partículas do ar ou de gases de processos. São utilizados também como reator químico, trocador de calor, para secagem de materiais granulares e combustão de óleo. Em refinarias de petróleo, ele é utilizado para assegurar a continuidade do processo para obtenção da gasolina, retendo o catalisador e impedindo sua emissão para a atmosfera, evitando a perda e o efeito poluente. Sua grande aplicabilidade deve-se ao seu baixo custo de operação e

fácil manutenção, como também à possibilidade de suportar severas condições de temperatura e pressão.

A suspensão gás-sólido entra no ciclone por uma entrada tangencial e inicia um escoamento giratório na seção anular compreendida entre o tubo de saída do gás e o corpo do ciclone. O movimento das partículas sólidas pode ser avaliado com relação ao efeito das forças atuantes sobre as mesmas por estarem centradas na corrente de gás. A trajetória das partículas sólidas será determinada pelo balanço de forças resultantes entre a força peso (atuando sobre as partículas) e a força de arrasto (do movimento do gás), além de sua própria inércia, ou seja, devido ao impulso que a partícula já possui em função de sua massa e velocidade de entrada. Assim, as partículas sólidas se movimentam em direção às paredes do ciclone devido à sua própria inércia. As partículas menores atingem a parede interna do finder e, praticamente, deslizam junto à parede. Sendo que na parede externa do finder é observado o mesmo movimento. O gás inicia um escoamento giratório com alta velocidade, promovendo um acréscimo na intensidade de turbulência. Esse acréscimo promove uma dispersão de quantidades de movimento que associado às parcelas convectivas e suas resultantes, como força centrífuga e de Coreolis, conduzem ao movimento giratório com reversão de fluxo e preservação de vorticidade. Devido a efeitos de geometria e aos decorrentes do comportamento fluidodinâmico, o gás apresenta ainda regiões de recirculação, que elevam o tempo de residência das partículas e provocam erosão na estrutura metálica dos ciclones, devido à frequência dos choques com a parede.

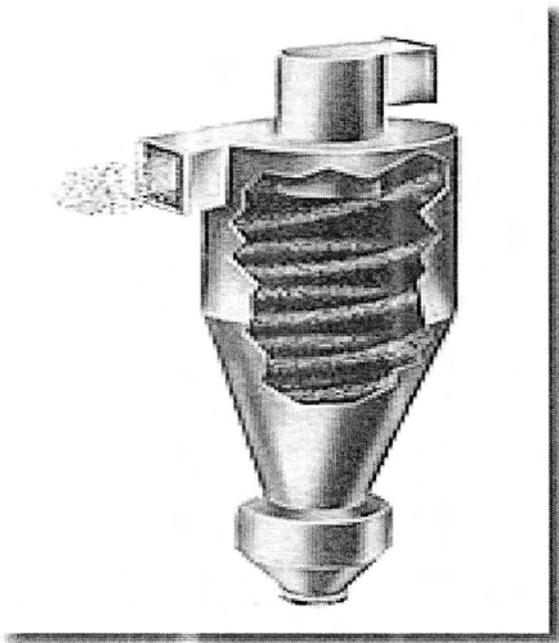


Figura 1. O ciclone industrial

Gás carbônico

O CO_2 é um composto químico constituído por dois átomos de oxigênio e um átomo de carbono. Estruturalmente o CO_2 é constituído por moléculas de geometria linear e de carácter apolar. Por isso as atrações intermoleculares são muito fracas, tornando-o, nas condições ambientes, um gás.

O CO_2 é essencial à vida no planeta. Visto que é um dos compostos essenciais para a realização da fotossíntese – processo pelo qual os organismos fotossintetizantes transformam a energia solar em energia química. Esta energia química, por sua vez, é distribuída para todos os seres vivos por meio da teia alimentar. Este processo é uma das fases do ciclo de carbono e é vital para a manutenção dos seres vivos.

O carbono é um elemento básico na composição dos organismos, tornando-o indispensável para a vida no planeta. Este elemento é estocado na atmosfera, nos oceanos, solos, rochas sedimentares e está presente nos combustíveis fósseis. Contudo, o carbono não fica fixo em nenhum desses estoques. Existe uma série de interações por meio das quais ocorre a transferência de carbono de um estoque para outro. Muitos

organismos nos ecossistemas terrestres e nos oceanos, como as plantas, absorvem o carbono encontrado na atmosfera na forma de CO₂. Por outro lado, os vários organismos, tanto plantas como animais, liberam CO₂ para a atmosfera mediante o processo de respiração. Existe ainda o intercâmbio de dióxido de carbono entre os oceanos e a atmosfera por meio da difusão.

A liberação de CO₂ via queima de combustíveis fósseis e mudanças no uso da terra (desmatamentos, queimadas, etc) impostas pelo homem constituem importantes alterações nos estoques naturais de carbono e tem um papel fundamental na mudança de clima do planeta. O excesso de CO₂ que atualmente é lançado para a atmosfera resulta da queima de combustíveis fósseis principalmente pelo setor industrial e de transporte. Além disso, reservatórios naturais de carbono e sumidouros (ecossistemas com capacidade de absorver CO₂) também estão sendo afetados por ações antrópicas. A concentração de CO₂ na atmosfera começou a aumentar no final do século XVIII, quando ocorreu a revolução industrial, a qual demandou a utilização de grandes quantidades de carvão mineral e petróleo como fontes de energia.

Poluição

Por poluição entende-se a introdução pelo homem, direta ou indiretamente de substâncias ou energia no ambiente, provocando um efeito negativo em seu equilíbrio, causando assim danos à saúde humana, nos seres vivos e no ecossistema.

Os agentes da poluição, normalmente designados por poluentes, podem ser de natureza química, genética ou sob a forma de energia, como nos casos da luz, calor ou radiação. O termo poluição também pode se referir a onda eletromagnéticas ou radioatividade. Uma interpretação mais ampla do termo de origem a idéias como poluição sonora, poluição visual e poluição luminosa. No caso da poluição sonora, este é o efeito provocado pela difusão do som em grande quantidade, muito acima do tolerável pelos organismos vivos, através do meio ambiente. Dependendo de sua intensidade causa danos irreversíveis em seres vivos.

Os tipos de poluição são então os seguintes:

- Poluição atmosférica
- Poluição hídrica
- Poluição do solo
- Poluição sonora
- Poluição térmica
- Poluição luminosa
- Poluição visual

Os poluentes mais frequentes e seus efeitos mais temidos são os seguintes:

- Dioxinas: provenientes de resíduos, podem causar câncer, má-formação de fetos, doenças neurológicas, etc.
- Materiais particulados: emitidas por automóveis e indústrias, resultado da combustão de combustíveis fósseis. Afetam o sistema respiratório causando asma, bronquite, alergias e até câncer.
- Chumbo: Metal pesado proveniente de automóveis, pinturas, água contaminada e indústrias. Pode afetar o sistema nervoso, causando retardo mental, graves efeitos na coordenação motora e na capacidade de atenção.
- Mercúrio: Origina-se em centrais elétricas e na incineração de resíduos. Assim como o chumbo, afeta o sistema nervoso, causando efeitos igualmente graves.
- Pesticidas, benzeno e isolantes: podem causar distúrbios hormonais, deficiências imunológicas, má-formação de órgãos genitais em fetos, infertilidade, câncer de testículo e de ovário.

Há também os problemas com a poluição global, como o efeito estufa, a diminuição da camada de ozônio, as chuvas ácidas, a perda de biodiversidade, os dejetos lançados em rios e mares, entre outros, que nem sempre são observados, medidos ou mesmo sentidos pela população do planeta.

Chemical Looping Combustion (CLC)

O processo de Chemical Looping Combustion (CLC) é uma tecnologia composta pela separação e armazenamento do CO₂ resultante do processo de combustão. A tecnologia envolve um portador de oxigênio (um óxido metálico) que irá fornecer o oxigênio necessário para o fluido combustível, evitando-se assim o contato direto com o ar atmosférico. Com isso, os únicos produtos resultantes do processo de combustão serão o CO₂ e o vapor de água. Quando o vapor de água é condensado, obtém-se um fluxo puro de CO₂ que será resfriado, comprimido, e armazenado, não sendo liberado na atmosfera.

Há outros processos existentes para que seja feita a separação do CO₂ de outros gases emitidos pela combustão, porém é necessário um gasto considerável de energia para que isso aconteça, ao contrário do requerido pelo processo de combustão com química circulante.

O processo ocorre basicamente entre dois leitos fluidizados (reator de ar ou reator de oxidação e reator de combustível ou reator de redução). Pelo reator de ar permite-se a entrada de ar atmosférico, que irá oxidar (reação de adição de oxigênio) o óxido metálico presente no equipamento. Na saída do reator, o óxido metálico já oxidado segue para o ciclone industrial.

Para a atmosfera são liberados o nitrogênio e oxigênio que não reagiu durante o processo. O óxido metálico segue para o reator de combustível, onde irá reagir com o fluido combustível (comumente o gás natural). O particulado fornece o oxigênio ao combustível (reação conhecida como óxido-redução) necessário para que haja a combustão. Como dito anteriormente, os únicos produtos resultantes do processo de combustão são o vapor de água e o CO₂. Ao sofrer uma oxidorredução, o particulado metálico retorna ao reator de ar para ser novamente oxidado, completando-se o ciclo

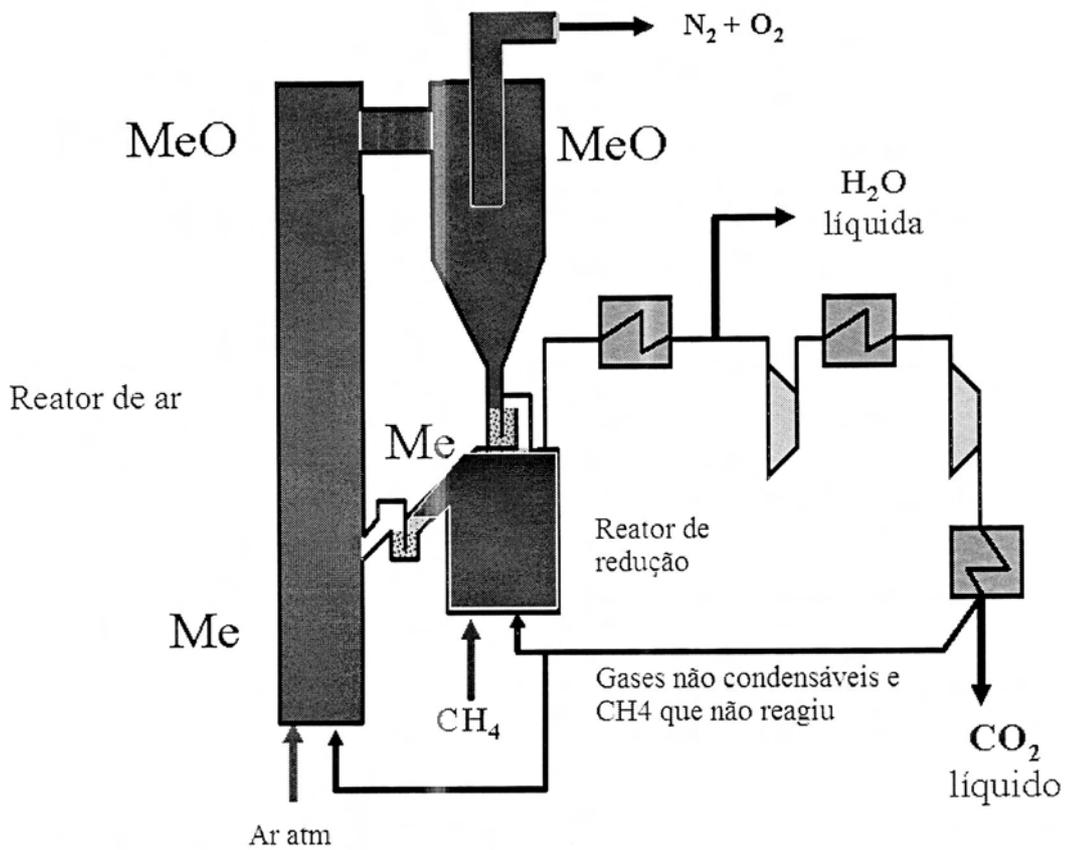


Figura 2. Chemical Looping Combustion (CLC)

Leitos Fluidizados

A fluidização é a operação pela qual as partículas sólidas são transformadas em um estado como de um líquido através de suspensão em um gás ou líquido. Este método de contato apresenta características incomuns, que são bem utilizadas na engenharia.

Em sistemas líquido-sólidos, o aumento da vazão acima da velocidade mínima de fluidização resulta em uma fluidização suave, com expansão progressiva do leito.

Grandes instabilidades na vazão são amortizadas e permanecem pequenas, e a heterogeneidade, ou vazios de líquido em grande escala, não são observadas sob condições normais. Este leito é chamado de leito fluidizado particulado.

Geralmente, os sistemas gás-sólido comportam-se diferentemente. Com um aumento da vazão acima da mínima fluidização, é observada uma grande instabilidade do leito, com a formação de bolhas e canais preferenciais de gás. Vazões ainda maiores provocam agitações mais violentas e o movimento dos sólidos torna-se mais vigoroso.

Quando partículas finas são fluidizadas a uma vazão de gás suficientemente alta, a velocidade terminal dos sólidos é excedida, a superfície superior do leito desaparece, suspensões de partículas tornam-se mais firmes e a formação de bolhas passa a se apresentar instável, onde se observa um movimento turbulento de agrupamentos de sólidos e vazios de gás de vários tamanhos e formas. Este é o leito fluidizado turbulento.

Com um adicional aumento na velocidade do gás, os sólidos são arrastados do leito com o fluido. Neste estado tem-se um leito fluidizado disperso, diluído, ou leito fluidizado de fase leve com transporte pneumático de sólidos.

Na fluidização turbulenta ou de fase leve, grandes quantidades de partículas são arrastadas, impedindo operações em estado estacionário. Em leitos fluidizados turbulentos, ciclones pequenos podem ser ajustados com a taxa moderada de arraste. Este sistema é muitas vezes chamado de leito fluido. Por outro lado, a taxa de arraste é muito grande em leitos fluidizados de fase leve, que usualmente necessitam de grandes ciclones coletores na saída do leito. Este sistema é chamado de leito fluidizado rápido.

Para a boa operação de leitos fluidos e fluidizados rápidos, a recirculação dos sólidos constante e uniforme, através de dispositivos de coleta dos sólidos, é crucial. Estes leitos são chamados de leitos fluidizados circulantes. Abaixo descrevemos as vantagens e desvantagens do leito fluidizado.

Vantagens:

- O escoamento das partículas, como de um fluido uniforme, permite operações controladas continuamente e automaticamente com fácil manuseio;
- Mistura fácil dos sólidos conduzem às condições isotérmicas no reator;

- Mistura dos sólidos no leito apresenta uma resistência à rápidas mudanças nas condições de operação, respondendo lentamente e proporcionando uma margem de segurança para reações altamente exotérmicas;
- A circulação de sólidos entre dois leitos possibilita a remoção de calor produzido ou necessário em reatores grandes;
- Adequada para operações de grande escala;
- Alta transferência de calor e massa entre o gás e as partículas;
- A taxa de transferência de calor entre o leito fluidizado e um objeto imerso é alta, sendo necessário pequenas áreas de troca térmica para os trocadores de calor que utilizam o leito fluidizado.

Desvantagens:

- Para leitos borbulhantes de partículas finas, o escoamento do gás é de difícil descrição;
- A rápida mistura dos sólidos no leito conduzem a tempos de residência não uniformes dos sólidos no reator, comprometendo o rendimento e a performance;
- Sólidos friáveis são pulverizados e arrastados pelo gás sendo necessário reciclá-los;
- Erosão de tubos e colunas pela abrasão das partículas;
- Operações não-catalíticas a altas temperaturas, aglomeração e sinterização de partículas finas podem requerer a diminuição da temperatura, muitas vezes reduzindo consideravelmente a taxa de reação.

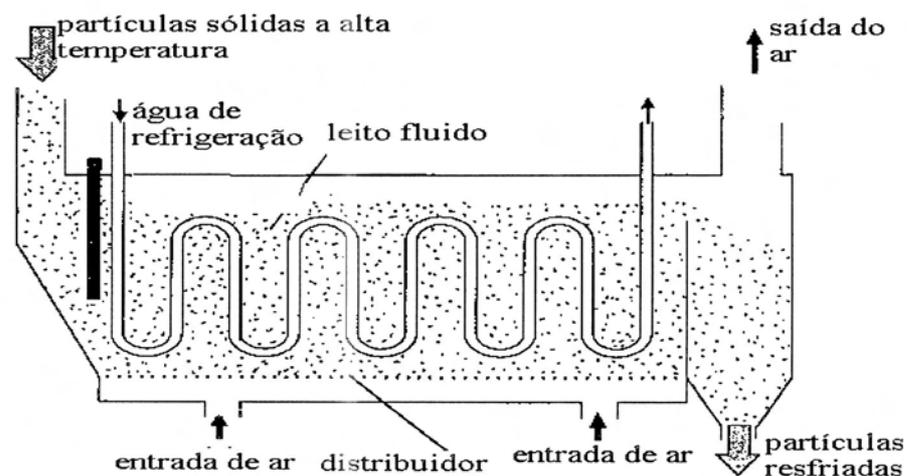


Figura 3. Exemplo de um leito fluidizado com serpentina para transferência de calor

Dinâmica dos fluidos computacional

Dinâmica dos fluidos computacional (CFD) é o termo dado ao grupo de técnicas matemáticas, numéricas e computacionais, usadas para obter, visualizar e interpretar soluções computacionais para as equações de conservação de grandezas físicas de interesse de um dado escoamento. A origem dessas equações de conservação é a teoria de fenômenos de transporte. Portanto pode-se dizer que CFD é o conjunto das técnicas de simulação computacional usadas para prever os fenômenos físicos que ocorrem em escoamentos que podem ser relacionados com a ação e a interação de fatores como dissipação, difusão, convecção, onda de choque, superfícies escorregadias, condições de contorno e turbulência. No campo da aerodinâmica todos esses fenômenos são governados pela equação de Navier-Stokes.

A maioria dos aspectos importantes dessas relações é não-linear e, como consequência, não possui soluções analíticas. É importante ressaltar que simulações em CFD possuem limitações. Na maioria dos casos é necessário o desenvolvimento de modelos mais acurados como, por exemplo, nas áreas de turbulência, radiação, combustão, escoamento multifásicos, etc. A aplicação de condições de contorno necessita do desenvolvimento de ferramentas cada vez melhores para descrever em detalhe a geometria do domínio de cálculo. Existe a necessidade constante de aperfeiçoamento das técnicas numéricas para ampliar a capacidade de resolução de problemas mais complexos.

O primeiro passo na resolução de problemas envolvendo a fluidodinâmica computacional é a especificação do problema, incluindo geometria, condições de fluxo, e as necessidades da simulação. A geometria pode resultar de medidas de uma configuração existente ou pode ser associada com o estudo do desenho. Um conjunto de objetivos e limitações deve ser especificado. As condições de fluxo devem ser incluídas, como por exemplo, o número de Reynolds e o número de Mach para o fluxo na camada de ar. As necessidades das simulações envolvem questões como nível de precisão desejada, o tempo requerido e a solução dos parâmetros de interesse.

Uma vez que o problema foi especificado, apropriadas equações e condições de contorno devem ser escolhidas. Geralmente se aceita que no campo da fluidodinâmica os fenômenos são governados pela conservação da massa, do momento e da energia.

As equações diferenciais parciais resultantes dessas leis de conservação referem-se às equações de Navier-Stokes. Estas equações são resolvidas em volumes de controle, que são escolhidos arbitrariamente, desde que estes contenham fenômenos de interesse.

De modo a fornecer um meio mais fácil de resolver e analisar problemas de escoamento de fluidos, a grande maioria de programas computacionais de CFD é subdividida em cinco elementos principais: um gerador de geometria, um gerador de malha, um pré-processador, um processador que obtém a solução e um pós-processador.

Geração da geometria

A geometria refere-se à peça que irá ser posteriormente simulada, modelada geralmente em um software CAD. É o domínio onde se buscará a solução do problema. Para sua concepção, pode-se utilizar um sistema cartesiano, cilíndrico ou esférico.

Geração de malha

Depois de criado o domínio é necessário dividi-lo em pequenos subdomínios não sobrepostos, chamados elementos, pois a solução das equações de transporte pelos métodos numéricos envolve cálculos em subdomínios. Este processo é chamado de geração de malha (grid ou mesh).

Existem basicamente dois tipos de malhas: as estruturadas e as não-estruturadas. As malhas estruturadas são geradas pela subdivisão dos eixos coordenados em pequenos elementos unidimensionais, cujo produto cartesiano gera elementos bidimensionais e tridimensionais que são, geralmente, quadriláteros e hexaédricos, respectivamente.

Nessas malhas, cada elemento tem sempre o mesmo número de elementos vizinhos, a não ser quando o mesmo pertence ao contorno.

As malhas não estruturadas são formadas por elementos que podem ter diversas formas. Em problemas bidimensionais, os elementos são polígonos: triângulos, pentágonos, etc, sendo mais comum o uso de triângulos. No caso tridimensional, os elementos são poliedros: tetraedros, pirâmides, prismas, hexágonos, etc, sendo os tetraedros os mais usados.

A precisão da solução em um problema de CFD depende do número de elementos e como estes estão distribuídos na malha. Em geral, a precisão da solução melhora com o aumento do número de elementos da malha. Contudo, é necessário balancear a precisão da solução através do refinamento da malha com o custo computacional de se obter a solução no hardware disponível.

Pré-processamento

No pré-processamento determinam-se as condições para a simulação do equipamento, como o local de entrada, saída e velocidade de fluido de trabalho, se há transferência de calor não desprezível durante o funcionamento, qual a pressão de entrada do fluido, etc.

Processamento

É a parte do software responsável pelos cálculos nos volumes de controle, representados pelos nós (elementos da malha). O tempo necessário para a realização de toda a operação irá depender do número de nós e das condições impostas no pré-processamento.

Pós-processamento

Mostra na tela do computador a solução gráfica da simulação realizada, que é o conjunto de soluções em cada nó, como o fluxo, vorticidade, tensão superficial, linhas de corrente, etc.

2.2. Material

Utilização de um computador equipado com um processador Intel Celeron M530, clock de 1.73GHz e 2Gb de memória RAM. Para se “desenhar” os modelos de ciclone utilizados nas simulações foi utilizado o software Solidworks 2006, e as posteriores simulações computacionais foram realizadas com o software Ansys CFX 11.0.

2.3. Procedimento

Inicialmente desenha-se a peça em 2D no Solidworks 2006 e após concluído este passo, utiliza-se o comando “revolve”, tornando a peça 3D. Salva-se a peça com uma extensão que seja reconhecida pelo software CFD (a utilizada aqui foi a extensão *.igs).

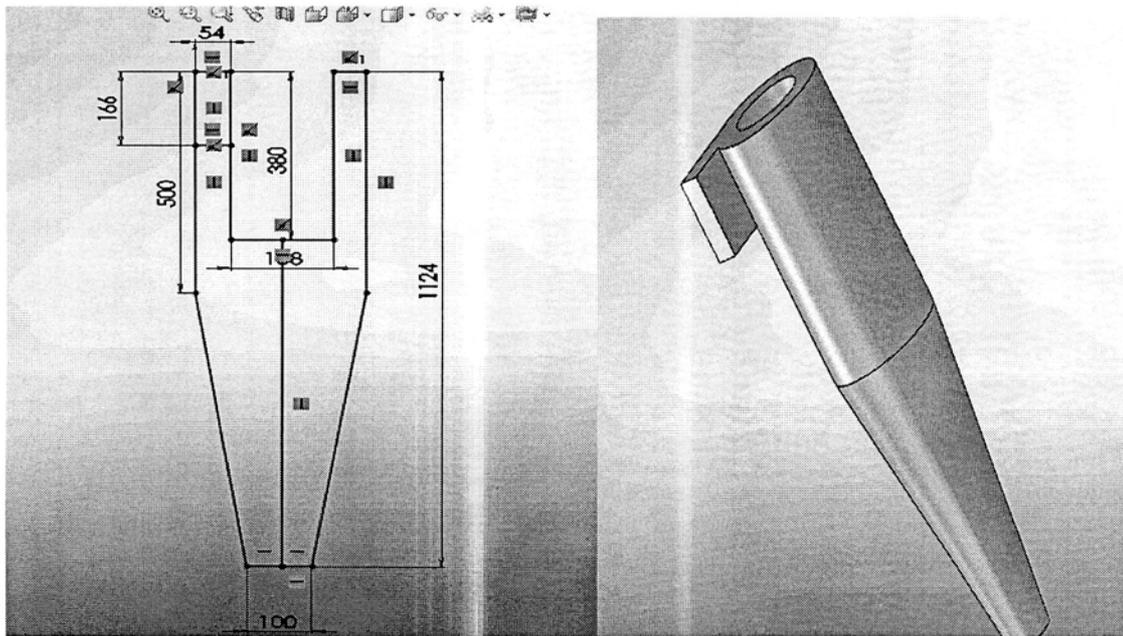


Figura 4. Desenho 2D e 3D de um modelo de ciclone industrial

Após abrir o software Ansys CFX 11.0, importa-se a geometria criada no Solidworks 2006.

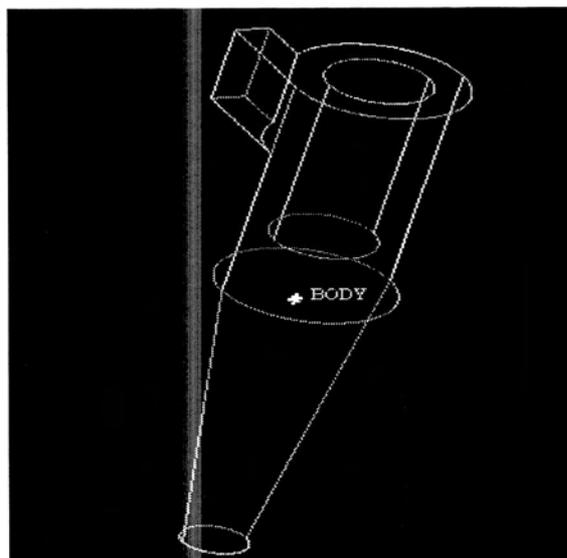


Figura 5. Geometria importada para o Ansys CFX 11.0

Com a importação da geometria, utiliza-se o comando “mesh” para fazer a malha a ser utilizada pela peça. Ressalte-se que o tipo de malha usada nesta figura é tetraédrica e foi automaticamente dimensionada pelo próprio software.

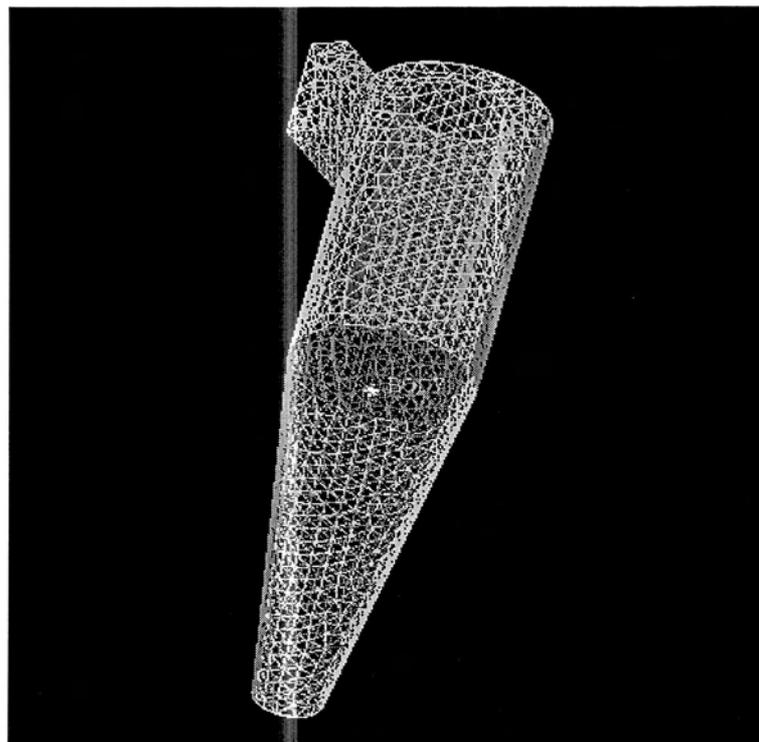


Figura 6. Malha gerada para o ciclone industrial

Após a realização do procedimento citado acima, abre-se o modo de pré-processamento do Ansys CFX 11.0.

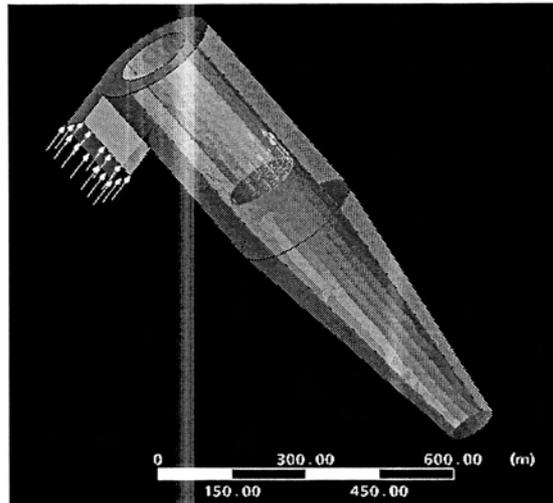


Figura 7. Ciclone industrial no modo de pré-processamento

Ao se colocar todas as condições necessárias para a simulação da peça, é feito o processamento.

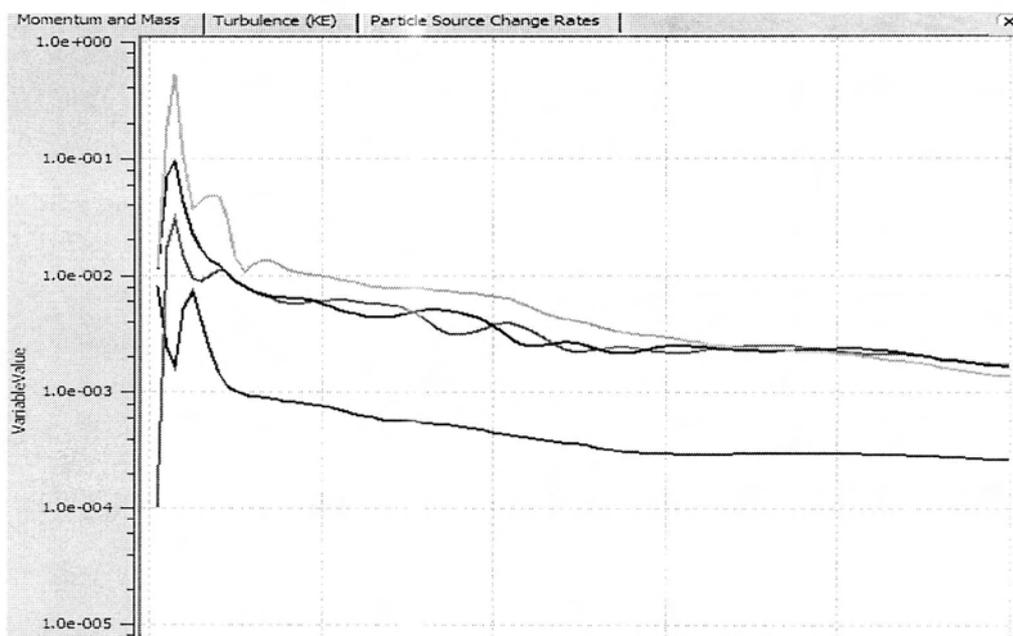


Figura 8. Modo de processamento do software Ansys CFX 11.0

2.4. Resultados obtidos

Dados usados na simulação:

Fluido: Ar com T de 298K

Particulado: Ferro com d de 0.1mm

Pressão relativa de entrada: 100 KPa

Movimento de domínio: Estacionário

Regime do escoamento: Subsônico

Velocidade de entrada do ar: 2m/s

Pressão relativa de saída do fluido: 0 KPa

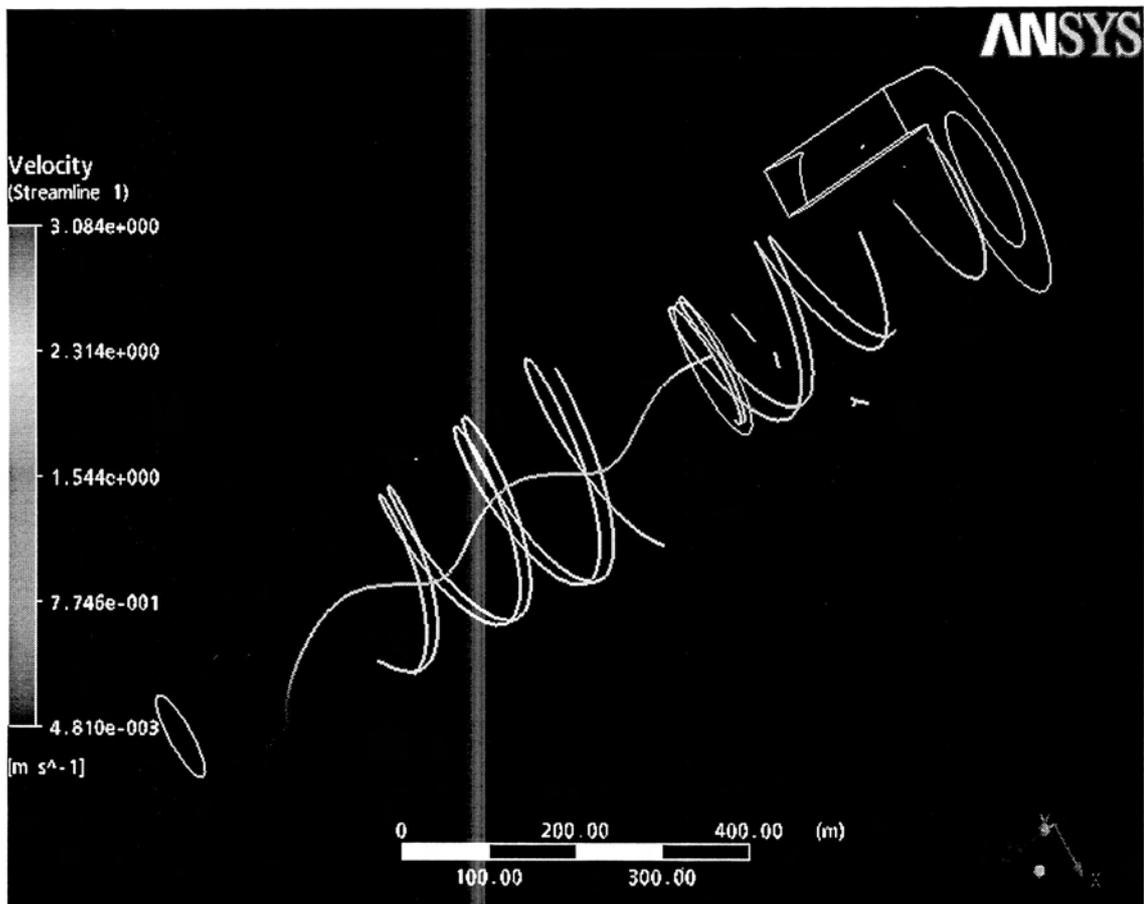


Figura 9. Linhas de corrente resultantes do processamento

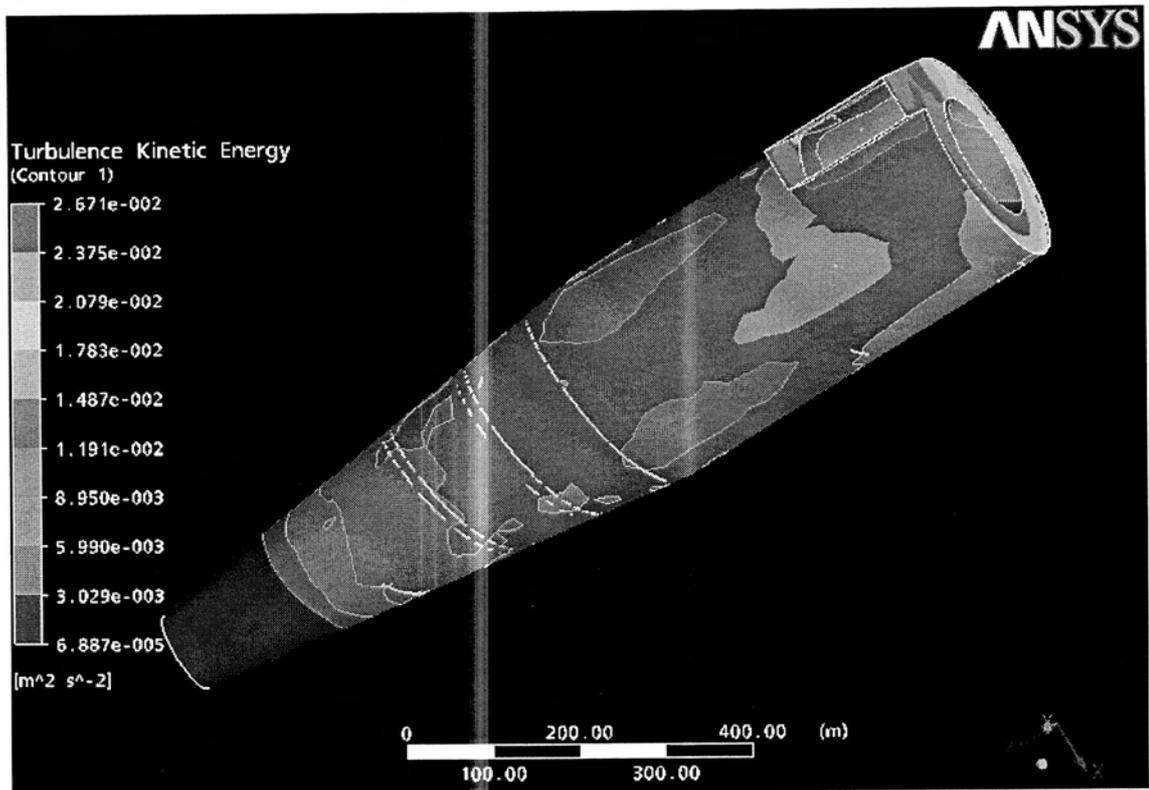


Figura 10. Energia cinética oriunda da turbulência gerada

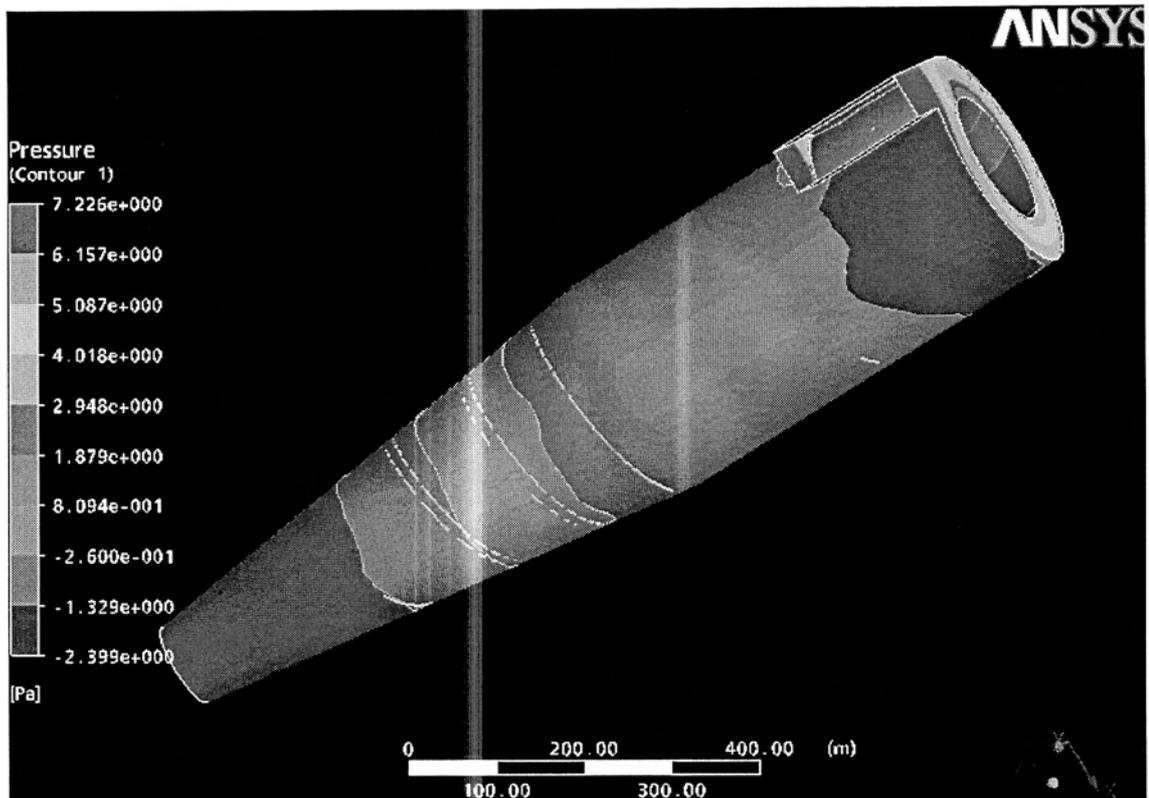


Figura 11. Valores de pressão ao longo do corpo do ciclone

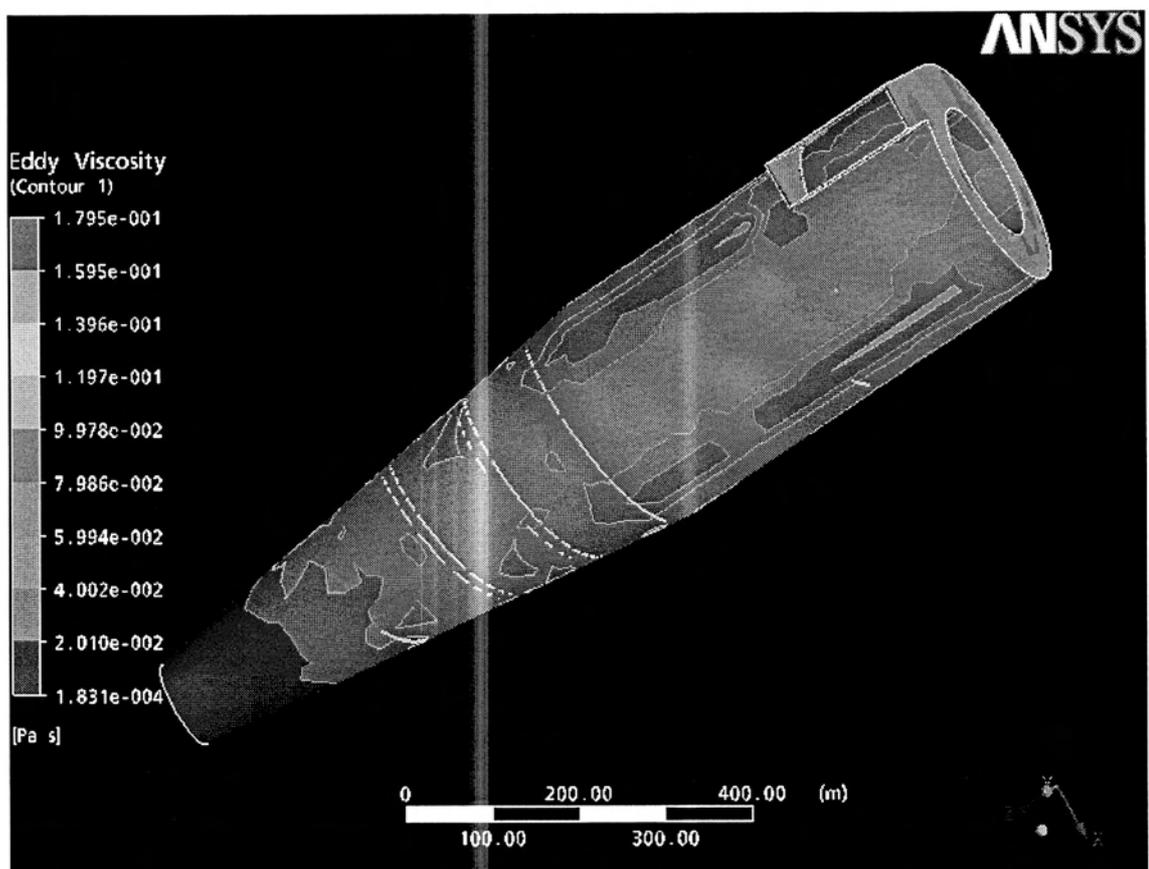


Figura 12. Viscosidade do fluido

3. Discussões

O projeto de um ciclo CLC, uma parceria entre o INPE e a VSE, deveria ter sido aprovado no começo do ano passado, entretanto, devido à burocracia encontrada, ainda continua em trâmite para ser oficialmente iniciado.

Por esse motivo, ainda não há referências reais para que seja simulado um ciclone industrial que seja apto para a utilização em um ciclo CLC.

O resultado demonstrado acima é realmente de um ciclone industrial, porém as condições citadas para a simulação da peça, assim como suas dimensões são valores experimentais, utilizados apenas para a familiarização com o correto funcionamento dos softwares utilizados.

4. Conclusão

O processo de combustão com química circulante é uma idéia promissora, pois promete armazenar o gás carbônico sem um gasto excessivo de energia, o que é convertido em um maior rendimento do ciclo com o mesmo custo dos ciclos tradicionais.

Além disso, o uso do CFD para modelar os fenômenos envolvidos no processo vem a ser um aliado poderoso na modelagem de todo o sistema, uma vez que há uma intensa redução de custos em testes e construção de protótipos. Portanto, o aprendizado correto de como funciona esse tipo de software se faz necessário para a correta interpretação e otimização dos resultados obtidos.