



## Relatório Final

Título do projeto de pesquisa: Tratamento de dados de PIV e PDI para caracterização do escoamento turbulento com combustão do BEIC

Bolsista: Lívia Ramos de Pádua Salles

Orientador(a): Wladimyr Mattos da Costa Dourado

Período a que se refere o relatório: Agosto de 2014 a Julho de 2015

### Resumo

A geração de dados a partir de um estudo feito através de laser possibilita uma melhor análise de um escoamento turbulento. Com o perfeito alinhamento dos seis feixes de laser, a reflexão da luz nas pequenas partículas é lida pelo fotomultiplicador que detecta os sinais e os converte em um gráfico.

A técnica PIV permite obter escala de comprimento de modo mais fácil.

Já com a técnica PDI/LDV obtém-se dados com maior resolução temporal, por ser um laser contínuo. Portanto, torna-se mais fácil obter as correlações espaciais. Por ser pontual, o tempo de ensaio para se obter as informações do escoamento passa a ser mais longo.

### 1. Introdução

Alguns processos como: troca de calor, transferência de massa, sistemas de bombeamento, e problemas envolvendo os corpos em movimento num dado meio fluido são possíveis graças ao escoamento turbulento. Temos como exemplo o transporte de calor ou poluentes em um ambiente podendo ser acelerado pela turbulência. Temos

também o escoamento turbulento em nossos pulmões acelerando a difusão de oxigênio e facilitando o processo de absorção.

Por isso é de grande importância o entendimento do fenômeno da turbulência, já que a maioria dos escoamentos encontrados na natureza e aplicações práticas têm esta característica. Algumas de suas características é o fato dela ser irregular e aleatória, surge de uma instabilidade do escoamento lamiar (escoamento estável).

Pode-se dizer também que é um fenômeno contínuo regido pelas equações da mecânica dos fluidos.

A prática e teoria da mecânica dos fluidos são necessárias para resolver problemas na engenharia, sendo que uma de suas aplicações é o estudo de escoamento dos líquidos e gases.

O fluido é uma substância que se deforma constantemente quando sujeito a uma tensão de cisalhamento, por menor que seja esta tensão.

Algumas propriedades fundamentais para a análise de um fluido são: massa específica, peso específico e peso específico relativo.

– Massa específica:  $\rho = \frac{m}{V}$ , onde  $\rho$  é a massa específica,  $m$  é a massa da substância e  $V$  é o volume por ela ocupado.

– Peso específico:  $\gamma = \frac{W}{V} \Rightarrow \gamma = \rho \cdot g$ , onde  $\gamma$  é o peso específico do fluido,  $W$  é o peso do fluido e  $g$  é a aceleração da gravidade.

– Peso específico relativo:  $\gamma_r = \frac{\gamma}{\gamma_{H_2O}}$ , é a relação entre o peso específico do fluido e o peso específico da água.

Para o estudo da turbulência pode-se classificar dois métodos diferentes, são eles:

– Métodos experimentais: anemometria a fio quente, anemometria a filme quente, anemometria a laser, anemometria por imagens rápidas.

– Métodos teóricos: modelos clássicos, modelos contemporâneos.

O estudo apresentado neste trabalho foi feito pelo método de anemometria a laser, com o objetivo de caracteriza-lo.

## 2. Considerações Gerais

### 2.1. PIV e PDI/LDV

Assim como Szeliga e Roma (2010) afirmam, a velocimetria por Imagem de Partículas (PIV) é uma técnica de diagnóstico não intrusiva utilizada para medir indiretamente a velocidade do fluido. Essa técnica se baseia na gravação do deslocamento de partículas traçadoras introduzidas no escoamento fornecendo a velocidade local do fluido. O processo é basicamente iluminar um segmento do escoamento com um feixe de luz em dois momentos consecutivos, assim se obtém imagens através da reflexão de luz causada pelas partículas contidas no fluido. Estas imagens são divididas em pequenas áreas denominadas áreas de interrogação. Para cada área de interrogação o vetor local de deslocamento é determinado utilizando correlações estatísticas.

Conforme Freire et al. (2006), uma outra técnica não intrusiva que tem como finalidade a análise de tamanho da partícula e da velocidade do escoamento é denominada Interferometria de Fase Doppler (PDI). O PDI/LDV é uma técnica de medição direta, pois ela mede a velocidade das partículas traçadoras presentes no escoamento. A técnica é baseada na medida do desvio doppler da luz laser espalhada por pequenas partículas presentes no escoamento. Este desvio doppler é proporcional a velocidade da partícula e depende do comprimento de onda da luz laser incidente e da geometria do sistema.

Para se obter os dados de velocidade utilizando o sistema PDI/LDV é necessário que duas ondas de luz provenientes de um mesmo feixe se cruzem, formando então as franjas de interferência, com o entrelaçamento destes raios ocorrerá uma formação de planos paralelos com intensidades claras e escuras. Assim a partícula ao passar entre estes espaçamentos resultará em sinais, é então que o fotomultiplicador detecta os sinais e os converte em um gráfico.

O fornecimento do tamanho da partículas acontece quando a partícula passa na franja de interferência encontrada no volume de medição. É então que ocorrerá a

reflexão e a refração graças aos planos iluminados na franja. Há três detectores que farão a leitura de três fases diferentes, a diferença de fases gerada pelo sistema trará o valor do diâmetro da partícula. Este cálculo é feito para cada partícula que passa pelo volume de medição.



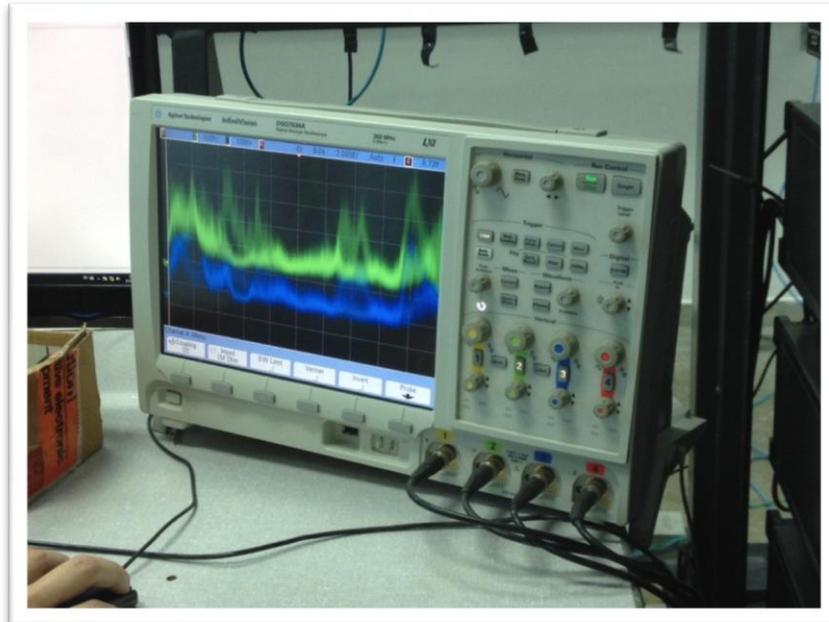
Estudo do escoamento através do laser

## 2.2. Aquisição e tratamento de sinal

O sinal elétrico proporcionado pelo fotodetector é enviado para um processador de sinal que fará o cálculo da frequência Doppler e enviará esta informação ao computador. É também responsável pela estimativa do tempo de chegada da partícula ao volume de controle, a amplitude do sinal e a taxa de sinal-ruído.

Um dos métodos utilizados para a medição de frequência Doppler é a contagem de períodos a um sinal que ultrapasse um nível mínimo de amplitude (em torno de 30 mV). A identificação é feita com base na amplitude do sinal. Seus principais critérios de

validação é o cruzamento sequencial de diferentes níveis de amplitude e a comparação da frequência calculada a partir de diferentes números de períodos.



Fotomultiplicador

### 2.3. Escalas Turbulentas e Correlação temporal e espacial.

Quando é feita uma comparação entre escoamentos turbulentos diferentes é possível notar padrões iguais de escoamento com tamanhos diferentes. Para a caracterização de um escoamento turbulento é preciso entender as escalas de turbulência, principalmente as escalas temporais e escalas espaciais.

Por exemplo, para um escoamento turbulento em um tubo se supõe que a escala de tempo seja da ordem da razão entre o diâmetro do tubo e a velocidade média do escoamento na seção transversal e a escala espacial seja da ordem de grandeza do diâmetro do duto.

### 2.4. Características da Turbulência

De acordo com Neto (2002), pode-se observar algumas características da

turbulência, tais como:

É um fenômeno difusivo: A turbulência aumenta o poder de difusão de um escoamento. No modo laminar as partículas não se deslocam rapidamente de uma posição para outra, porém no turbulento as partículas com altas temperaturas se movem velozmente de um lugar a outro, tocando outras partículas de baixa temperatura. Isto implica em fortes gradientes dos potenciais associados, o que acelera o processo de difusão molécula.

É rotacional e tridimensional: Ocorre apenas em escoamentos rotacionais. Não existindo a possibilidade de gerar vorticidade (quantificação da rotação de um fluido) em escoamentos bidimensionais, o escoamento turbulento só poderá ser tridimensional.

É um fenômeno altamente dissipativo: Necessita do fornecimento constante de energia para sua preservação. Se não houver este fornecimento a turbulência cairá rapidamente.

É um fenômeno contínuo: Além de contínuo, ele é regido pelas equações da mecânica dos fluidos.

É um fenômeno imprevisível: Não é possível realizar dois experimentos idênticos. Assim como não se pode calcular o campo de velocidade exato, em razão à dificuldade de obter as condições iniciais do escoamento sem erros, porém pode-se calcular o campo médio.

## 2.5. Origem da turbulência

A formação da turbulência, identificada por Reynolds (1883), acontece com instabilidades em um escoamento estável (denominado laminar) que se multiplicam em um processo não linear, formando o regime turbulento.

Resumindo, pode-se generalizar este processo de transição, seja qual for o tipo de escoamento, sendo consequência da amplificação de perturbações causadas por diversas fontes de ruídos. Esta amplificação acontece apenas em razão da existência de zonas de cisalhantes no interior dos escoamentos.

Comparando com o regime laminar, o regime turbulento possui um aumento das taxas de transferência de quantidade de movimento, energia e massa.

Uma das principais características da turbulência é sua difusividade, pois é ela



que provoca as rápidas misturas e aumenta as taxas de transferência de "momentum".

### 3. Conclusão

Ao final do projeto, pode-se compreender melhor o processo de aquisição dados e métodos para o tratamento de sinal do laser PIV e PDI.

O efeito Doppler acontece no momento em que o receptor ou o emissor de uma onda eletromagnética está em movimento, acarretando em uma alteração da frequência e comprimento da onda em relação à onda transmitida originalmente.

Assim, o PDI trabalha com essa alteração e com isso faz a análise do tamanho e da velocidade das partículas.

Foi possível também ter conhecimento de que apesar do PIV ter suas limitações como a necessidade de que o fluido tenha partículas, sejam elas naturais ou adicionadas, para que haja o rastreamento pelas imagens e de que é necessário interações para calcular os resultados, a utilização da mesma mostra-se vantajoso por se mostrar um método não intrusivo, proporcionar as medições da velocidade quase que instantaneamente e capacitado de mostrar o sentido de deslocamento das partículas.

Pôde-se compreender ainda a caracterização da turbulência e sua grande importância. Sendo ela rotacional, tridimensional, altamente dissipativo, contínuo e imprevisível.

Já que maioria dos escoamentos encontrados na natureza e aplicações práticas tem característica turbulenta, verifica-se a importância de seu estudo e caracterização.

### Referencias

FREIRE, A. P. S; ILHA, A.; COLAÇO M. J. Turbulência. Notas de aula. 2006.  
Rio de Janeiro



SZELIGA, M. R.; ROMA, W. N. L. Túnel Hidrocinemático – Sistema S-PIV-3D – Velocimetria Estereoscópica por Imagens de Partículas. Notas de aula. 2010. Ponta Grossa.

Disponível em: <<http://combustao.usuarios.rdc.puc-rio.br/Pesquisa.html>>. Acesso em: 25 de novembro de 2014.

Disponível em: <<http://www.dantecdynamics.com/measurement-principles-of-lda>>. Acesso em: 25 de novembro de 2014.

Disponível em: <[http://www.turbulencia.coppe.ufrj.br/metexp/files/MetExp\\_ALD\\_VIP.pdf](http://www.turbulencia.coppe.ufrj.br/metexp/files/MetExp_ALD_VIP.pdf)>. Acesso em: 10 de dezembro de 2014.

Disponível em: <[http://mecflu2.usuarios.rdc.puc-rio.br/Turbulencia\\_MEC2355.html](http://mecflu2.usuarios.rdc.puc-rio.br/Turbulencia_MEC2355.html)>. Acesso em: 16 de dezembro de 2014

Disponível em: <<http://www.engbrasil.eng.br/pp/mf/mef.pdf>>. Acesso em: 21 de abril de 2015.

Disponível em: <[http://www2.eesc.usp.br/netef/Oscar/FUNDAMENTOS\\_DE\\_TURBULENCIA.pdf](http://www2.eesc.usp.br/netef/Oscar/FUNDAMENTOS_DE_TURBULENCIA.pdf)>. Acesso em: 11 de maio de 2015.

Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/anais/eptt/2002/Cap1-ASilveiraNeto.pdf>>. Acesso em: 13 de maio de 2015.

Disponível em: <[http://mecflu2.usuarios.rdc.puc-rio.br/Turbulencia\\_Mec2355/3-Turbulencia%E2%80%932014-CharacterizacaoTurbulencia.pdf](http://mecflu2.usuarios.rdc.puc-rio.br/Turbulencia_Mec2355/3-Turbulencia%E2%80%932014-CharacterizacaoTurbulencia.pdf)>. Acesso em: 16 de junho de 2015.