

AVALIAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DA VELOCIDADE EM CORRENTE DE TURBIDEZ COM BASE EM EXPERIMENTOS FÍSICOS



Lucas Pereira¹, Rafael Manica²
NÚCLEO DE ESTUDOS DE CORRENTE DE DENSIDADE - INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS
¹Bolsista FAURGS, ²Orientador.



Introdução

Uma corrente de densidade é o movimento relativo entre fluidos que possuem diferentes massas específicas devido a diferenças de temperatura, concentração de sólidos dissolvidos ou de sólidos suspensos. As correntes de densidade não conservativas são aquelas que se desenvolvem devido à presença de sólidos suspensos. Estas são denominadas correntes de turbidez, pois o principal mecanismo de suporte de grãos é a turbulência. As características hidrodinâmicas das correntes de densidade, ainda hoje, necessitam de análises com relação ao perfil de velocidade e intensidade turbulenta no seu interior. A modelagem física tem sido o principal método científico para entender os mecanismos de formação e desenvolvimento de correntes de turbidez, pois observar tais fenômenos na natureza é inviável. O presente estudo visa comparar velocidades coletadas em diferentes pontos da corrente e analisar as flutuações destas velocidades para entender melhor o fenômeno da turbulência neste tipo de fluxo.

Ensaio

Para este estudo foram simulados diversos fluxos. Para cada fluxo foi preparada uma mistura com diferentes concentrações de carvão (Tab. 1) em um reservatório elevado de 2000 litros. Durante a injeção, um medidor eletromagnético registra a vazão e o volume de mistura injetado. Para cada ensaio foram dispostos diversos equipamentos para medição de velocidade de avanço da corrente e concentração. A disposição dos equipamentos ao longo do canal encontra-se na Fig. 1.

As velocidades foram medidas por medidores de velocidade acústicos através do efeito Doppler (Vectrinos). O equipamento coleta a velocidade do fluxo em 3 diferentes direções: \vec{y} , no sentido da largura do canal, \vec{x} , no sentido do fluxo, e \vec{z} , no sentido perpendicular ao fundo do canal. Dois dos quatro pontos de coleta de dados foram dispostos a 7,25 m do início do canal, sendo que um media a 1 cm do fundo do canal e o outro media a 8 cm de altura do fundo do canal. Os outros dois equipamentos foram dispostos da mesma maneira, mas a 11,25 m do início do canal.

Ensaio	1	2	8
Concentração de carvão	11,98%	30,60%	1,84%
Volume da mistura [litros/s]	200	200	400
Vazão [litros/s]	50	50	50

Tab. 1. Dados de concentração, volume e vazão por ensaio.

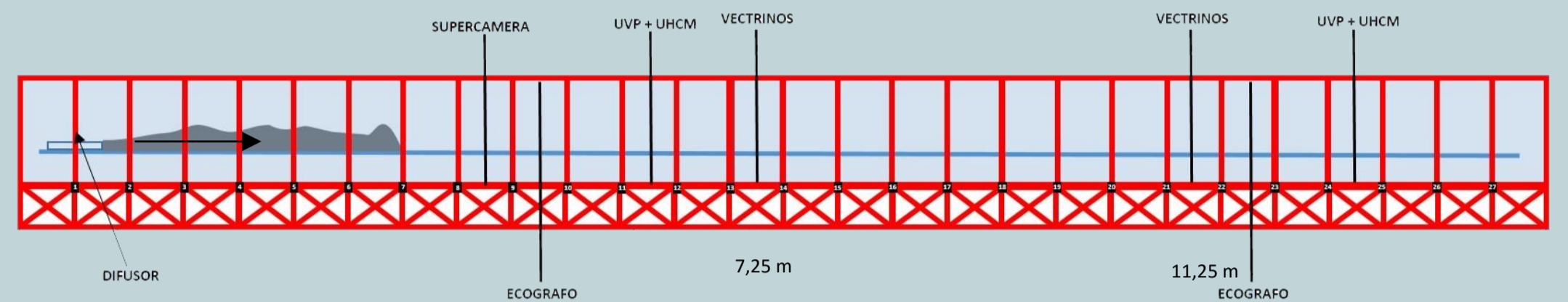


Fig. 1: Disposição dos equipamentos durante o ensaio.

Tratamento e Análise dos Dados

Etapa 1: Verificação dos dados brutos

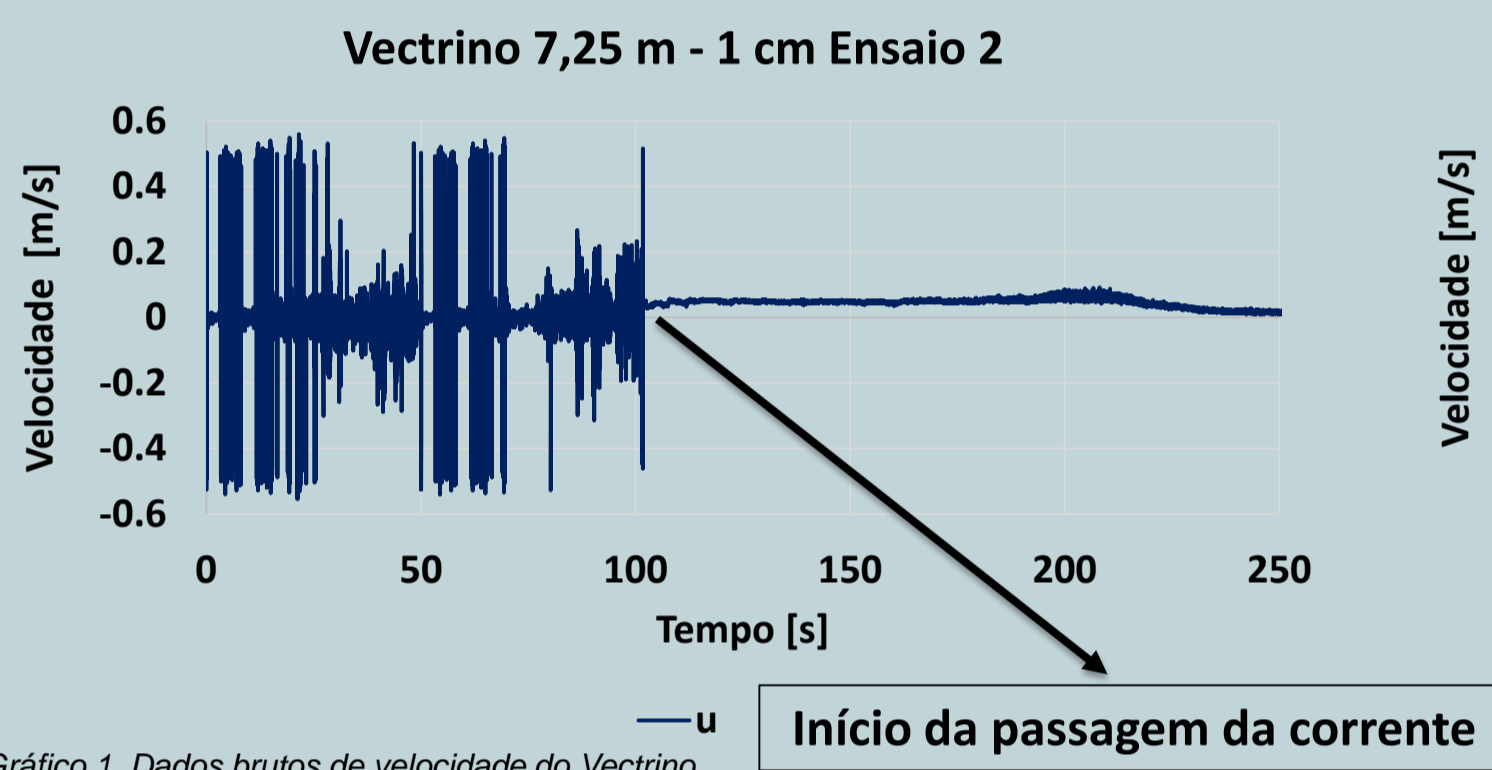


Gráfico 1. Dados brutos de velocidade do Vectrino.

Etapa 2: Primeiro tratamento

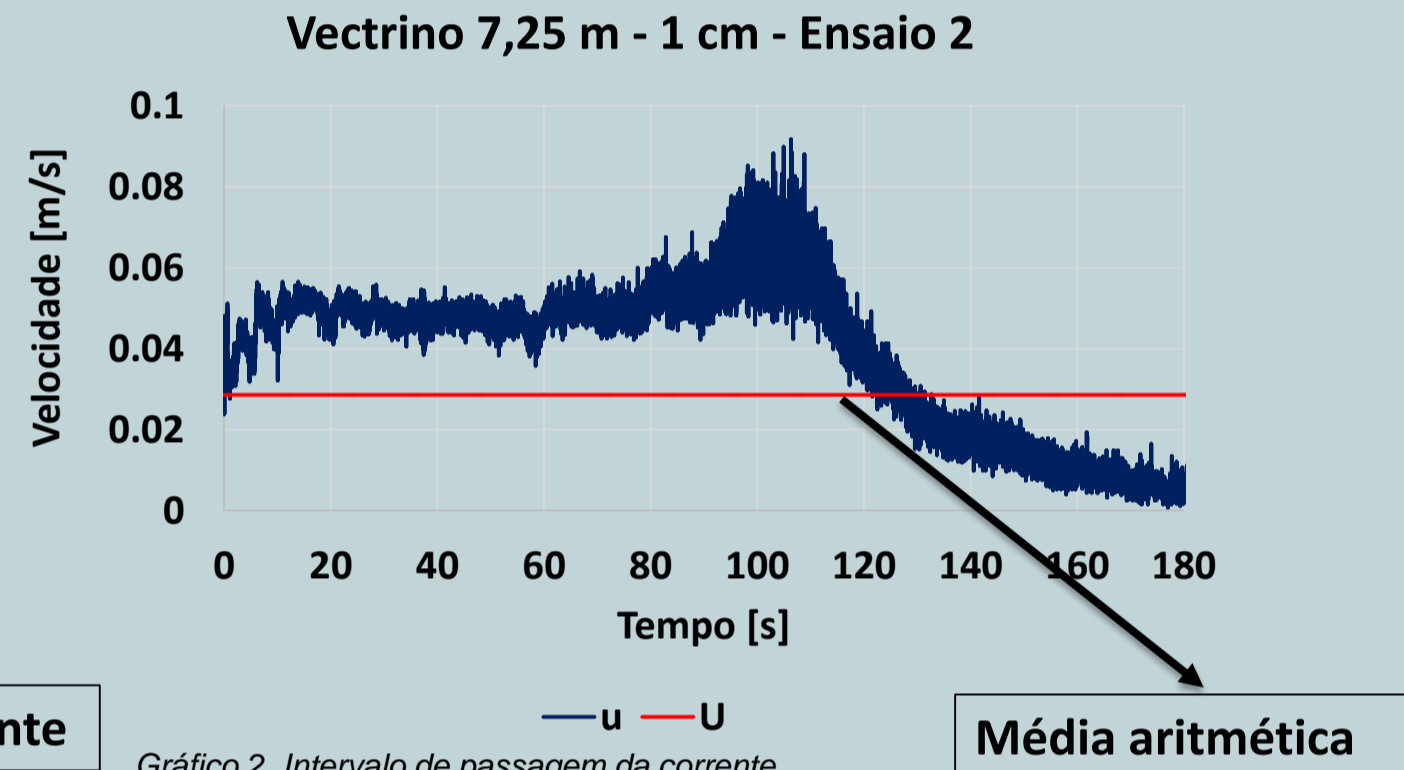


Gráfico 2. Intervalo de passagem da corrente.

Etapa 3: Otimização do tratamento

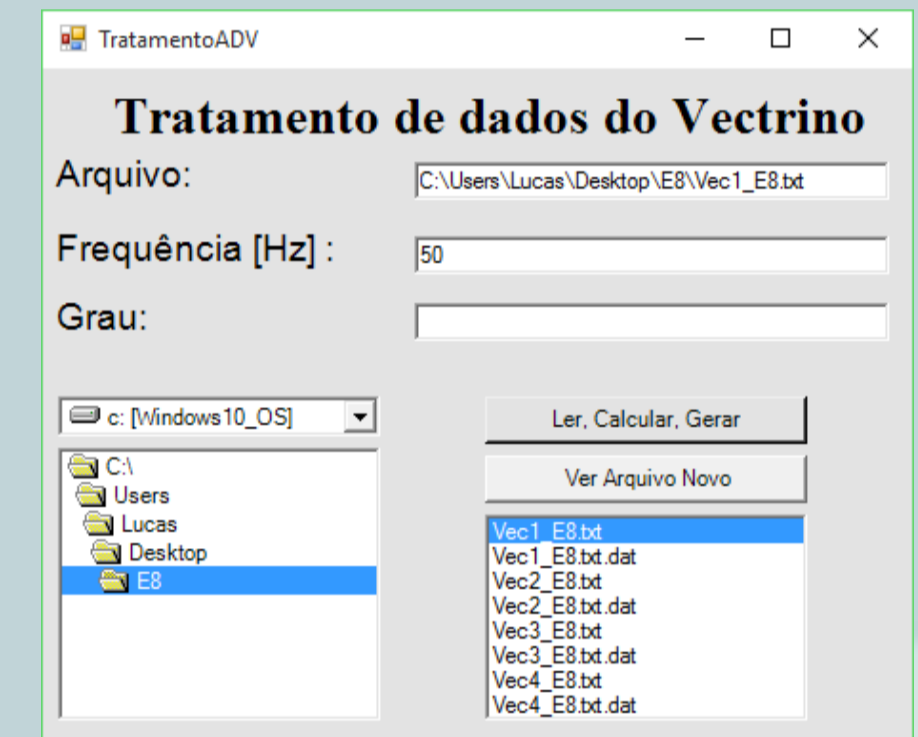


Fig. 2. Programa TratamentoADV.

Como os Vectrinos foram ligados antes da passagem da corrente por eles, foi necessário uma separação da coleta dos dados. A identificação dos dados de leitura da corrente foi simples conforme mostra o Gráfico 1, sendo u a velocidade em \vec{x} . Após a identificação do intervalo de coleta de dados da corrente, foi necessário encontrar os melhores métodos para o cálculo das variáveis desejadas: flutuação das velocidades (u'), intensidade turbulenta (u_{RMS}) e tensão de Reynolds (τ_{Rd}).

A primeira análise dos dados de velocidade dos Vectrinos demonstrou uma grande variação na velocidade média da corrente ao longo do tempo. Essa variação não possibilita o cálculo de uma média aritmética para cálculo das flutuações da velocidade (1) como mostra o Gráfico 2. Frente a isso foi feito um ajuste polinomial pelo método dos mínimos quadrados para calcular a velocidade média da corrente em cada instante.

A necessidade do tratamento dos dados de forma diferenciada motivou uma otimização no tratamento dos dados. Para isso foi criado um programa em Visual Basic, denominado TratamentoADV (Fig. 2), para otimizar análise destes dados. O programa tem como entrada os dados de velocidade e concentração, frequência de coleta dos dados, e grau do polinômio a ser ajustado.

A definição do grau ótimo do polinômio a ser ajustado foi feita através de gráficos de comparação da velocidade medida com a velocidade calculada com o polinômio. O TratamentoADV devolve um arquivo de extensão .txt, separado por colunas, com os dados de entrada, médias calculadas pelo polinômio, flutuação das velocidades (1), intensidade turbulenta (2) e tensão de Reynolds (3), calculada com as velocidades u (\vec{x}) e w (\vec{z}).

$$u' = u - U \quad (1)$$

$$u_{RMS} = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (u_i - U)^2 \right]^{0.5} \quad (2)$$

$$\tau_{Rd} = -\rho u' w' \quad (3)$$

$$\overline{u' w'} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (u_i - U)(w_i - W) \quad (4)$$

*U e W = Velocidade média.

Resultados e Discussões

Etapa 4: Análise dos Resultados

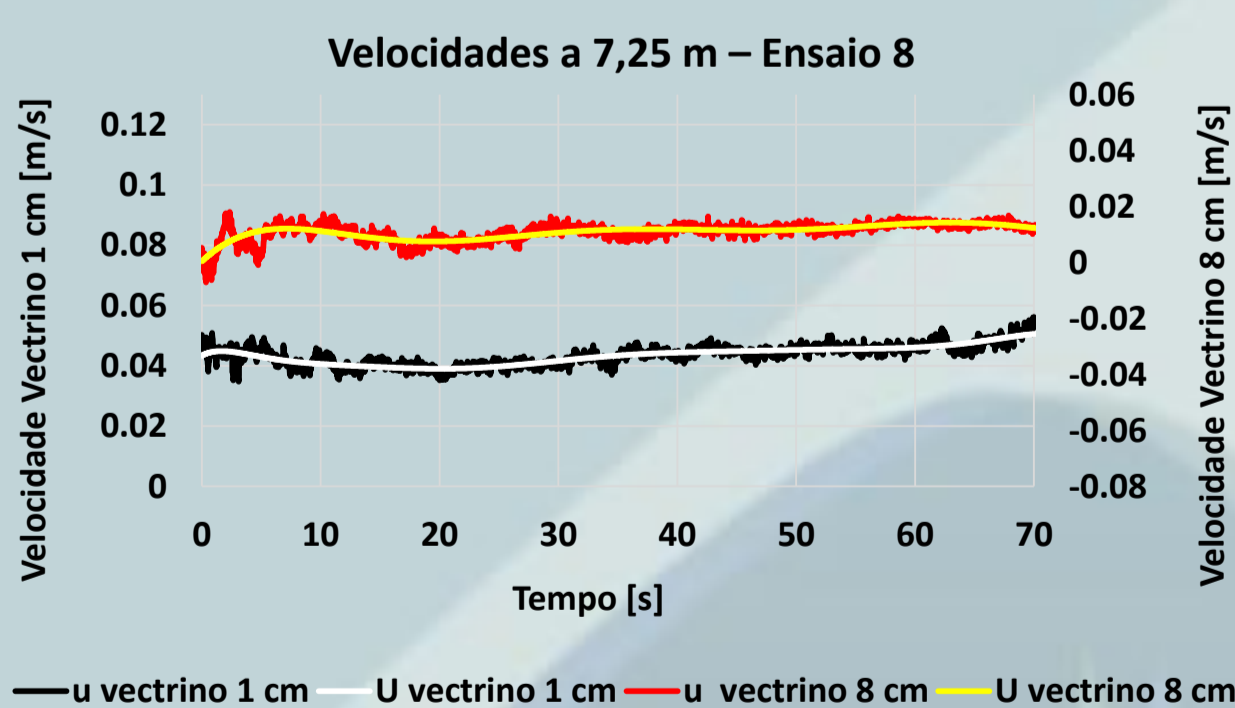


Gráfico 3. Velocidades no ponto à montante do canal.

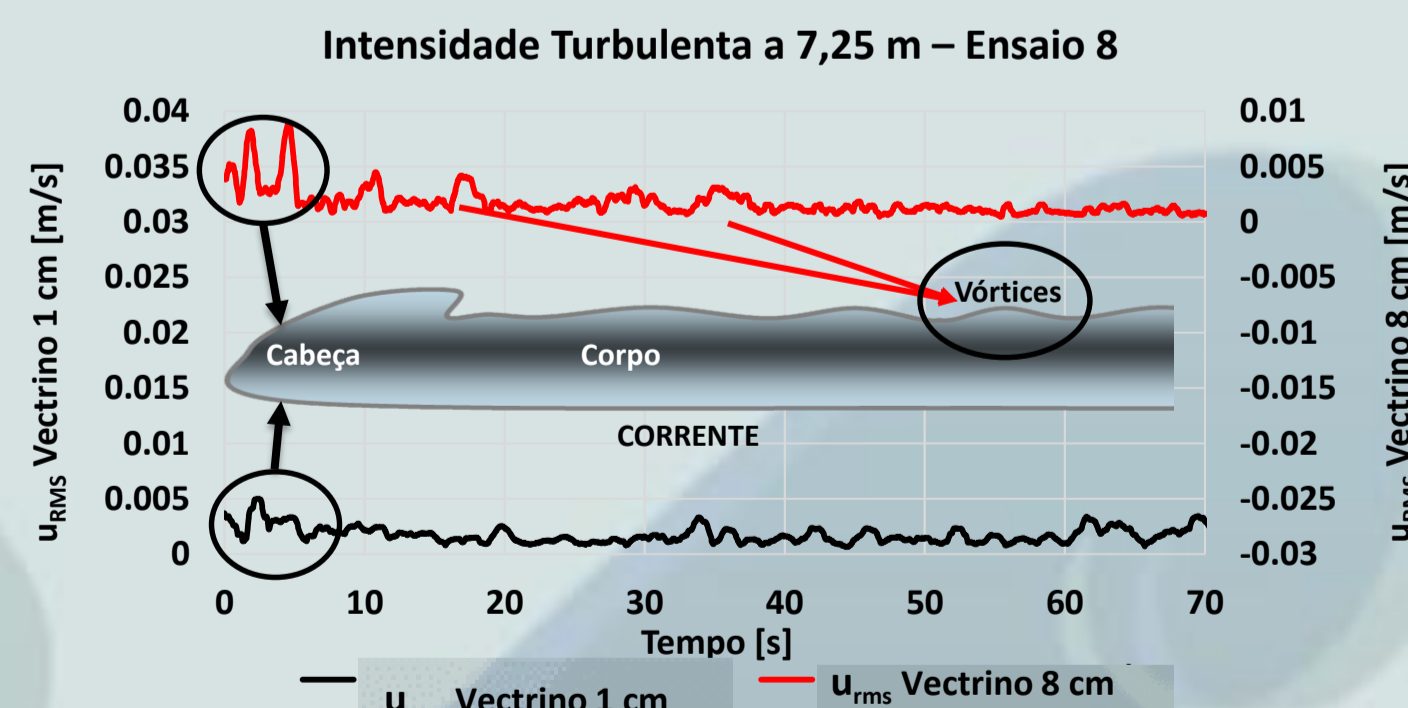


Gráfico 4. Intensidade turbulenta ao longo do tempo.

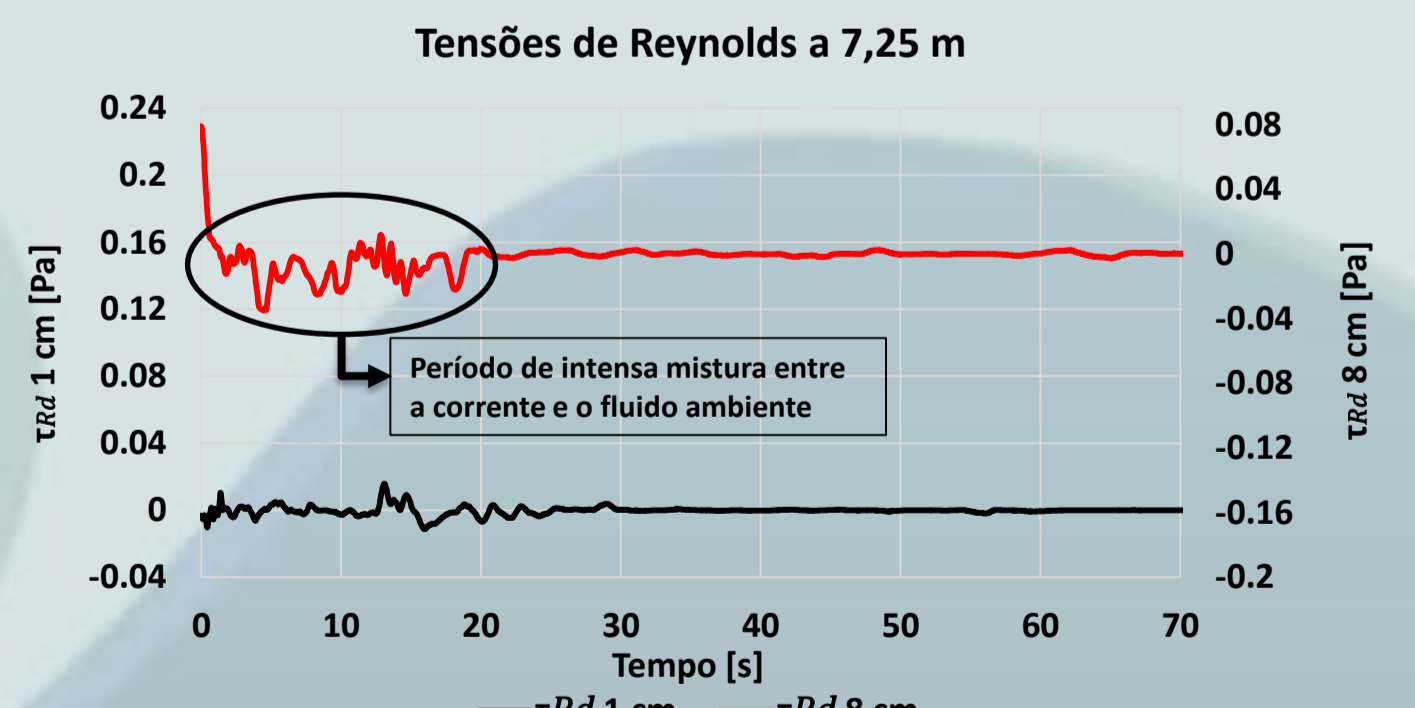


Gráfico 5. Tensões de Reynolds.

Os gráficos 3 a 5 apresentam os resultados para a medição na região mais à montante do canal durante o ensaio 8. Ao analisar as flutuações da velocidade da corrente no sentido do fluxo, foi possível reconhecer os trechos de maior intensidade turbulenta. O trecho de maior intensidade coincide com a passagem da cabeça da corrente que ocorre nos primeiros instantes.

Após a passagem da cabeça, nota-se alguns picos e depois uma certa estabilização na intensidade turbulenta. Tais picos ocorrem pela formação de vórtices na parte superior da corrente. Já a estabilização ocorre em virtude da passagem do corpo da corrente no qual o escoamento apresenta variações menores no desenvolvimento da velocidade, diminuindo a turbulência.

É possível identificar outros picos em u_{RMS} durante a passagem do corpo. Essas mudanças podem ser relacionadas com picos de vazão na injeção da mistura, pois o reservatório não era de nível constante. A avaliação da influência da vazão é complexa, uma vez que a vazão é medida no local de injeção e a velocidade registrada em pontos mais à jusante do canal.

Em todos os ensaios, as tensões de Reynolds se comportaram da mesma forma, sendo de maior intensidade durante os primeiros instantes e apresentando valores mais elevados no ponto a 8 cm do fundo do canal. Isso ocorre devido às interações maiores do fluido ambiente com a corrente de turbidez (maiores variações em u e w) na parte superior.

Considerações Finais

Com este trabalho foi possível estabelecer uma metodologia para um tratamento adequado dos dados obtidos experimentalmente, o que motivou a criação de um programa para otimizar este tratamento. A partir da análise dos resultados foi possível identificar os diferentes momentos da passagem da corrente nos pontos estudados e o comportamento da intensidade turbulenta e das tensões de Reynolds. Para a próxima etapa do trabalho será feita uma correlação entre os dados de vazão e as flutuações das velocidades através da análise da densidade espectral.

Referências

- Kneller, B.C., Buckee, C. 2000. *The structure and fluid mechanics of turbidity currents: a review of some recent studies and their geological implications*. Sedimentology, Vol 47 (suppl. 1), pp 62-94.
- Khorsandi, B., Mydlarski, L. 2012. *Noise in Turbulence Measurements Using Acoustic Doppler Velocimetry*. Journal of Hydraulic Engineering, Vol 138, pp 829-838.
- Chouh, C.M.A., Baas, J.H., McCaffrey, W.D., Haughton, P.D.W. 2005. *Comparison of spatio-temporal evolution of experimental particulate gravity flows at two different initial concentrations, based on velocity, grain size and density data*. Sedimentary Geology, Vol 179, pp 49-69.
- Kneller, B.C., Bennett, S.J., McCaffrey, W.D. 1997. *Velocity and turbulence structure of density currents and internal solitary waves: potential sediment transport and the formation of wave ripples in deep water*. Sedimentary Geology, Vol 112, pp 235-250.