# Simulação numérica e visualização do escoamento ao redor de cilindros com elevada razão de aspecto

### Daniel Yoshio Futenma da Silva danielfutenma@uol.com.br

**Resumo.** Este trabalho tem por objetivo abordar o problema de interferência fluido-estrutura. Pretende-se investigar o comportamento de um riser, que é um elemento tubular muito utilizado em plataformas "off shore" de produção de petróleo. Para a simulação do riser imerso no escoamento dispõe-se do programa Anflex fornecido pela Petrobrás integrado com rotinas de CFD (Dinâmica dos Fluidos Computacional) desenvolvidas no NDF (Núcleo de Dinâmica dos Fluidos) da Escola Politécnica da USP. Pretende-se comparar os resultados obtidos para os coeficientes de arrasto com alguns resultados da literatura, e posteriormente, gerar a visualização dos vórtices e seus respectivos contornos de vorticidade através de uma ferramenta gráfica que foi desenvolvida pelo aluno na Iniciação Científica (IC).

Palavras chave: desprendimento de vórtices, vibração induzida por vórtices(VIV), coeficiente de arrasto, contornos de vorticidade.

#### 1. Introdução

Os "risers" são estruturas cilíndricas presentes no processo de perfuração e extração de poços de petróleo. A busca pelo entendimento do comportamento deste tipo de estrutura se torna bastante atraente, devido à importância que a produção de petróleo em plataformas "off shore" tem em nossa sociedade. Campos de petróleo são encontrados pela Petrobrás, a lâminas d'água cada vez mais profundas e em condições ambientais desfavoráveis. Estas estruturas podem atingir à condição de separação da camada limite na superfície do corpo e gerar o desprendimento de vórtices alternados, conhecido como "vortex shedding" e induzir vibrações na estrutura (VIV).

Este trabalho tem por objetivo abordar o problema de interferência fluido-estrutura, no qual se pretende comparar alguns resultados para os coeficientes de arrasto encontrados na literatura com os resultados obtidos em simulações numéricas, e posteriormente, gerar a visualização dos vórtices e seus respectivos contornos de vorticidade através de uma ferramenta gráfica que foi desenvolvida pelo aluno na IC.

#### 2. Fundamentação Teórica

Como visto em Munson (2004), a hipótese fundamental da teoria de fluido ideal assume que numa superfície qualquer no interior do fluido as ações exercidas nesta superfície consistem somente em ações normais, ou seja, pressão. Sabemos, no entanto, que em um fluido real ocorrem, além das tensões normais, tensões tangenciais. Estas últimas são causadas pela viscosidade.

De acordo com Meneghini (2002), Prandtl propôs que havia uma pequena região próxima à parede do corpo na qual os efeitos viscosos eram importantes. A condição de aderência, na qual o efeito da viscosidade é fazer com que não haja deslizamento do fluido junto à parede, foi postulada por Prandtl quando do desenvolvimento de sua teoria. A pequena região do escoamento próxima à parede, na qual os efeitos viscosos são importantes, foi chamada por Prandtl de camada limite.

Com a teoria da camada limite proposta por Prandtl podemos analisar o escoamento ao redor de um corpo afilado dividindo-o em duas regiões distintas: a) a região na qual a ação das forças viscosas é importante, esta região é contígua aos contornos sólidos e foi denominada por Prandtl de camada limite; b) a região na qual a ação da viscosidade é desprezível, prevalecendo o modelo de fluido ideal para o qual é aplicável a teoria do escoamento potencial.

No caso de um corpo rombudo, como um cilindro circular, esta análise é mais complexa, pois além das duas regiões citadas, temos uma terceira: c) uma região caracterizada pela presença de recirculação, formada por vórtices. Estes são formados e desprendidos devido à interação das camadas cisalhantes, as quais se formaram devido à separação da camada limite. Esta região é caracterizada pela existência de pacotes de fluido com vorticidade elevada e de sinais opostos, e será explicada de forma mais detalhada a seguir.

#### 2.1 Vórtices

Vórtices são regiões do fluido com alta vorticidade advindo da tentativa do fluido em contornar dos movimentos realizados pelo fluido ao redor de um centro de rotação. Eles são encontrados nas mais diversas condições de escoamento de fluido na natureza locais da natureza, como linhas de transmissão, prédios, pilares e pontas de asa, como visto na Fig. (1).



Figura 1. Formação de vórtice - extraída de NASA (2010)

Vorticidade é um conceito matemático que pode ser entendido como a quantidade de circulação ou rotação de um fluido por unidade de área de um ponto no campo de escoamento. A rigor, vorticidade é definida pela Eq. (1).

$$\vec{\omega} = \nabla x \, \vec{V} \tag{1}$$

No caso de um escoamento bidimensional, a componente z da vorticidade é dada pela Eq. (2).

$$\omega_z = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \tag{2}$$

A vorticidade está relacionada com a circulação de acordo através do teorema de Stokes apresentado pela Eq. (3).

$$\Gamma = \oint \vec{v} \cdot \vec{dl} = \int \left( \nabla x \vec{V} \right)_z dx dy = \int \omega_z dx dy \tag{3}$$

O escoamento ao redor de um corpo rombudo, como um riser, é marcado pela geração e desprendimento de vórtices alternados à jusante do escoamento. Estes vórtices, por sua vez, interagem com a estrutura através da formação de campos de pressão cíclicos que impõe carregamentos na estrutura.

Essa formação de carregamentos cíclicos induz vibrações na estrutura, que são conhecidos como VIV, vibração induzida por vórtices, e é extremamente dependente do número de Reynolds, que é dado pela Eq. (4).

$$Re = \frac{\rho UD}{\mu} = \frac{UD}{\nu} \tag{4}$$

onde  $\rho$  é a densidade do fluido,  $\mu$  é a viscosidade dinâmica do fluido, v é a viscosidade cinemática do fluido, U é a velocidade do fluido ao longe e D é o diâmetro do cilindro, em unidades do SI.

Quando o escoamento interior à camada limite possuir um gradiente de pressões adverso, isto é, quando dp/dx > 0, as partículas de fluido perdem energia cinética devido ao atrito e também devido a este gradiente, ocorrendo desaceleração do fluido. Esta condição adversa poderá provocar não apenas a anulação da velocidade, mas até mesmo uma inversão do sentido do fluxo. Quando isto ocorre, dizemos que ocorreu a separação.

A ocorrência dessa separação faz com que haja a formação de duas camadas cisalhantes livres na região imediatamente posterior ao corpo, e é um elemento decisivo na formação dos vórtices. Um vórtice cresce ganhando circulação oriunda da camada cisalhante a qual ele está conectado. Em um certo instante, o vórtice que está crescendo torna-se suficientemente intenso para atrair a camada cisalhante oposta. Esta atração se dá devido à velocidade induzida pelo vórtice em crescimento. A aproximação de fluido com vorticidade oposta, em uma concentração suficientemente intensa, interrompe a alimentação de circulação do vórtice em crescimento e então, ele é desconectado da camada cisalhante e a seguir, convectado para jusante do escoamento, formando a esteira.

Estas duas camadas com vorticidade de sinais opostos constituem um sistema instável quando pequenas perturbações estão presentes e certas condições são satisfeitas. A interação destas duas camadas cisalhantes de fluido é não-linear e representa a razão principal da formação e desprendimento de vórtices atrás do corpo, como pode ser observado na Fig. (2).



Figura 2. Formação dos vórtices Re=140 (Potter; Wiggert, 2004).

#### 2.2 Modelagem

Para o caso em questão, o estudo de um riser submerso, dispõe-se do programa Anflex fornecido pela Petrobrás. Tal programa resolve a dinâmica estrutural do riser, através do Método dos Elementos Finitos e é capaz de modelar o fluido, através de técnicas de CFD com rotinas do Método dos Vórtices Discretos desenvolvidas no NDF (Núcleo de Dinâmica dos Fluidos) e que estão acopladas ao Anflex.

As forças hidrodinâmicas são obtidas por meio de simulações bidimensionais de escoamento. Cada nó do modelo estrutural tem uma faixa bidimensional correspondente. Vale lembrar que a interação entre as faixas de escoamento é dada apenas pelo comportamento da estrutura.

#### 2.2.1 Método dos Vórtices Discretos

No Anflex as cargas hidrodinâmicas são obtidas através do Modelo de Morison. Entretanto o fenômeno de VIV não era captado devido ao fato das forças serem estimadas pela equação de Morison. Daí então que se faz uso do Método dos Vórtices Discretos (MVD), que são rotinas de CFD e que foram acopladas ao Anflex. Este método é uma técnica Lagrangeana, pois as propriedades do escoamento são transportadas por partículas, no caso os vórtices, e é utilizado principalmente para estudar escoamentos reais, onde existem regiões com elevada vorticidade.

É possível simular escoamentos reais bidimensionais, incompressíveis e viscosos. Na versão do MVD utilizada para as simulações dos problemas envolvendo acoplamento hidrodinâmico, o corpo é discretizado em  $N_w$  painéis e  $N_w$ vórtices discretos com circulação  $\Gamma_i$  são gerados a uma distância  $\sigma_0$  da superfície, como pode ser visto na Fig. (3), a cada instante de tempo, de forma a modelar a geração de vorticidade na camada limite.



Figura 3. Distância de criação do vórtice (Yamamoto, 2002)

Estes vórtices são convectados com velocidades que são avaliadas através da soma da contribuição devido ao escoamento uniforme ao longe e as velocidades induzidas por todos os outros vórtices. Estas últimas são calculadas através da equação de Biot-Savart.

A circulação  $\Gamma$  é dada pela Eq. (5).

$$\Gamma = \int \vec{\omega} \cdot \vec{n} \, dA = \oint \vec{v} d\vec{l} \tag{5}$$

E a velocidade induzida por um vórtice irrotacional é dada pela Eq. (6).

$$U_{\theta} = \frac{\Gamma}{2\pi r} \tag{6}$$

Porém pode-se observar que a velocidade induzida no centro do vórtice é infinita, o que na realidade não é verdade. Para corrigir isto, Spalart e Leonard propuseram uma formulação alternativa, na qual assume-se que o vórtice

possua um núcleo  $\sigma$ , chamado também de *"core"*, na qual a velocidade no centro do vórtice é nula, cresce até o limite do núcleo e depois decai. Desta forma a velocidade induzida pelo vórtice é dada pela Eq. (7), em unidades do SI.

$$U_{\theta} = \frac{\Gamma}{2\pi} \frac{r}{r^2 + \sigma^2} \tag{7}$$

Como em Meneghini (2002), o núcleo  $\sigma$  é utilizado para modelar o efeito da viscosidade. Basicamente o núcleo aumenta de tamanho a cada intervalo de tempo, induzindo uma velocidade menor nos vórtices ao seu redor ao longo do tempo.

Considerando que  $N_w$  vórtices são gerados a cada passo de tempo, o número total de vórtices nos cálculos cresce rapidamente, fazendo com que o custo computacional fique excessivo. Faz-se então necessária a utilização de um procedimento para manter o número de vórtices dentro de certos limites. Por esta razão utiliza-se um esquema de amalgamação dos vórtices, em cujo procedimento procura-se unir dois vórtices quando certas condições são satisfeitas. Esta amalgamação ocorre preservando a circulação total do escoamento e quantidade de movimento.

A força total atuante no cilindro pode ser obtida por meio da integração do campo de pressões (as forças geradas podem ser divididas devido à circulação e à aceleração do corpo) e das tensões de cisalhamento. A expressão que relaciona a pressão e a circulação gerada ao redor do corpo é derivada das equações de Navier-Stokes. A dedução pode ser vista em Fregonesi (2002) ou em Yamamoto (2002).

A cada instante de tempo são calculados os coeficientes de arrasto e de sustentação ( $C_d \in C_l$ ) dados pelas Eq. (8) e Eq. (9).

$$C_d = \frac{\vec{F}_{\text{total}} \cdot \vec{e}_x}{1/_2 \rho U^2 D} \tag{8}$$

$$C_l = \frac{F_{\text{total}} \cdot \vec{e}_y}{1/2\rho U^2 D}$$
(9)

onde  $\vec{F}_{total}$  é a força total por unidade de comprimento,  $\rho$  é a densidade do fluido, U é a velocidade ao longe do fluido e D o diâmetro do corpo, em unidades do SI.

Esses coeficientes são enviados ao código Anflex no qual são determinados os deslocamentos e deformações, gerando uma nova configuração do riser. Essas novas informações são enviadas à rotina de MVD e são recalculados  $C_d$  e  $C_l$ , caracterizando assim o processo iterativo.

O cálculo das forças atuantes no cilindro pode ser feito por meio da integração do campo de pressões e das tensões de cisalhamento, conforme visto em Fregonesi (2002). A expressão que relaciona a pressão e a circulação gerada ao redor do corpo é derivada das equações de Navier-Stokes, e escrevendo-se a equação em função das coordenadas tangenciais e normais ao corpo.

Para a coordenada tangencial, temos a Eq. (10).

$$\frac{\partial \mathbf{v}_{s}}{\partial t} + \mathbf{v}_{s}\frac{\partial \mathbf{v}_{s}}{\partial s} + \mathbf{v}_{n}\frac{\partial \mathbf{v}_{s}}{\partial n} = \vartheta \frac{\partial^{2} \mathbf{v}_{s}}{\partial s^{2}} + \vartheta \frac{\partial^{2} \mathbf{v}_{s}}{\partial n^{2}} - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial s}$$
(10)

onde  $v_s$  é a velocidade tangencial ao corpo,  $v_n$  a velocidade normal, p a pressão,  $\rho$  a densidade do fluido,  $\vartheta$  a viscosidade cinemática, em unidades do SI.

A força total que age no cilindro pode ser dividida em três parcelas, como visto a seguir.

A parcela da pressão devido à circulação em um determinado painel i será

$$p_i^A = p_0^A - \frac{\rho}{\Delta t} \sum_{j=1}^i \Delta \Gamma_j \tag{11}$$

 $p_0^A$  é uma pressão referencial e pode ser tomada como zero,  $\Delta\Gamma_j$ , é a circulação criada no painel j menos a circulação absorvida pelo painel j, em unidades do SI.

A  $\vec{F}_{circulação}$  é então calculada numericamente por meio de

$$\vec{F}_{circulação} = -\sum_{i=1}^{Nw} p_i^A \Delta S_i \vec{e}_{ni}$$
(12)

A componente da força do fluido correspondente ao termo da aceleração é

$$\vec{F}_{aceleração} = (\rho a_x r^2 \pi) \vec{e}_x + (\rho a_y r^2 \pi) \vec{e}_y$$
(13)

Calculando-se agora as forças devido às tensões de cisalhamento, sabe-se que

 $\vec{\tau} = \mu \frac{\partial v_s}{\partial n} \vec{e}_s \tag{14}$ 

onde  $\tau$  é a tensão de cisalhamento e  $\mu$  é a viscosidade dinâmica, em unidades do SI.

A distância em que a velocidade do fluido é dada por v\_s é  $2\sigma_0$ , podemos então aproximar a derivada como

$$\vec{\tau} = \mu \frac{v_s}{2\sigma_0} \vec{e}_s \tag{15}$$

Integrando-se no contorno,

$$\vec{F}_{\text{cisalhamento}} = \int_{\text{Scorpo}}^{\cdot} \vec{\tau} \, dS = \sum_{i=1}^{Nw} \mu \frac{v_{\text{si}}}{2\sigma_{0i}} \Delta S_i \vec{e}_s \tag{16}$$

Assim, a força total que o fluido exerce no corpo é a soma da força devido às pressões (circulação e aceleração), mais a força de corrente do cisalhamento é dada pela Eq. 17.

$$\vec{F}_{\text{total}} = \vec{F}_{\text{circulação}} + \vec{F}_{\text{aceleração}} + \vec{F}_{\text{cisalhamento}}$$
(17)

#### 2.2.3 Integração Anflex-CFD

De acordo com o Anflex (2001), o sistema Anflex é uma ferramenta computacional para a análise não-linear, estática e dinâmica de risers e de linhas de ancoragem através do Método dos Elementos Finitos (MEF). A integração dos módulos de modelagem, análise e visualização permite ao usuário, em um mesmo ambiente, definir a geometria e os atributos físicos do modelo, obter os resultados da análise estrutural e visualizar graficamente os resultados obtidos. Além disso, o sistema possui interfaces com programas para análise de fadiga e para tratamento de sinais provenientes de análises com mar irregular. A seguir são listados resumidamente, os recursos disponíveis no sistema ANFLEX para a análise de risers e de linhas de ancoragem.

- Recursos para modelagem estrutural
  - ✓ Elementos de treliça, pórtico não-linear, cabo-catenária e guincho;
  - ✓ Elementos escalares generalizados para representação de flexjoints;
  - ✓ Elementos escalares pontuais para a modelagem de bóias;
  - ✓ Molas nodais e massas distribuídas;
  - ✓ Consideração de trechos de inércia variável, de tirantes e pendentes;
  - Relaxação dinâmica em elementos de pórtico e treliça;
  - ✓ Molas não-lineares para a simulação de contato variável com o fundo;
  - ✓ Fricção com o solo e definição do plano de fundos por ângulos.
- Recursos para modelagem de carregamento
  - Peso próprio e empuxo;
  - ✓ Corrente com perfil poligonal e direção variável;
  - ✓ Onda determinística (teoria linear de Airy) e movimento prescrito relacionado;
  - ✓ Movimento imposto com função de tempo periódica ou definida por tempos;
  - ✓ Mar aleatório e movimento prescrito relacionado;
  - ✓ Transferência de movimento do centro de gravidade do flutuante para diversos pontos da linha;
  - ✓ Cargas concentradas.

O Anflex considera apenas não-linearidade geométrica devido basicamente a grandes deslocamentos e interação axial-transversal que são comuns em sistemas estruturais como os risers. Em estruturas com comportamento linear, os deslocamentos são infinitesimais, fazendo com que a configuração deformada se confunda com a original. No caso de estruturas flexíveis, os deslocamentos podem ter a mesma ordem de grandeza das dimensões da estrutura, fazendo com que seja necessário tratar as equações de equilíbrio na configuração deformada. O procedimento adotado pelo Anflex na resolução da estrutura consiste em realizar uma série de análises lineares sempre em busca de melhores aproximações a cada novo ciclo para o qual o carregamento aplicado é a diferença entre a carga aplicada e as forças resistentes causadas pela deformação da estrutura.

Após a discretização do contínuo, para nosso caso o riser, em elementos finitos, a equação de equilíbrio pode ser representada de acordo com os vetores que compõem o equilíbrio dinâmico de um elemento pata um instante de tempo t qualquer:

$$F_{int}^{(t)} + F_I^{(t)} + F_D^{(t)} = F_{ext}^{(t)}$$

sendo os vetores de força:

 $F_{int}^{(t)}$  é o vetor de forças internas.

 $F_{I}^{(t)}$  é o vetor de forças de inércia.

 $F_{D}^{(t)}$  é o vetor de forças de amortecimento.

 $F_{ext}^{(t)}$  é o vetor de forças externas no qual o MVD terá influência direta.

A representação da formulação utilizando elementos finitos na discretização espacial é dada na equação (19) para a qual

$$[M]\{\ddot{u}\}^{t} + [C]\{\dot{u}\}^{t} + [K]\{u\}^{t} = \{F\}^{t}$$
(19)

em que t representa o instante de tempo correspondente e:

[M] é a matriz de massa.

[C] é a matriz de amortecimento.

[K] é a matriz de rigidez.

{F} é o vetor de forças externas (influência direta do MVD no anflexcfd).

{ü}, {û}• e {u} são os vetores de aceleração, velocidade e deslocamentos nodais respectivamente.

#### 2.3. Visualizador

Para tornar possível a interpretação visual do escoamento, foi desenvolvido pelo aluno uma ferramenta gráfica, baseada em bibliotecas OpenGL de C++. Este visualizador plota os vórtices (que diferencia os vórtices de circulação de sinais opostos através das cores verde e azul) e os seus respectivos contornos de vorticidade (variando de uma escala que inicia no vermelho, passando pelo verde, até o azul).

Baseado em Meneghini (1993), é criada uma malha estruturada na qual será possível calcular a vorticidade em qualquer ponto desta malha. Cada ponto é influenciado pelos vórtices existentes em suas células adjacentes. A influência de um vórtice é ponderada entre os vértices da célula na qual ele está localizado. A vorticidade gerada pelo vórtice em cada vértice é dado por:

$$\varpi_{(m)} = \Gamma_k \frac{a_{(m)}}{a^2} \tag{20}$$

onde  $\Gamma_k$  é a circulação, a é a área da célula,  $a_{(m)}$  com os índices (m=1,2,3,4) é representado na Figura 4.



Figura 4. Distribuição ponderada da vorticidade por um vórtice numa célula.

(18)

#### 3. Valores da literatura

Foram obtidos resultados encontrados na literatura, apresentados na Tab. (1), extraído de Yamamoto (2002), para escoamentos em cilindros circulares com número de Re= 10000. São apresentados valores de coeficiente de arrasto médio em ensaios experimentais e simulações numéricas bidimensionais e tridimensionais.

Fonte	Cd
MVD Lagrangeano bidimensional (2D) - 2002	1,28
Flatschart, R. B. (2D) - 2000	1,55
Saltara, F (2D) - 1999	1,73
Selvan R.P. (2D) - 1997	1,34
Nomura T. (2D) - 1994	1,35
Tamura, T (3D) - 1990	1,20
Roshko, A (experimental) - 1961	1,20

#### 4. Resultados

Feita a simulação com os seguintes parâmetros:

- Modelo Estático;
- ➢ Re=10.000;
- Fluido água;
- Um único riser com diâmetro 0,1m;
- Seção do riser dividida em 128 painéis;
- Passos no tempo adimensionais de 0,005;
- > Total de passos no tempo = 10.000;

com os parâmetro apresentados, chegou-se a um coeficiente de arrasto igual a:

$$C_d = 1,351$$

A seguir apresenta-se uma série de imagens, apresentando a evolução do escoamento de acordo com os resultados obtidos a partir do Anflex-CFD.

O Desprendimento de vórtices é retratado nas seguintes figuras:

- Figura 5, observa-se a formação das bolhas de separação à jusante do escoamento;
- Figura 6, observa-se o desprendimento do primeiro vórtice superior;
- Figura 7, observa-se o desprendimento do primeiro vórtice inferior;
- Figura 8, observa-se o estabelecimento do regime de desprendimento de vórtices;

E os seus respectivos contornos de vorticidade:

- Figura 9, observa-se as vorticidades das bolhas de separação bem definidas;
- Figura 10, observa-se a vorticidade do primeiro vórtice superior;
- Figura 11, observa-se a vorticidade do primeiro vórtice inferior;
- Figura 12, observa-se a vorticidade do regime de desprendimento de vórtices;





#### 5. Conclusão

No presente trabalho, foi apresentado todo o conteúdo de estudo que sustentou o seu desenvolvimento, bem como, o resultado da simulação numérica para o escoamento ao redor do riser com Re=10.000. O resultado apresentado mostra boa concordância com resultados obtidos por outros pesquisadores, tanto experimentalmente como numericamente.

A ferramenta de visualização de vórtices e de vorticidade mostrou-se bastante útil, uma vez que, torna possível a interpretação visual do fenômeno.

Foi de grande valia o estudo do fenômeno de VIV, uma vez que, ele está diretamente ligado a uma atividade de grande relevância no contexto econômico brasileiro, que é a exploração de petróleo em altas profundidades.

#### 6. Referências

Anflex (2001), "Manual Teórico do programa Anflex- Versão 5.7." 212p. - Rio de Janeiro.

Fregonesi, R. A.(2002) "Estudo do escoamento tridimensional ao redor de um agrupamento de cilindros em "tandem". 189 p. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Meneghini, J. R. (1993) "Numerical simulation of bluff body flow control using a discrete vortex method". 280p. Ph.D. thesis - Imperial College of Science, Technology and Medicine, London.

Meneghini, J. R. (2002) "Projetos de pesquisa no tópico geração e desprendimento de vórtices no escoamento ao redor de cilindros". 213 p. Tese de Livre Docência, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Munson, B. R. (2004) "Fundamentos da mecânica dos fluidos. 569 p. tradução da 3ª edição norte-americana Editora Edgar Blücher, São Paulo.

NASA (2010), Nix.ksc.nasa.gov seção Aeronautics ,homepage da Nasa. Acesso em 7 de Março de 2010.

Potter, M.C., Wiggert D.C. (2004), "Mecânica dos Fluidos", tradução da 3ª edição norte-americana, Editora Thomson.

Yamamoto, C. T. (2002) "Estudo do escoamento tridimensional ao redor de um agrupamento de cilindros lado a lado." 206 p. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

#### 7. Direitos autorais

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

## NUMERICAL SIMULATION AND VIEWING OF FLOW AROUND CILYNDERS WITH HIGH ASPECT RATE

#### Daniel Yoshio Futenma da Silva

danielfutenma@uol.com.br

Abstract. This paper aims to address the problem of fluid-structure interference. We intend to investigate the behavior of a riser, a tubular element widely used platforms off shore of production of petroleum. For the simulation of riser immersed in the flow, is available the program Anflex provided by Petrobras adapted with CFD's routines (Computational Fluid Dynamics) developed in the NDF (Núcleo de Dinâmica dos Fluidos – Escola Politécnica da USP). Intended to compare the results obtained for the drag coefficients with some literature results, and then generate visualizations of vortex and their contours of vorticity via a graphical tool that was developed by the student at Undergraduate Research.

Keywords: vortex shedding", Vortex-induced vibration (VIV), drag coefficients, contours of vorticity