



ANÁLISE NUMÉRICO-EXPERIMENTAL DE UM RISER FLEXÍVEL

Fábio Gomes Penny

COPPE/UFRJ, Departamento de Engenharia Oceânica, Caixa Postal 68508, CEP21945-970, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Márcio Martins Mourelle

PETROBRAS, Centro de Pesquisas - CENPES, DIPREX/SEDEM, Cidade Universitária, Quadra 7, Ilha do Fundão, CEP21949-900, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Tiago Alberto Piedras Lopes

COPPE/UFRJ, Departamento de Engenharia Oceânica, Caixa Postal 68508, CEP21945-970, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

***Resumo.** O objetivo principal deste trabalho é a comparação entre resultados de simulação numérica e os resultados experimentais de testes, em condições reais de operação, de um riser flexível de 8 polegadas, instalado em plataforma semi-submersível. Um sistema automático de aquisição de dados operou durante seis meses e foram registradas acelerações, ângulos e tração na conexão superior do riser, assim como as tensões nas linhas de amarração e dados ambientais. Os ângulos na conexão superior são os parâmetros básicos para o comportamento estático e a tração no topo do riser é o dado mais importante no caso dinâmico. A partir da análise estática, foi confirmado que o efeito da velocidade e da direção da correnteza é importante, sendo necessário se considerar um coeficiente de arraste efetivo no caso de velocidades elevadas. Da análise dinâmica, a correlação entre os dados experimentais e numéricos, considerando-se a influência do amortecimento estrutural e hidrodinâmico, comprovou que a simulação computacional é conservativa. A partir dos dados experimentais constatou-se também a presença de vibração induzida por vortex.*

***Palavras-chave:** riser flexível, análise numérico-experimental*

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho descreve a metodologia e os resultados de uma avaliação numérico-experimental do comportamento estático e dinâmico, de um riser de exportação de 8 polegadas, instalado em plataforma da PETROBRAS, em lâmina d'água de 635 metros, no campo de Marlim, Bacia de Campos. A aquisição dos dados experimentais foi realizada durante um período de 6 meses, entre junho e dezembro de 1991 (Penny & Lopes, 1997).

Desde que a produção de petróleo foi sendo direcionada para lâminas d'água mais profundas, a comunidade científica ligada às atividades "offshore", começou a dedicar um grande esforço para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de programas de computador para simular o comportamento estático e dinâmico de risers flexíveis e linhas de amarração, tanto

para situação de instalação como de condições operacionais. Os risers flexíveis têm a função de conectar a plataforma de produção de petróleo aos poços submarinos, cuja profundidade já ultrapassou a marca de 1000 metros. Estas estruturas são submetidas a cargas hidrodinâmicas, geradas por ondas, correnteza e movimentos induzidos pela plataforma. A PETROBRAS e a COPPE/UFRJ iniciaram, em 1988, o desenvolvimento de um sistema computacional denominado Anflex, com o objetivo de calcular deslocamentos, acelerações, esforços de tração e tensões em risers flexíveis. Este sistema permite realizar análise não linear geométrica para diversos tipos de estruturas, incluindo risers e sistemas de amarração.

O objetivo principal deste trabalho é a realização de uma análise comparativa, tanto estática quanto dinâmica, de forma a avaliar a capacidade do sistema Anflex (Mourelle, 1993) de simular o comportamento de um riser flexível em condições reais de operação.

Parte 1 – Análise Estática: Os ângulos do riser na conexão superior foram medidos durante 6 meses, a cada intervalo de 4 horas, durante períodos de 30 minutos. Conforme indicado na Fig. 1, foram medidos os ângulos α_1 e α_2 , referentes às direções transversal e longitudinal, respectivamente. As seguintes expressões foram utilizadas para a determinação dos ângulos θ e β (ver Fig. 1), compatíveis com os valores fornecidos pelo Anflex (Mourelle, 1991):

$$\theta = \arctg \sqrt{\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2} \quad \text{e} \quad \beta = \arctg (\operatorname{tg} \alpha_1 / \operatorname{tg} \alpha_2) \quad (1)$$

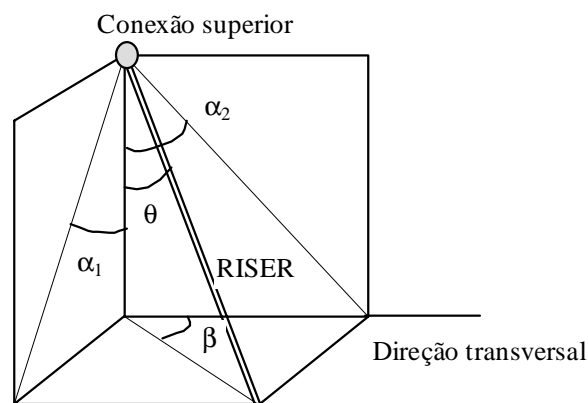


Figura 1. Ângulos medidos e calculados.

Visto que foram medidas as trações nas linhas de amarração, a posição média da plataforma, assim como “offsets”, provocados por ação de vento, ondas e correnteza, foram avaliados através do programa de computador denominado Ariane-BV. Este programa foi desenvolvido pela Sociedade Classificadora Bureau Veritas, para a simulação do comportamento estático e dinâmico de sistemas de ancoragem. A partir da determinação da posição média da plataforma (ações ambientais de baixa intensidade) e de cada “offset”, com relação a esta posição média, é possível o desenvolvimento da análise numérica com o Anflex, com o objetivo de identificar a posição de equilíbrio do riser flexível.

Parte 2 – Análise Dinâmica: Inicialmente, foi realizada uma avaliação das séries temporais da aceleração vertical e da tração medidas no topo do riser, considerando-se os mesmos registros da análise estática. Em seguida, as séries foram submetidas a filtragem digital para remover componentes de frequência muito baixa e muito alta. Este tipo de tratamento do sinal se torna necessário, visto que na simulação realizada pelo Anflex considerou-se apenas a excitação causada pelo movimento vertical na conexão superior do riser, na faixa de frequência das ondas. O Anflex simulou a variação da tração no mesmo local. Os resultados numéricos e experimentais foram comparados através de dados estatísticos e no domínio da frequência.

2. CRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE REGISTROS

2.1. Análise dos ângulos na conexão superior do riser

Através de uma avaliação detalhada do comportamento dos ângulos θ e β ao longo do período de aquisição de dados, pode ser verificado que os valores médios destes ângulos variaram ao longo do tempo. Este estudo permitiu a identificação de 3 períodos onde os valores médios permaneceram constantes (a posição média da plataforma permaneceu constante). No gráfico da Figura 2 está sendo apresentado a evolução do ângulo θ como exemplo. Desta forma, a análise foi realizada com referência a cada posição média.

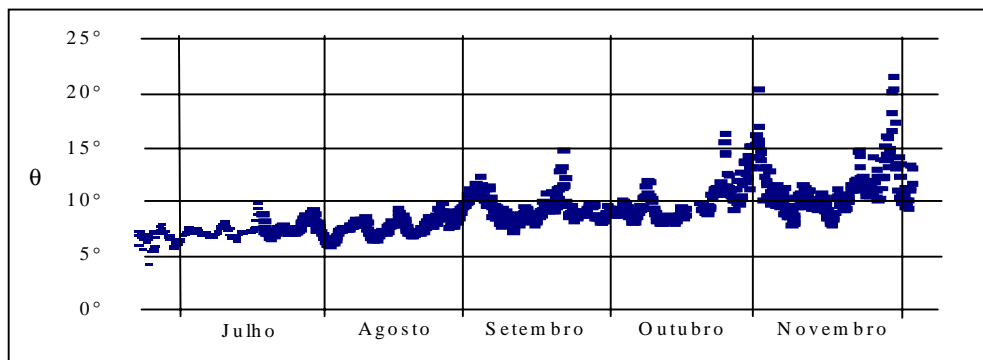


Figura 2. Evolução do ângulo θ ao longo do período de aquisição dos dados.

Os valores médios estimados para os ângulos θ e β , para cada período de posição média da plataforma, estão indicados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios estimados para os ângulos θ e β

Períodos	Data	θ	β
Período 1	1ª/jul a 10/ago	7,2°	14,18°
Período 2	11/ago a 15/out	9,07°	17,12°
Período 3	15/out a 30/nov	11,22°	24,37°

2.2. Seleção dos registros de dados experimentais

Após a determinação dos períodos de posição média constante da plataforma, foi feita uma nova análise dos resultados, com o objetivo de selecionar o registro de referência para cada um dos períodos: o registro de referência deve caracterizar cada uma das posições médias da plataforma. Os seguintes critérios foram adotados:

- valores baixos de velocidade de correnteza;
- valores de θ e β próximos dos valores médios calculados para cada período;
- registros, de preferência, no horário de 8:00h, 12:00h ou 16:00h, visto que a medida correnteza foi sempre realizada entre 10:00h e 15:00h.

A seleção de outros registros foi baseada nos seguintes critérios:

- registros, de preferência, no horário de 8:00h, 12:00h ou 16:00h, pelo mesmo motivo adotado no caso anterior;
- registros incluindo variação de velocidade de correnteza e de estado de mar;
- registros contendo informações completas referentes à correnteza e às trações nas linhas de ancoragem, assim como movimento vertical na conexão do riser.

Os registros selecionados para análise, assim como o registro de referência para cada período considerado, estão apresentados na Tabela 2. Nesta Tabela também estão indicados dados da correnteza na profundidade de 30 metros. A referência para a direção da correnteza está mostrada na Figura 3.

Tabela 2. Registros selecionados para análise estática e dinâmica

Período	Registros selecionados	Correnteza	Direção
1	06/08 *	Baixa	290°
	08/08 – 08:00hs	Baixa	240°
	08/08 – 12:00hs	Baixa	240°
2	05/10 *	Baixa	243°
	02/09	Média	218°
	24/09	Média	234°
3	12/11 *	Baixa	198°
	02/11	Baixa	234°
	04/11	Média	202°
	06/11	Média	220°
	25/11	Alta	234°
	28/11	Alta	232°

*Registro de referência

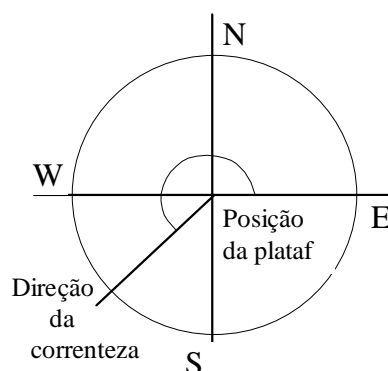


Figura 3. Referência para direção da correnteza.

3. AVALIAÇÃO DA RESPOSTA ESTÁTICA

3.1. Estimativa do offset

Considerando-se a tração nas linhas de amarração e utilizando-se o programa Ariane-BV, foi feita a determinação do “offset” para cada registro. O “offset” é o deslocamento entre a posição de referência e a posição da plataforma devido a uma ação das forças ambientais. Esta avaliação foi realizada através das seguintes etapas:

- estimativa da configuração inicial do sistema de amarração (registro de referência), através de um processo de ajuste baseado no raio de ancoragem (distância entre o ponto de saída de cada amarra e a respectiva âncora), cujo objetivo é alcançar a tensão medida na linha;
- após a conclusão do processo de ajuste, o programa Ariane-BV fornece a posição de equilíbrio da plataforma, através das coordenadas transversal e longitudinal.

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados obtidos pelo processo de ajuste.

Tabela 3. Valores estimados para “offset”

Registro	x(m)	y (m)	Offset (m)
(06/08)*	-3,7	-6,4	0,0
08/08	-11,2	-7,6	7,60
(05/10)*	-1,8	-7,7	0,0
02/09	-6,0	-6,1	4,5
24/09	-6,3	-8,8	4,6
(12/11)*	-6,8	-11,3	0,0
02/11	-7,0	-9,6	1,7
04/11	-8,2	-8,7	3,0
06/11	-8,8	-8,4	3,5
25/11	-14,8	-6,6	9,28
28/11	-19,9	-15,4	13,7

*Registro de referência

3.2. Resultados e comentários

Após concluída esta fase inicial de pós-processamento de resultados, o programa Anflex foi então utilizado para a determinação da configuração do riser, devido à ação da correnteza (que induz uma força de arraste) e do “offset” da plataforma. Os ângulos θ e β medidos e calculados são os parâmetros considerados. O valor do coeficiente de arraste C_D é a variável a ser ajustada para obter uma correlação satisfatória entre os valores dos ângulos medidos e calculados. Na Tabela 4 são apresentados os erros ao final do processo, assim como os valores utilizados para o coeficiente C_D e a referência da velocidade de correnteza.

Tabela 4. Resultados da análise estática

Período	Registros	C_D	Correnteza	Erro (%)	
				θ	β
1	08/08-08:00h	1,2	Baixa	8,86	1,21
	08/08-12:00h	1,2	Baixa	5,71	5,48
2	02/09	1,2	Média	0,52	2,02
	24/09	1,2	Média	0,50	0,08
3	02/11	1,2	Baixa	1,10	10,37
	04/11	1,2	Média	2,66	1,81
	06/11	1,2	Média	4,86	3,03
	25/11	1,2	Alta	26,73	19,81
	28/11	1,2	Alta	20,36	6,62

Observação: os valores de C_D podem ser estimados de acordo com as seguintes expressões:

$$\begin{aligned}
 Re \leq 2,0e+05 &\Rightarrow C_D = 1,2; \\
 2,0e+05 \leq Re \leq 5,0e+05 &\Rightarrow C_D = 1,2 - 1,25 * \log(Re/20000) \\
 Re \geq 5,0e+05 &\Rightarrow C_D = 0,7
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

ou fornecidos diretamente pelo usuário.

A partir da avaliação dos resultados, observou-se que:

- para velocidades de correnteza classificadas como baixa e média, as diferenças entre os valores medidos e fornecidos pelo Anflex são pequenas. Nestes casos, não foi necessária a utilização de valores de C_D maiores do que 1,2, que são gerados automaticamente pelo Anflex, conforme Equação (2).
- para velocidades de correnteza classificadas como altas, valores de C_D calculados automaticamente pelo Anflex não possibilitaram uma boa correlação entre dados medidos e calculados (registros 25/11/e 28/11). Os ângulos calculados pelo Anflex ficam bem abaixo dos valores medidos.
- aplicando-se valores de C_D maiores que 1,2, obtém-se uma boa correlação entre os ângulos medidos e calculados para o caso de velocidade alta de correnteza; neste caso, certamente ocorre o fenômeno de aumento do diâmetro aparente, devido a vibração induzida por vortex (Vandiver, 1983), (Pantazopoulos, 1994).

4. AVALIAÇÃO DA RESPOSTA DINÂMICA

4.1. Análise e processamento das séries temporais

Inicialmente, as séries temporais experimentais, referentes ao deslocamento vertical e à tração no topo do riser, foram processadas e avaliadas. Cada série corresponde a registros de 30 minutos, gravados a cada intervalo de 4 horas. Parâmetros estatísticos de cada série, tais como valores rms, máximo e mínimo foram calculados, para os dados com e sem filtragem digital. Para avaliar a composição em frequência, também foram calculadas as densidades espectrais de potência para as séries temporais (Ellwanger, 1995).

Na Tabela 5 são apresentados os valores rms do deslocamento vertical. Também são indicados os valores rms da tração do riser, para 2 casos de filtragem (Bath, 1982):

-filtragem 1: frequências abaixo de 0,03Hz e acima de 0,3Hz;

-filtragem 2: frequências abaixo de 0,03Hz e acima de 1,5Hz.

Nesta Tabela também estão indicadas as classificações da velocidade da correnteza e do estado de mar, assim como a diferença na tração devido ao efeito da filtragem.

Tabela 5. Valores rms do deslocamento vertical e da tração no topo do riser

Período	Registro	rms Desloc (cm)	Correnteza	Estado de mar	Tração rms (kN)		
					Filtro passa-baixa		
					1,5Hz	0,3Hz	δ (%)
1	06/08*	13,72	Baixa	Médio	1,466	1,227	-16
	08/08-08:00h	5,72	Baixa	Baixo	1,280	1,177	-8
	08/08-12:00h	5,28	Baixa	Baixo	1,409	1,114	-21
2	05/10*	15,02	Baixa	Médio	1,375	1,347	-2
	02/09	26,28	Média	Alto	2,574	2,241	-13
	24/09	2,52	Média	Baixo	2,081	0,647	-69
3	12/11*	5,94	Baixa	Baixo	1,025	0,827	-19
	02/11	18,28	Baixa	Alto	1,889	1,630	-14
	04/11	21,52	Média	Alto	2,417	1,940	-20
	06/11	13,22	Média	Médio	2,687	1,485	-45
	25/11	4,38	Alta	Baixo	3,824	0,942	-75
	28/11	12,00	Alta	Médio	2,801	1,282	-54

Observando-se os valores rms da tração no topo do riser, conclui-se que em alguns registros a filtragem em 0,3 Hz causa grande redução no valor da tração. Neste caso, será verificado que os registros que apresentam esta ocorrência são aqueles em que o efeito da vibração induzida por vortex é elevado.

4.2. Análise dinâmica utilizando o Anflex

A análise dinâmica aleatória, no domínio do tempo, desenvolvida pelo Anflex, foi dividida em 3 etapas. Basicamente, as séries temporais medidas, referentes ao deslocamento vertical, após filtragem digital, foram aplicadas como excitação dinâmica no modelo numérico, no ponto correspondente à conexão superior do riser. A posição inicial do riser corresponde à posição de equilíbrio, para cada condição de “offset” e corrente. As etapas consideradas são:

- sem amortecimento estrutural: $\xi=0,0\%$;
- coeficientes de amortecimento estrutural de 2,5% a 30%;
- acréscimo do amortecimento hidrodinâmico (C_D) nos registros 25/11 and 28/11.

Na simulação realizada pelo Anflex, conforme já indicado, o objetivo é estimar a série temporal correspondente à tração no topo do riser, em função de uma série temporal de deslocamento vertical experimental, aplicada no mesmo ponto. Visto que a frequência de amostragem dos dados medidos é de 0,275s, o intervalo de integração no Anflex foi assumido como 0,25s. Este fato permite que as séries temporais medidas e calculadas tenham, aproximadamente, o mesmo número de pontos, tornando mais precisa a comparação dos resultados processados nos domínios do tempo e da frequência (Penny, 1998).

4.3. Resultados

Na Tabela 6 estão apresentados os resultados normalizados para o coeficiente de amortecimento estrutural de 0%, 10% e 30%. A partir de 10%, a redução se torna mais pronunciada, principalmente para valores de 20% e 30%. Em alguns casos, observamos uma grande redução com relação ao cálculo feito com taxa de amortecimento de 0%, sendo uma indicação clara de que existem fatores que influenciam a resposta de tração no topo do riser: um destes fatores é a amplitude do movimento vertical, visto que o problema é não linear.

Tabela 6. Valores normalizados da tração em função do coeficiente de amortecimento

Registro	rms da Tração Axial		
	0 %	10%	30%
06/08*	1,0	0,82	0,62
08/08 08:00h	1,0	0,77	0,53
08/08 12:00h	1,0	0,54	0,37
05/10*	1,0	0,50	0,36
02/09	1,0	0,78	0,58
24/09	1,0	0,23	0,16
12/11*	1,0	0,86	0,60
02/11	1,0	0,98	0,72
04/11	1,0	0,88	0,67
06/11	1,0	0,88	0,64
25/11	1,0	0,46	0,33
28/11	1,0	0,66	0,48

Valor rms de tração

Os valores rms de tração, para as séries temporais medidas e calculadas pelo Anflex, estão indicados na Tabela 7. Caso fosse utilizado um único valor de coeficiente de amortecimento estrutural, os valores calculados através do Anflex seriam todos conservativos (por exemplo, para $\xi=5,0\%$). Se fosse adotado o coeficiente $\xi=30,0\%$, em alguns casos o valor rms da tração estimado pelo Anflex ficaria menor do que o valor originário dos dados experimentais. Para efeito de montar a Tabela 7, foi assumido que o coeficiente de amortecimento estrutural pode ser correlacionado com o valor rms do deslocamento vertical, considerando-se os valores de 10%, 20% e 30% associados aos deslocamentos baixo, médio e alto, respectivamente.

Tabela 7. Comparação entre valores rms de tração no topo do riser

Período	Registro	rms Tração	$\xi(\%)$
		Experim./Anflex	
1	06/08 *	0.68	20
	08/08-08:00h	0.86	10
	08/08-12:00h	0.86	10
2	05/10 *	0.60	20
	02/09	0.65	30
	24/09	0.95	10
3	12/11 *	0.65	10
	02/11	0.62	20
	04/11	0.68	30
	06/11	0.66	20
	25/11	0.65	10
	28/11	0.72	20

A avaliação da influência do coeficiente C_D no amortecimento hidrodinâmico, cujo objetivo é simplesmente realizar uma análise de sensibilidade, não apresentou resultados conclusivos. A hipótese do ajuste dos valores de C_D adotada neste estudo pode ser considerada satisfatória, de forma que a parcela hidrodinâmica do amortecimento provavelmente está estimada de forma correta no que concerne ao valor do C_D .

Período de cruzamento de zero ascendente

Na Tabela 8 estão apresentados os valores correspondentes aos períodos de cruzamento de zero ascendente para as séries temporais de tração, calculadas pelo Anflex e as medidas experimentalmente.

4.4. Comentários

Considerando-se as séries temporais filtradas, podem ser apresentados os seguintes comentários referentes a análise dos resultados obtidos:

- os resultados produzidos pelo Anflex, para coeficientes de amortecimento de 10%, são conservativos para todos os casos analisados;

- para coeficientes de amortecimento maiores, na faixa de 20% a 30%, alguns resultados do Anflex deixam de ser conservativos, havendo uma tendência do aumento do amortecimento ser proporcional ao aumento da amplitude do movimento vertical;
- visto que o problema é não linear, a variação do amortecimento (particularmente o amortecimento estrutural) com a amplitude do movimento é um fato esperado;
- no cálculo dos períodos de cruzamento de zero ascendente pode ser observada uma boa correlação entre as séries de tração calculadas pelo Anflex e as séries medidas;
- o registro 08/08-12:00h apresenta um comportamento não esperado, havendo a possibilidade do sinal ter sido contaminado por rádio-interferência, visto que o sistema de aquisição de dados estava localizado na sala de controle da plataforma.

Tabela 8. Período de cruzamento de zero ascendente

Período	Registros	T ₀ (s)		δ(%)
		Anflex	Experim.	
1	06/08 *	7,874	10,000	27
	08/08-08:00h	7,008	7,634	9
	08/08-12:00h	6,523	4,975	-24
2	05/10 *	8,503	9,174	8
	02/09	9,183	9,804	7
	24/09	5,405	6,944	28
3	12/11 *	7,092	7,813	10
	02/11	8,636	9,346	8
	04/11	8,780	9,990	14
	06/11	8,389	9,091	8
	25/11	6,477	6,993	8
	28/11	8,032	8,850	10

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi desenvolvida uma metodologia específica, utilizando-se os dados disponíveis de uma medição em um riser flexível para avaliar os resultados de simulação numérica realizada com o auxílio do programa Anflex. A correlação entre os dados experimentais e numéricos pode ser considerada como aceitável tanto para o caso estático quanto o caso dinâmico.

Os resultados experimentais disponíveis não estavam completos, visto que os dados referentes à posição da plataforma não foram registrados. Neste caso, foram utilizados os dados referentes às trações nas linhas de ancoragem e o programa Ariane-BV, para suprir esta informação essencial para o desenvolvimento do trabalho.

No caso estático, onde o objetivo é determinar a posição de equilíbrio do riser, a presença de valores elevados de correnteza causa vibração induzida por vortex, acarretando o aumento do diâmetro aparente do riser. Este fato é responsável pela necessidade de se utilizar valores elevados do coeficiente de arraste, variando na faixa de 2,0 a 2,5.

No caso dinâmico, as séries temporais foram previamente filtradas, de forma a excluir componentes de baixa frequência (movimentos de segunda ordem da plataforma) e componentes de alta frequência (causadas pela vibração induzida por vortex). Foi avaliada a resposta de primeira ordem (movimentos induzidos pelas ondas) e os resultados do Anflex podem ser considerados conservativos, mesmo para valores de amortecimento elevados. Com

relação ao amortecimento, pode ser observada uma tendência do seu valor aumentar proporcionalmente com o valor da amplitude do movimento vertical na conexão do riser.

A constatação da vibração induzida por vortex, no caso de correnteza média e alta, demonstra a necessidade de se desenvolver estudos específicos para este problema, visto que pode provocar falha por fadiga na conexão superior do riser.

6. REFERÊNCIAS

- Bath, M., 1982, “*Principles and Geophysical Application of Filtering*”. In: Elsevier Scientific Publishing Company, Spectral Analysis in Geophysics, chapter 6, Amsterdam, Netherlands.
- Ellwanger, G. B., 1995, *ANLIDE, PRESIMUL, POSSINAL : Manual Teórico*, COPPE/UFRJ e CENPES /DIPREX/SEDEM
- Mourelle, M. M., 1993, *Dynamic Analysis of Structural Systems Composed by Risers and Anchor Lines*, D.Sc. Thesis, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brazil.
- Mourelle, M. M., Gonzalez, E. C., 1991, *ANFLEX System - Learning Course*, CENPES/PETROBRAS - SUPEN/DIPREX/SEDEM
- Pantazopoulos, M. S., 1994, “Vortex-Induced Vibration Parameters: Critical Review”, OMAE, Volume I, pp 199-255.
- Penny, F. G. e Lopes, T. A. P., 1997, *Reports 1, 2 and 3 - The Numerical-Experimental Evaluation of a Flexible Riser*”, COPPETEC.
- Penny, F. G., 1998, “*A Numerical-Experimental Evaluation of a Flexible Riser*”, M.Sc. Thesis, Preliminary Version, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brazil.
- Vandiver, J. K., 1983, “*Drag Coefficients of Long Flexible Cylinders*”, OTC 4490, pp 405-414.

A NUMERICAL-EXPERIMENTAL EVALUATION OF A FLEXIBLE RISER

Abstract: *The main purpose of this work is the comparison between the results from ANFLEX simulations and the full scale data obtained from a 8” flexible riser installed in a semi-submersible oil production platform. The data were acquired during six months, including displacements, angles and tension at riser top connection, mooring line tensions and environmental data. For static analysis, the angle at top connection and current are the basic parameters. For dynamic analysis, the tension at riser top connection is the basic parameter.*

From static analysis, the main conclusion is that the match between the numerical and experimental results depends on current velocity: it is necessary to consider an effective drag coefficient for the flexible riser. From dynamic analysis, the experimental results showed that high frequency (VIV) effects increase the dynamic tension component significantly, but the simulations from ANFLEX do not consider this effect. The influence of structural and fluid damping were also investigated.

Key words: *flexible riser, numerical-experimental analysis*