

6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Análise Estrutural de Tubos Furados para Contenção de Areia

AUTORES:

¹Theodoro Antoun Netto, ²Ilson Paranhos Pasqualino e ³Bianca Torres Massa

INSTITUIÇÃO:

¹Programa de Engenharia Oceânica, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro

²Engenharia do Petróleo, DEI/EP, Universidade Federal do Rio de Janeiro

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 6º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 09 a 13 de outubro de 2011, em Florianópolis-SC. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 6ºPDPETRO.

ANÁLISE ESTRUTURAL DE TUBOS FURADOS PARA CONTENÇÃO DE AREIA

Abstract

The screens used for sand control are under mechanical loads during the system installation or even during the productive life of the well. Those applied loads can overcome the mechanical strength of the pipe or cause breakage of some system element, such as connections or accessories.

The aim of this study is to evaluate the collapse resistance of perforated base pipes, which gives mechanical strength for the whole mesh, and if it fails, can derail the production of a well within drastic economic consequences. For this reason, this study establishes the influences of some parameters at the collapse of the pipes, such as: diameter-thickness ratio, initial ovality, axial and circumferential spacing between perforations and perforation diameter. In this way, intact and perforated pipes 1500mm long were tested in the hyperbaric vessel of the Subsea Technology Laboratory (COPPE/UFRJ).

The analyses showed that the perforation diameter and the axial spacing between perforations are the parameters with significant influence on the collapse resistance of the perforated base pipes.

Introdução

Para que o projeto de um poço seja lucrativo, não se devem considerar apenas os custos envolvidos com a construção do poço e sua produção inicial. O uso destas variáveis na elaboração do projeto pode garantir excelentes benefícios em curto prazo, porém em longo prazo o risco da necessidade de intervenções pode afetar de forma decisiva a lucratividade do poço. Um problema de destaque na indústria do petróleo e potencial causador de intervenções em poços produtores de óleo e gás é a produção de areia. Além da perda de receita com a parada do poço para intervenção, a produção de areia em quantidades indesejadas danifica equipamentos de superfície e subsuperfície, gerando custos que, dependendo do montante da produção diária do poço, podem inviabilizar a intervenção ocasionando a perda do mesmo. Logo, para não abreviar em tempo significativo a vida útil do poço, faz-se necessário um acompanhamento sistemático da elevação de sólidos. A palavra ‘controle’ vem explicitar que o que se faz não é excluir totalmente as partículas sólidas da produção, porém colocá-las em níveis aceitáveis, não prejudiciais à produção (Silva, 2008).

A utilização de telas de contenção de areia posicionadas dentro do poço ao longo dos intervalos produtores é a técnica mais difundida para mitigação do problema da produção de areia. Estas nada mais são do que filtros mecânicos que servem como mecanismo de retenção à areia do *gravel pack* ou da formação, e que permitem a passagem do fluido proveniente da limpeza do poço, da produção ou de qualquer atividade de estimulação. A seleção da tela deve buscar o equilíbrio entre dois critérios extremamente conflitantes: o máximo controle de areia e a mínima retenção ao fluxo. Os mecanismos de produção de areia, assim como os modos de falha das telas durante a instalação e a vida produtiva do poço, são fatores preponderantes na correta seleção da tela para controle da produção de areia.

O projeto e o dimensionamento de sistemas de exclusão de sólidos por contenção mecânica consistem, principalmente, em avaliar a distribuição granulométrica da formação de interesse e, maximizando a produção de óleo, dimensionar o conjunto mecânico que proporcione a filtração com exclusão de sólidos mais eficiente (Malbrel, et al., 1999). No entanto, poucos foram os estudos encontrados sobre a resistência ao colapso destes sistemas. Uma avaliação das solicitações impostas ao

tubo base, que confere resistência mecânica ao conjunto telado, é necessária para o controle do risco de ruptura prematura do sistema.

Metodologia

O presente trabalho apresenta um estudo da resistência ao colapso dos tubos base furados utilizados em telas de contenção de areia. Foram realizados testes experimentais de tubos furados, e também de tubos íntegros para comparação. Futuramente, será analisado um método analítico que estima a pressão de colapso de tubos base furados, onde o objetivo é comparar com os resultados experimentais e variar os parâmetros geométricos dos tubos no intuito de se obter a influência de cada um deles na resistência ao colapso.

Resultados e Discussão

Testes Experimentais

Tubos intactos e furados foram testados sob carregamento de pressão externa até o colapso em câmara hiperbárica do Laboratório de Tecnologia Submarina (LTS) da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Os corpos de prova foram fornecidos pela Petrobras.

Os resultados experimentais do tubo 4 serão analisados, enquanto dos tubos 5 e 6 serão somente apresentados, para este trabalho.

Corpo de prova	Comprimento do tubo	Diâmetro do furo	Espaçamento entre furos	Número de furos no perímetro	Número de furos longitudinais
T4CFI-01	1500 mm	1/2"	66,76 mm	18	16
T4CFI-02	1500 mm	1/2"	66,76 mm	18	16
T5CFI-01	1700 mm	1/2"	100 mm	8	14
T5CFI-02	1700 mm	1/2"	50 mm	8	27
T5CFI-03	1695 mm	1/4"	65 mm	8	21
T6CFI-01	1700 mm	3/4"	65 mm	8	21

Tabela 1 – Características dos tubos furados 4, 5 e 6

As propriedades do material foram determinadas através de ensaios de tração uniaxial. Estes testes de tração foram realizados em uma máquina servo-hidráulica Instron - série 8802 – de acordo com a norma ASTM E8M. Os deslocamentos foram prescritos de forma a assegurar uma taxa de deformação de aproximadamente 10^{-4} s^{-1} . Para os ensaios foi retirado um corpo de prova na direção longitudinal de cada tubo (4, 5 e 6) utilizado nos testes experimentais. Assim, foram ensaiados 3 corpos de prova. Cada corpo de prova foi instrumentado com dois extensômetros elétricos *strain gage* uniaxiais, aplicados no sentido longitudinal e em faces opostas, para minimizar efeitos de flexão do corpo de prova. Além disso, foi colocado um extensômetro uniaxial no sentido transversal de cada corpo de prova. A partir dos dados obtidos foi possível determinar o valor do módulo de elasticidade (E) e cociente de Poisson (ν) do material, além da curva tensão-deformação no regime elasto-plástico. A Figura 1 representa a curva tensão versus deformação de engenharia obtida para os tubos 4, 5 e 6. A Tabela 2 apresenta um resumo das propriedades obtidas para os tubos 4, 5 e 6, onde σ_p e σ_y são, respectivamente, a tensão de proporcionalidade e escoamento do material.

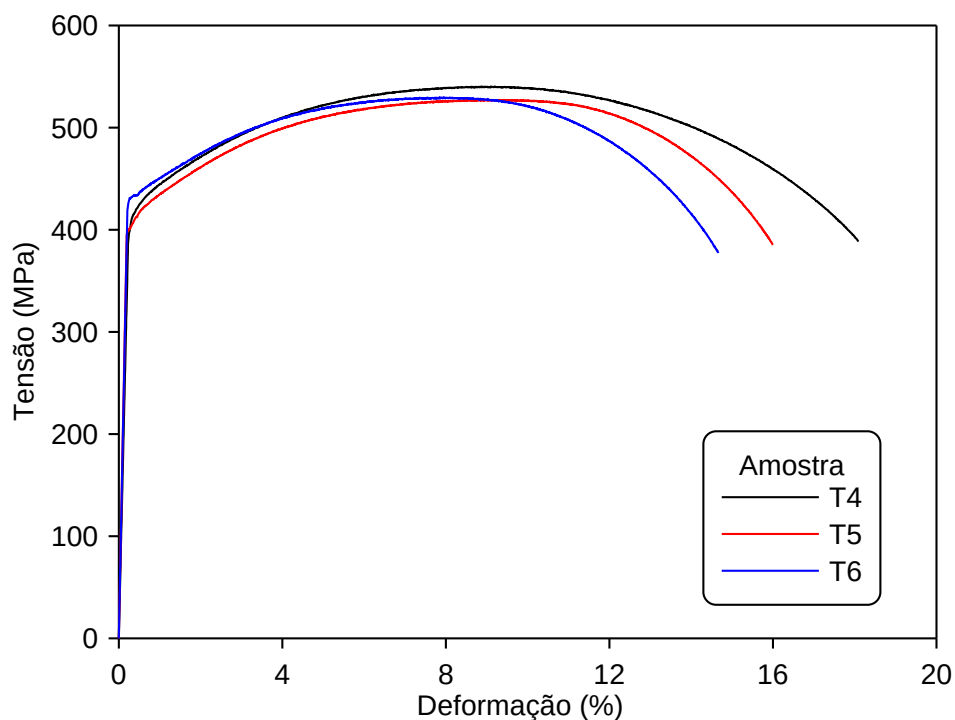


Figura 1. Curva tensão-deformação obtida para os tubos 4, 5 e 6 a partir do ensaio de tração uniaxial.

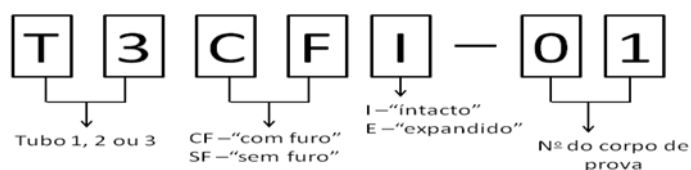
Tubo	ν	E (MPa)	σ_p (Mpa)	σ_y (MPa)
4	0,28	170316	387	421
5	0,31	205491	395	410
6	0,30	200640	420	431

Tabela 2. Propriedades mecânicas dos corpos de prova dos tubos 4, 5 e 6.

Foram retirados dos tubos 4, 5 e 6, respectivamente, quatro, três e um corpos de prova. As amostras tiveram suas medidas geométricas levantadas antes dos testes de colapso. Para isso, cada tubo foi dividido em 10 seções espaçadas de 75 mm, além de uma seção inicial e uma final. Cada seção foi subdividida em pontos equidistantes entre si (36°) na direção circunferencial. Em cada um desses pontos foram medidos os diâmetros externos e as espessuras, totalizando assim, 10 medidas de espessura e 5 medidas de diâmetro, por seção. Para cada seção do tubo foi calculada a espessura média, o diâmetro médio e, a partir do diâmetro máximo (D_{max}) e mínimo (D_{min}), a ovalização Δ_o , além da excentricidade $\mathcal{E}_o$, obtida a partir das espessuras máximas (t_{max}) e mínimas (t_{min}) medidas nos bordos, conforme as equações abaixo:

$$\Delta_o = \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \quad (a) \quad \mathcal{E}_o = \frac{t_{max} - t_{min}}{t_{max} + t_{min}} \quad (b)$$

Os valores médios de diâmetro e espessura de cada tubo testado e suas respectivas ovalizações e excentricidades máximas são reportadas na Tabela 3. A nomenclatura utilizada na identificação das amostras seguiu o padrão abaixo:



Corpo de Prova (CP)	$\bar{D}$		$\bar{t}$		$\bar{D}/\bar{t}$	Δ_o	Ξ_o
	Pol	Mm	Pol	Mm	-	%	%
T4SFI-02	5,973	151,708	0,255	6,489	23,378	0,080	1,0853
T4SFI-03	5,970	151,628	0,253	6,428	23,589	0,070	1,5625
T4CFI-01	5,971	151,673	0,253	6,439	23,557	0,097	1,5528
T4CFI-02	5,969	151,617	0,255	6,475	23,415	0,076	1,5291
T5CFI-01	6,009	152,623	0,254	6,464	23,611	0,147	0,009
T5CFI-02	6,010	152,643	0,254	6,455	23,646	0,082	0,005
T5CFI-03	6,010	152,644	0,255	6,470	23,594	0,147	0,010
T6CFI-01	6,006	152,641	0,255	6,489	23,507	0,148	0,010

Tabela 3. Dados geométricos obtidos para cada corpo de prova antes do teste de colapso.

Os tubos furados contaram com 18 furos ao longo da circunferência (N_{CIRC}) dispostos em 16 fileiras na direção longitudinal (N_{FIL}), todos eles com diâmetro de $\frac{1}{2}$ pol (D_F). Como pode ser visualizada na Figura 2, a distância entre o bordo inicial até o centro da primeira fileira de furos foi denominada (ESP_B), assim como a distância entre o bordo final e o centro da última fileira de furos. A distância entre furos de fileiras consecutivas, por sua vez, foi denominada (ESP_F). Dessa forma, a região furada do tubo 4 configurou 7,65% de área aberta ao fluxo por unidade de comprimento.

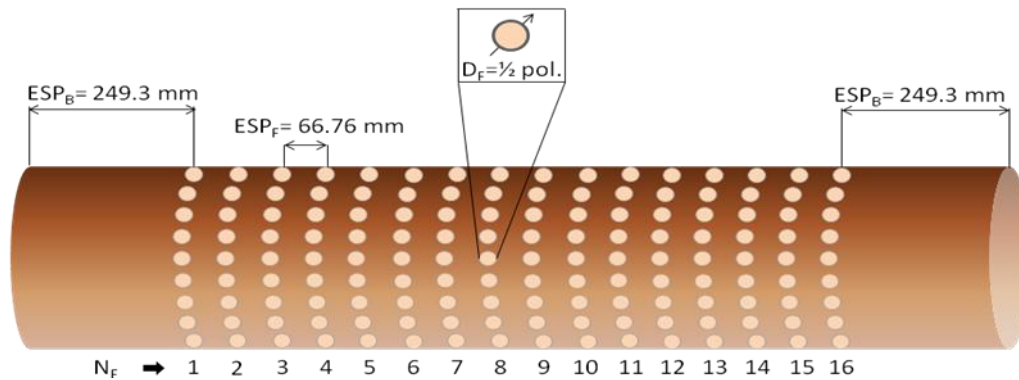


Figura 2. Desenho esquemático dos tubos 4 furados testados.

Para possibilitar a aplicação de pressão externa no tubo furado, foi colocada sobre a região com furos uma chapa metálica de aço 1020 e uma manta de borracha. Primeiro foi colocada a chapa metálica de 1 mm de espessura, instalada com movimentação tangencial livre sobre o tubo. Portanto, as extremidades da chapa metálica não foram presas, tentando assim minimizar a contribuição na resistência ao colapso do tubo. Uma camada de fita foi colocada sobre a chapa como forma de vedação (Figura 3(a)). Sobre a chapa metálica e fita adesiva, foi colocada a manta de borracha, como forma de vedação do conjunto em sua extensão longitudinal. Para garantia da vedação nas extremidades da manta, uma fita adesiva foi utilizada para cobrir todo o conjunto chapa-manta (Figura 3(b)).

Os ensaios de colapso foram realizados nas dependências do Laboratório de Tecnologia Submarina (LTS). Os equipamentos utilizados o ensaio de colapso foram:

- Câmara hiperbárica horizontal com capacidade para 7500 psi;
- Bomba hidráulica com acionamento pneumático para 30000 psi (*Haskel*);
- Transdutor de pressão para 15000 psi WIKA (KTPP014) - certificado de calibração RBC N^o PE-0330/2006 de 21/11/2006;
- Módulo condicionador de sinais SCXI-1001 *National Instruments*;
- Micro-computador com placa analógico-digital.

Primeiramente, o tubo a ser testado é colocado dentro da câmara hiperbárica. A câmara é então preenchida com água até que todo o ar do interior fosse retirado. Esta água é bombeada por acionamento pneumático a uma pressurização de taxa inferior a 200 psi/min. Uma válvula é utilizada para controle da vazão. O conjunto é então pressurizado até o colapso, caracterizado por um forte ruído seguido de queda abrupta da pressão aplicada. Os resultados dos testes experimentais estão resumidos na Tabela 4.



(a)



(b)

Figura 3. Tubo preparado com chapa metálica e fita adesiva (a), e sobre estas, manta de borracha e fita adesiva (b).

CP	P _{co} (psi)	P _{co} (Mpa)
T4SFI-02	4475	30,85
T4SFI-03	4469	30,81
T4CFI-01	4091	28,21
T4CFI-02	4300	29,65
T5CFI-01	4578	31,56
T5CFI-02	3925	27,02
T5CFI-03	4879	33,64
T6CFI-01	4158	28,67

Tabela 4. Pressão de colapso dos tubos 4, 5 e 6 usados nos experimentos.

As Figuras 4(a)-(b) mostram um tubo furado colapsado após os ensaios. Os tubos T4CFI-01 e T4CFI-02 com furos apresentaram pressão de colapso em torno de 10% menor que a pressão de colapso dos tubos sem furos (T4SFI-02 e T4SFI-03). As pequenas diferenças de resultados entre os tubos similares são devidas às variações dos parâmetros geométricos e do material que afetam a resistência ao colapso destes tubos, conforme apresentado na Tabela 3.

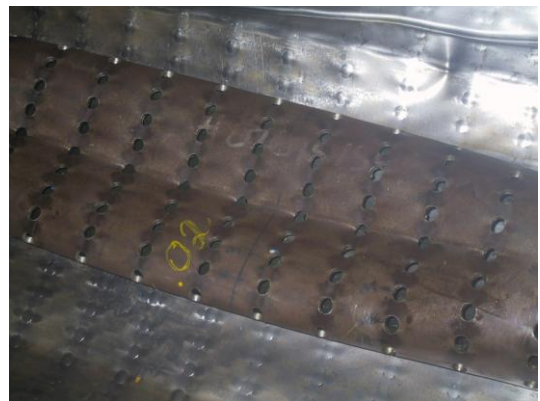
A pressão de colapso do T5CFI-02 apresentou redução em relação ao T5CFI-01 devido ao maior número de furos na direção longitudinal (menor espaçamento entre furos). No entanto, o diâmetro do furo parece ser um fator mais preponderante para a resistência ao colapso, tendo em vista

que este valor aumentou para T5CFI-03, mesmo tendo um espaçamento longitudinal inferior ao de T5CFI-01. Já o corpo de prova T6CFI-01, comprova que o diâmetro dos furos reduz significativamente a pressão de colapso, em torno de 7% se comparado aos tubos sem furo T4SFI-02 e T4SFI-03, e 14,8% quando comparado a tubo de mesmo espaçamento longitudinal.

Os resultados dos tubos T5CFI-03 e T6CFI-01, com aproximadamente o mesmo espaçamento longitudinal de T4CFI-01 e T4CFI-02, menos furos circunferenciais, e diâmetros de furos respectivamente menores e maiores, mostram que a pressão de colapso não depende do número de furos ou espaçamento circunferencial.



(a)



(b)

Figura 4. (a) Configuração pós-colapso do tubo com a chapa metálica e (b) Detalhe da região furada.

Conclusões

A correta seleção da tela para contenção de areia baseia-se na eliminação de todos os métodos de falha que possam vir a ocorrer durante a instalação e durante a vida do poço e, principalmente, na maximização da produtividade do poço e do Valor Presente Líquido deste. Esta maximização é obtida com uma perfeita análise da granulometria da formação, dos fluidos produzidos/injetados durante a vida produtiva do poço e na eliminação de intervenções para reparo/correção de falhas. Portanto, foi nesse sentido que foi realizado um estudo sobre a influência de diferentes parâmetros na resistência ao colapso dos tubos utilizados na contenção de areia.

A conclusão final foi que o espaçamento circunferencial não altera a pressão de colapso, enquanto o diâmetro dos furos e a distância axial alteram a pressão de colapso de forma significativa. Quanto maior a distância axial entre furos e menor o diâmetro do furo, maior a resistência ao colapso.

Agradecimentos

À equipe do Laboratório de Tecnologia Submarina pelo apoio na execução dos testes experimentais. À Petrobras pelo fornecimento das amostras. Ao PRH-35 (ANP) pelo apoio financeiro na forma de bolsa de estudos.

Referências Bibliográficas

MALBREL, C., PROCYK, A., CAMERON, J., “Screen Sizing Rules and Running Guidelines to Maximize Horizontal Well Productivity”. SPE European Formation Damage Conference. SPE 54743, The Hague, Netherlands, 31 May – 1 June 1999.

SILVA, F.S.B, Análise Paramétrica da Aplicabilidade da Tecnologia de Controle da Produção de Areia em Poços de Petróleo. Monografia, Graduação em Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2008. 94p.