



IBP1163_06

MANIPULADOR SEMI-PASSIVO PARA ATIVIDADES
OFFSHORE DE VEÍCULOS SUBMARINOS AUTÔNOMOS
Cláudio Violante Ferreira¹, Vitor Ferreira Romano²

Copyright 2006, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*, realizada no período de 11 a 14 de setembro de 2006, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Técnico do evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, seus Associados e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais da *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*.

Resumo

O emprego de Veículos Submarinos Autônomos (VSAs) nas atividades offshore de inspeção, intervenção de equipamentos submarinos e movimentação de cargas, representa um dos maiores desafios tecnológicos para as indústrias do setor de exploração e exploração de óleo e gás. A instalação de braços-mecânicos em VSAs irá permitir a robotização de diversas tarefas. Entretanto, um dos problemas relacionados à estabilidade do conjunto VSA-braço refere-se ao fato de ao se movimentar o braço-mecânico, há necessariamente uma alteração da atitude (posicionamento) do VSA (base). Isso ocorre devido à base ser livre de restrições de movimento e ao vínculo cinemático-dinâmico existente na cadeia cinemática VSA-braço.

Este artigo apresenta o Manipulador Semi-Passivo (MSP), concebido como um manipulador mecânico do tipo pórtico, usado para aumentar a rigidez do conjunto VSA-braço, durante as operações em ambientes submarinos. O MSP é formado de corpos rígidos e freios nas juntas, inexistindo atuadores para transmitir potência mecânica às juntas. A combinação de juntas com freios ativados e não ativados permite ao VSA movimentar-se em direções programadas. Quando todos os freios estão no estado ativado, o sistema VSA-MSP comporta-se como um manipulador de base fixa, o que implica no aumento da rigidez estrutural, da capacidade de carga, precisão e repetibilidade.

Abstract

The massive utilization of Autonomous Underwater Vehicles (AUVs) in offshore activities is a reality and its maneuverability and control to perform some tasks is still a huge challenge for its operators.

This article presents the Semi-Passive mechanical Arm (SPA), conceived as a gantry type manipulator to operate as a support to AUVs during its interventions in sub sea scenarios. Dynamic conditions were included at the structural analysis model. The SPA can be defined as a mechanical arm formed by rigid-body links, with no actuators transmitting mechanical power to the joints. Only brakes are installed at the joints, so that the arm links are free to move in the directions not blocked by brakes. The combination of joints with activated brakes or not activated brakes permit the AUV to move in preferential directions, even if external perturbations like marine currents occur during the execution of a task. The AUV thrusters are still the unique source of power needed to move the AUV-SPA system.

1. Introdução

É cada vez maior o emprego de veículos submarinos, principalmente VORs (Veículos Operados Remotamente) e VSAs (Veículos Submarinos Autônomos), nas atividades offshore de inspeção, intervenção de equipamentos submarinos e movimentação de cargas. A instalação de braços-mecânicos nestes veículos permite a robotização de diversas tarefas. Entretanto, um dos problemas relacionados à estabilidade do conjunto veículo-braço refere-se ao fato de que ao se movimentar o braço-mecânico, há necessariamente uma alteração da atitude

¹ D.Sc., Engenheiro Mecânico – PETROBRAS

² Dott. Rit., Professor Adjunto – COPPE/UFRJ

(posicionamento) do veículo (base). Isso ocorre devido à base ser livre de restrições de movimento (seis graus de liberdade) e ao vínculo cinemático-dinâmico existente na cadeia cinemática veículo-braço. O mesmo fenômeno ocorre quando uma carga externa é manipulada pelo braço do veículo, devido à alteração de equilíbrio estático do sistema. Além disso, também deve ser considerada a ação da corrente marinha que age no veículo de forma a alterar seu posicionamento.

Uma solução prática para compensar estes efeitos é a utilização de um sistema de atracação, denominado *rigidizer*, que cria um vínculo físico entre o veículo e o equipamento a ser trabalhado. Neste caso, o sistema veículo-braço e equipamento (que deve estar engastado ao solo) forma uma cadeia cinemática de malha aberta semelhante a um robô industrial de base fixa, aumentando substancialmente a rigidez do conjunto veículo-braço. Porém, isso envolve a utilização de um segundo braço-mecânico dedicado para fixar o veículo à estrutura, Dunningan (1998).

Algumas desvantagens relacionadas à inclusão do *rigidizer* são:

- Complexidade no projeto: A instalação do *rigidizer* requer um esforço maior de engenharia, pois há vários subsistemas associados ao braço incluindo unidade de bombeamento de água, filtro de água, válvula de alívio, e sistema de controle hidráulico do braço.
- Limitação operacional: A utilização do segundo braço como *rigidizer* pode ser considerado um “desperdício”, pois atividades que requerem a utilização de dois braços não podem ser realizadas.
- Esforços no equipamento: Todos os esforços gerados na interação do veículo-braço com o ambiente externo são transmitidos ao equipamento, o que pode acarretar danos em situações críticas.
- Complexidade operacional: O alcance limitado do espaço de trabalho pode implicar na necessidade de manobras complexas, pois dependendo das distâncias entre as regiões do equipamento a serem trabalhadas e a localização do veículo docado, o mesmo deverá se desvincular do equipamento, ir até os locais onde serão feitas as tarefas e atracar-se novamente ao equipamento. Este tipo de manobra é um risco à integridade do equipamento e dependendo das condições da correnteza, requer um grande tempo para ser efetivada.

Outra solução disponível para compensar os desvios do veículo é a utilização de um sistema de controle que compense o efeito do movimento do braço-mecânico através do uso de propulsores, Zanolli (2003). Porém, qualquer sistema de controle que venha a ser desenvolvido, por mais preciso que seja (mesmo levando em conta a variabilidade da correnteza marinha e da interação hidrodinâmica entre veículo-braço e a água), não dará rigidez ao veículo-braço e usará a energia da propulsão do veículo para compensar os desvios.

A proposta do Manipulador Semi-Passivo é justamente aliar a facilidade de manobrabilidade e manipulação desejadas por estes sistemas de controle e a rigidez conseguida com os *rigidizers*, aumentando também o espaço e a carga de trabalho do veículo-braço. Cabe ressaltar que todos os esforços envolvidos na operação serão transmitidos para o MSP, resguardando a integridade do equipamento, e que o veículo não utilizará a energia dos propulsores para compensar os desvios. A escolha da configuração do MSP depende essencialmente dos requisitos operacionais e dimensões da unidade manipulada, das condições do ambiente submarino, e dos índices de desempenho do sistema veículo-MSP como a dirigibilidade, comportamento dinâmico e volume de trabalho alcançado.

2. Configuração Básica do MSP

O Manipulador Semi-Passivo (MSP) proposto possui a configuração de um manipulador mecânico do tipo pórtico, sendo formado de elos (módulos rígidos) e freios nas juntas, inexistindo atuadores para transmitir potência mecânica às juntas, Cabral Junior (2003). Ele possui quatro graus de liberdade, tendo três juntas prismáticas e uma junta de revolução (Figura 1). Os seus componentes principais são o Módulo X (base fixa), o Módulo Y, o Módulo Z (subdividido em Carro Z e Haste Z) e o Conector. O Conector e os Módulos Y e Z movimentam-se na direção X através da junta 1. A junta 2 é responsável pelo movimento na direção Y do Conector e Módulo Z. A Haste Z e Conector possuem movimento na direção Z por meio da junta 3. Além disso, o Conector também possui movimento de rotação (junta 4), Figura 1(a).

A extremidade terminal (Conector) do MSP possui uma conexão especial para se vincular ao veículo e as quatro estruturas portantes (pernas) do Módulo X são apoiadas ao solo, caracterizando um vínculo rígido entre o conjunto veículo-braço e o solo. O objeto (equipamento ou carga) a ser manipulado localiza-se internamente ao volume de trabalho. Os Módulos Y e Z possuem flutuadores para compensar suas massas e os propulsores do veículo são as únicas fontes de potência mecânica necessárias à movimentação do sistema. A energia para a ativação dos freios pode ser fornecida através do cabo umbilical (alimentação e sinal), no caso de VORs, ou por uma unidade de energia externa, no caso de VSAs.

Na Figura 1(b) podem ser observadas as três fases operacionais principais: a fase de aproximação (posição 1 até 2a), quando o veículo move-se na direção do conector do MSP; a fase de conexão (posição 2a), relacionada ao acoplamento do veículo ao Conector do MSP; e a fase de intervenção (posição 3), onde o sistema veículo-MSP encontra-se na zona de trabalho. A trajetória do veículo-MSP do ponto 2a até o ponto 3 pode ser descrita por uma

seqüência de ativação (A-ativado) e desativação (D-desativado) dos freios, de acordo com a Tabela 1. Uma vez atingida a zona de trabalho, os freios serão ativados e desativados de acordo com a intervenção a ser realizada. A combinação de juntas com freios ativados e não ativados permite ao veículo se movimentar em direções programadas, mesmo sob condições adversas causadas por eventuais correntezas marinhas durante a execução de uma determinada tarefa. Quando todos os freios estão no estado ativado, o sistema veículo-MSP comporta-se como um manipulador de base fixa, o que implica no aumento da rigidez estrutural, da capacidade de carga, precisão e repetibilidade.

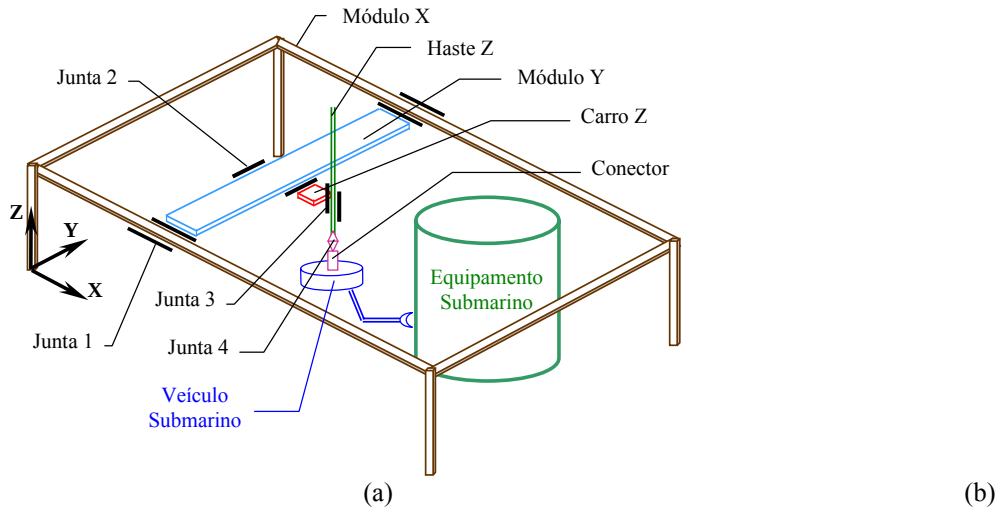


Figura 2.1 – (a) Componentes do MSP: Módulos X e Y, Carro Z, Haste Z e Conector. (b) Principais fases operacionais do sistema: Aproximação (1 até 2a), Conexão (posição 2a) e Intervenção (posição 3), Ferreira (2005).

Tabela 1. Estados dos freios para a trajetória do ponto 2a ao ponto 3.

Movimento		Junta 1	Junta 2	Junta 3	Junta 4
2a	2b	A	D	A	A
2b	2c	A	A	D	A
2c	3	D	A	A	A

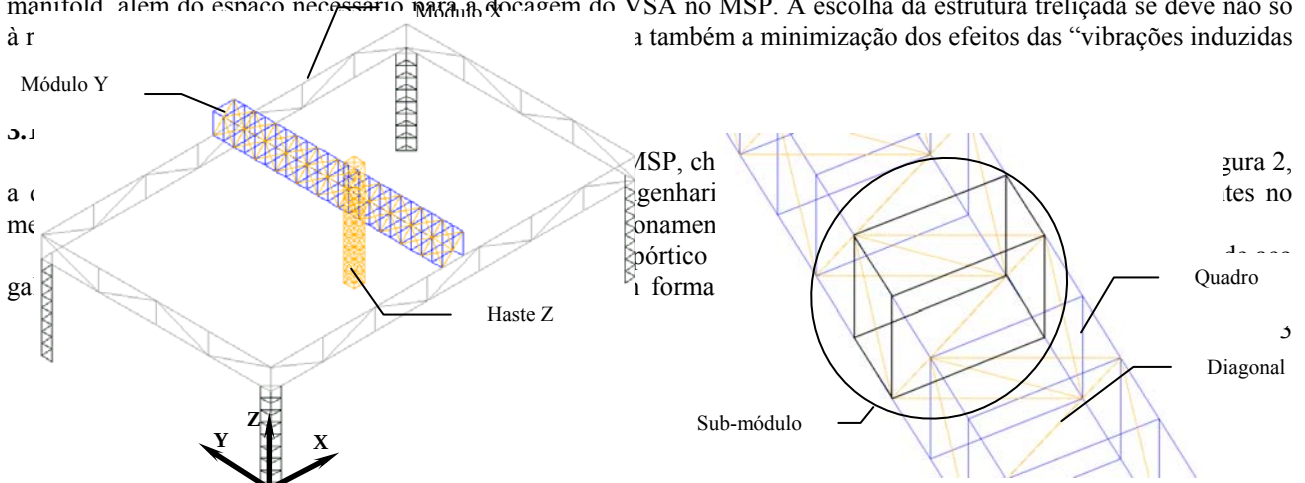
3. Estudo da estrutura do MSP

Como proposta de trabalho será estudado o MSP apoiando um VSA durante a intervenção em um manifold da terceira geração. O sistema deve ser dimensionado de forma que os propulsores do VSA tenham potência suficiente para movimentar os módulos móveis do MSP.

Os dados básicos adotados para o estudo são:

- dimensões do *manifold* : cilindro Ø 15m x 6m.
- velocidade da corrente marinha (na direção X): 1 m/s, Cenpes/Susep (1990);
- características principais do veículo (Anexo III), OPL (1994): dimensões: 3,5 m x 2 m x 2 m;
carga de trabalho: 364 Kg;
velocidade máxima: 1,75 m/s.

A estrutura do MSP será treliçada e feita de tubos de aço, com dimensões básicas de 35 m x 22 m x 10 m. Para se chegar a essas dimensões considerou-se um espaço de trabalho de aproximadamente cinco metros em torno do manifold além do espaço necessário para a docagem do VSA no MSP. A escolha da estrutura treliçada se deve não só à também a minimização dos efeitos das “vibrações induzidas



21.552 Kg, contém tubos de Ø 63,5 mm (pernas treliçadas) e quadro formado por tubos de Ø 127 mm. No Módulo Y, cuja massa estimada vale 905 Kg, foram empregados tubos de Ø 38,1 mm nos quadros e de Ø 25,4 mm nas diagonais, Figura 8.3. Já na Haste Z, os quadros e diagonais são tubos de Ø 25,4 mm, sendo sua massa estimada igual a 715 Kg. Cada sub-módulo mede 2 m x 2 m x 2 m no Módulo Y e 1 m x 1 m x 1 m na Haste Z.

Figura 2 – Modelo da configuração final da estrutura do MSP e detalhe da estrutura treliçada.

Como as dimensões da Haste Z são bem superiores às do Carro Z e do Conector, considerou-se que estes três elementos formam um único elo. Além disto, as informações mais relevantes desta análise são relacionadas ao estudo da deflexão da Haste Z. O posicionamento considerado mais desfavorável e que foi usado para efeito de dimensionamento é aquele onde o módulo Y se localiza na posição de simetria em relação ao módulo X, com a Haste Z simetricamente posicionada em relação ao módulo Y e na posição de máxima extensão. Define-se assim o posicionamento central.

O dimensionamento da estrutura do MSP foi feito através da análise dos resultados obtidos no programa comercial ANSYS® 5.5.1. Este programa utiliza o Método de Elementos Finitos para efetuar as análises e o seu pacote de Análise Estática permite determinar os deslocamentos, tensões e forças de reação de uma estrutura submetida a esforços externos. A maioria das condições de carregamentos externos (forças e momentos) são na verdade de natureza dinâmica, isto é, as direções e intensidades dos mesmos nos locais de aplicação podem variar com o tempo. Entretanto, em muitos casos, a frequência em que ocorre esta variação é lenta se comparada à frequência natural de vibração da estrutura. Quando isto ocorre, considera-se que os carregamentos são de natureza estática, podendo então ser utilizada a modelagem estática ao invés da dinâmica, Ansys-PC (1991). Tal consideração foi feita para o estudo da estrutura Manipulador Semi-passivo. Além disto, na Análise Estática, são aplicadas as seguintes considerações e restrições:

- os efeitos de amortecimento e inerciais (exceto forças de elo tal como a gravidade e velocidades de rotação) são ignorados;
- o material deve possuir elasticidade linear;
- assume-se uma resposta de pequenas deformações.

3.2 Elemento utilizado na modelagem do manipulador

O programa ANSYS® 5.5.1 oferece vários tipos de elementos para se modelar uma determinada estrutura. Para a modelagem da estrutura do MSP foi utilizado o elemento “3-D Elastic Beam”. Este elemento engloba as solicitações de tensão, compressão, torção e flexão; além de apresentar seis graus de liberdade em cada nó (três translações e três rotações nos eixos x, y e z do nó). Há também disponível, o efeito da deformação por cisalhamento, Ansys-PC (1991).

Para a definição do elemento são necessários: dois ou três nós, a área da seção transversal, dois momentos de inércia de área (IYY e IZZ), duas espessuras (TKY e TKZ), um ângulo de orientação (θ) no eixo x do elemento, o momento de inércia de torção (IXX) e as propriedades do material. Se IXX não for especificado, assume-se que seja igual ao momento polar de inércia (IP), onde $IP = IYY + IZZ$. IXX deve ser positivo e frequentemente é menor que IP. A rigidez torcional do elemento decresce com o decréscimo do valor de IXX.

O terceiro nó (K) pode ser usado para definir a orientação do elemento ao invés do ângulo. E, se utilizado, K define um plano (com I e J) paralelo ao eixo z do elemento. O eixo X do elemento é orientado ao longo do seu comprimento e a origem do sistema de coordenadas está no nó I. Os carregamentos no elemento podem ser pressões e/ou gradientes lineares de temperatura. As pressões são computadas como uma força constante por unidade de comprimento. Há também a possibilidade de aplicação da aceleração da gravidade.

A modelagem de uma estrutura utilizando este elemento (3-D Elastic Beam) apresenta como resultado diversos dados de saída. Entre as várias informações disponíveis e obtidas com a modelagem da estrutura do MSP, foram utilizadas aquelas definidas como importantes para critério de dimensionamento:

- deslocamentos lineares dos nós (deflexões), em relação ao referencial inercial;
- deslocamentos angulares dos nós, em relação ao referencial inercial;
- tensão máxima, calculada como a soma da tensão de tração e das duas tensões máximas fletoras atuantes no elemento.

3.3 Carregamentos externos no MSP

Os carregamentos externos utilizados na modelagem foram: a ação da correnteza sobre a estrutura, a força na extremidade da Haste Z devido à força de arraste no VSA, e a força de empuxo gerada pelos flutuadores nos Módulos Y e Haste Z, além da gravidade. Admitiu-se que o VSA possuía flutuadores dimensionados para equilibrar o seu próprio peso e que a correnteza agia perpendicularmente à sua maior área lateral.

3.3.1 Efeito da correnteza no VSA

O efeito da correnteza no VSA, ou seja, a força de arraste, foi estimado através da Equação de Morrison e o seu ponto de aplicação é a extremidade da Haste Z. Cabe ressaltar que na modelagem considerou-se o VSA rigidamente

vinculado à Haste Z, e que esta suportava os esforços atuantes no veículo. A equação é dada por Wilson (1984) e Chakrabarti (2001):

$$f_{arraste} = C_D \cdot \rho \cdot \frac{D}{2} \cdot |u| \cdot u + C_M \cdot \rho \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot \dot{u} \quad (1)$$

onde: $f_{arraste}$ – força de arraste por unidade de comprimento do corpo submerso;

D – diâmetro hidrodinâmico (dimensão transversal característica do corpo);

ρ – densidade da água do mar;

u e $\dot{u}$ – velocidade e aceleração da correnteza;

C_D – coeficiente de arraste;

C_M – coeficiente de inércia, usualmente adota-se $C_M = 2$, Wilson (1984) e Senra (2004).

Para a estimativa da força total de arraste atuando no VSA, foi adotada a aceleração da correnteza nula e C_D igual a 0,6. Considerou-se também o diâmetro característico, D, valendo 3,5 m e o comprimento total do VSA igual a 2m.

3.3.2 Efeitos da correnteza sobre a estrutura

Os efeitos da correnteza sobre a estrutura, Figura 8.6, foram calculados utilizando-se a Equação 1. Esses efeitos foram modelados no ANSYS® 5.5.1 com a opção “Pressão”, equivalente a uma carga distribuída.

3.3.3 Efeito dos flutuadores

Conforme explicitado anteriormente, considerou-se que as forças de empuxo geradas pelos flutuadores possuem os mesmos valores e direções contrárias às forças peso do Módulo Y e Haste Z. Esses efeitos também foram modelados como carga distribuída (opção “Pressão”).

3.3.4 Modelo completo dos efeitos no MSP

Na Figura 3 está representado o modelo completo do MSP utilizado para o cálculo das deflexões e tensões, com todos os esforços utilizados na modelagem, assim como o vetor aceleração da gravidade (que no programa é definido como $-g$). Além destes esforços e do efeito da gravidade, durante a modelagem considerou-se também que as pernas do manipulador estavam fixas ao solo, sendo então aplicadas restrições aos seis graus de liberdade na extremidade de cada perna. O modelo adotado neste trabalho, como estudo de caso, é composto por 317 “nós” e 828 “elementos”. No Anexo V tem-se um resumo dos carregamentos utilizados.

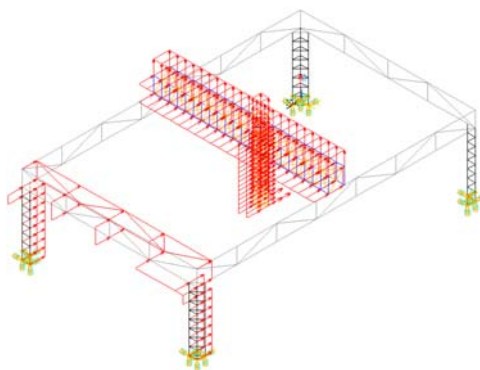


Figura 3 – Representação dos carregamentos, das restrições e da aceleração da gravidade, utilizados durante a modelagem do MSP no programa ANSYS® 5.5.1.

3.4 Deflexões e tensões máximas

Conforme citado anteriormente, o principal critério utilizado para o dimensionamento do MSP foi a análise dos valores máximos de tensões e deflexões que a sua estrutura poderia suportar, devido aos carregamentos impostos durante a realização de uma determinada tarefa. Durante a modelagem no programa ANSYS® 5.5.1, o máximo valor de tensão encontrado na estrutura do MSP foi igual a 155 MPa. Na Figura 4, têm-se os resultados obtidos para as deflexões (deslocamentos lineares dos nós), sendo os seus valores máximos apresentados na Tabela 2. Os deslocamentos angulares dos nós são desprezíveis, conforme pode ser observado na Figura 5 e na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores máximos de deslocamentos lineares (deflexões) e angulares dos nós.

	Deflexões [mm]	Deslocamentos nodais angulares [rad]
Direção X	40	8×10^{-4}

Direção Y	4	1×10^{-3}
Direção Z	14	2×10^{-3}

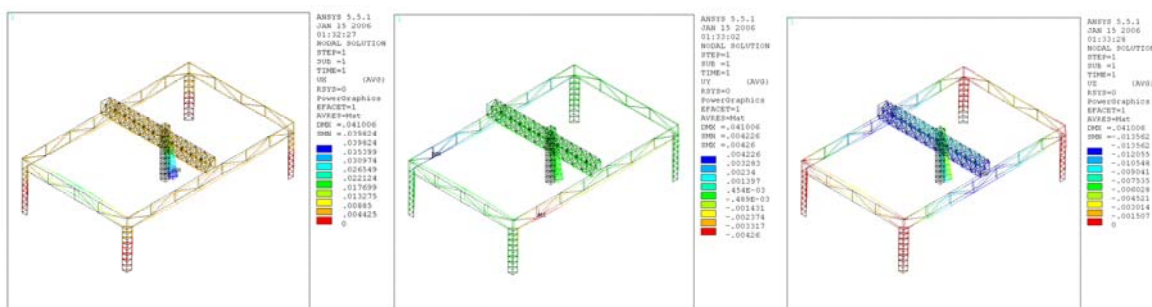


Figura 4 – Deflexões [m] nas direções X, Y e Z.

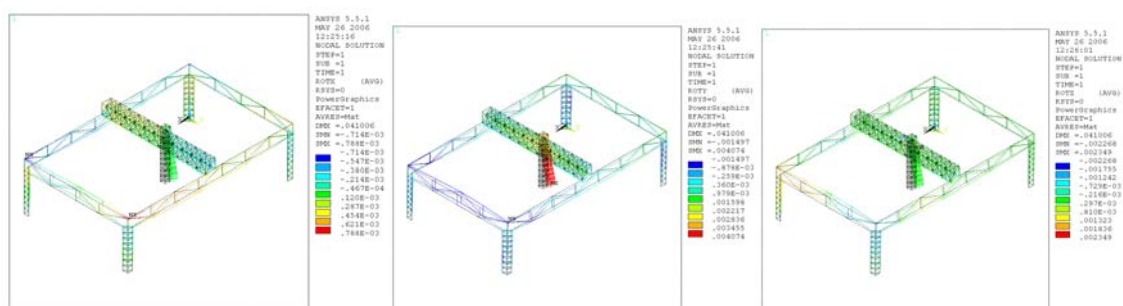


Figura 5 – Deslocamentos angulares nodais [rad] nas direções X, Y e Z.

3.5 Comparação massa móvel x capacidade de carga

Um dos objetivos do MSP é aumentar a capacidade de carga do VSA. A seguir será feita a comparação entre a capacidade de carga atual do VSA, e a capacidade que ele teria se estivesse acoplado ao MSP. Conforme visto anteriormente, as massas do Módulo Y e Haste Z valem respectivamente 905 Kg e 715 Kg, o que dá uma massa total a ser movimentada de 1.620 Kg, contra a capacidade de carga do veículo de 364 Kg.

➤ Veículo sem uso do MSP: Para o cálculo da força disponível no veículo para a movimentação da carga de trabalho máxima (364 Kg) será considerado que o mesmo se locomove a uma velocidade de 0,125 m/s, contra uma correnteza com velocidade de 1 m/s, isso dá uma velocidade total do veículo de 1,125 m/s. Além disso, será considerado que o veículo atinge esta velocidade em 5 s, o que dá uma aceleração de $0,225 \text{ m/s}^2$. A força total disponível do veículo para movimentar a carga, F_{TD} , vale:

$$F_{TD} = \sqrt{F_Z^2 + F_X^2} \quad (1)$$

onde: F_Z – força necessária para vencer a aceleração da gravidade:

F_X – força necessária para acelerar a carga (aqui não será considerado o efeito do arraste na carga):

A Equação (1) vale: $F_{TD} = \sqrt{F_Z^2 + F_X^2} = 3.567 \text{ N}$.

➤ Veículo acoplado ao MSP:

Para a cálculo da força necessária do VSA para a movimentação dos módulos móveis do MSP será utilizada a Equação 2, sendo considerado, além dos dados acima, que os flutuadores suportam toda a massa móvel do MSP. Cabe ressaltar que aqui o Carro Z e o Conector são partes integrantes da Haste Z, e que serão desconsiderados os efeitos dos atritos nas juntas. Logo, as únicas forças envolvidas são: a necessária para vencer o efeito da correnteza e a utilizada para acelerar os componentes móveis do MSP.

$$F_{VSX} = (m_1 + m_2)\ddot{d}_1 + F_{AR1X} + F_{AR2X} \quad (2)$$

onde: m_1 e m_2 – massas do Módulo Y e Haste Z;

$\ddot{d}_1$ - aceleração da junta 1, que é igual à aceleração do veículo;

F_{AR1X} e F_{AR2X} – forças de arraste no Módulo Y e Haste Z.

- Força necessária para vencer o arrasto nos módulos móveis:

A força necessária para vencer o efeito do arrasto será estimada pela Equação de Morrison modificada (para corpos submersos em movimento) [54,55]:

$$f_{arraste} = C_D \cdot \rho \cdot \frac{D}{2} \cdot |u - x| \cdot (u - x) + C_M \cdot \rho \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot \dot{u} - C_A \cdot \rho \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot \dot{x} \quad (3)$$

onde: $f_{arraste}$ – força de arraste por unidade de comprimento do corpo submerso;

D – diâmetro hidrodinâmico (dimensão transversal característica do corpo);

ρ – densidade da água do mar;

u e $\dot{u}$ – velocidade e aceleração da correnteza no Referencial Inercial;

x e $\dot{x}$ – velocidade e aceleração do corpo no Referencial Inercial;

C_D – coeficiente de arraste, dado pela tabela 8.1;

C_M – coeficiente de inércia, usualmente adota-se $C_M = 2$, Wilson (1984) e Senra (2004).

C_A – coeficiente de massa adicional, usualmente definido como $C_A = C_M - 1$, Wilson (1984) e Senra (2004).

Considerado-se que a aceleração da correnteza é nula, e substituindo os valores na Equação 3, tem-se:

$$F_{ARTotal} = F_{AR1X} + F_{AR2X} = 1.495 \text{ N} ;$$

- Força necessária para aceleração dos componentes móveis:

$$F_{Acel} = (m_1 + m_2) \ddot{d}_1 = (905 + 715) \times 0,225 = 413 \text{ N} ;$$

Da Equação 2 tem-se a força total necessária para movimentar os componentes móveis:

$$F_{VSX} = (m_1 + m_2) \ddot{d}_1 + F_{AR1X} + F_{AR2X} = F_{Acel} + F_{ARTotal} = 1.908 \text{ N}$$

Quando o veículo estiver acoplado ao MSP, terá disponível para a movimentação da carga de trabalho:

$$F_D = F_{TD} - F_{VSX} = 3.567 - 1.908 = 1.659 \text{ N}.$$

Se for considerado que quando o VSA estiver acoplado ao MSP, o peso da carga será suportado pela estrutura do MSP, a nova capacidade de carga do veículo valerá:

$$m_{carga} = F_D / a = 1.659 / 0,225 = 7.370 \text{ Kg}.$$

Isto comprova que há um aumento significativo na capacidade de carga do VSA, mesmo com a elevada massa móvel do MSP que ele terá que mover e o efeito do atrito nas juntas (que não foi considerado nos cálculos acima).

4. Conclusões

Como foi exposto na introdução deste trabalho, a indústria do petróleo está inevitavelmente direcionada a investir recursos para viabilizar as explorações de óleo e gás em águas profundas e ultra-profundas. Portanto, torna-se necessário o desenvolvimento de soluções tecnológicas e inovadoras. Como um exemplo disso, tem-se a utilização cada vez maior de veículos submarinos não-tripulados, dotados de ferramentas especiais e até de braços-mecânicos, em atividades de manutenção e reparo em equipamentos submarinos de produção.

Este trabalho apresenta o Manipulador Semi-Passivo (MSP) como proposta para melhoria da performance destes veículos submarinos durante atividades de intervenção em equipamentos submarinos de produção, mais especificamente, a intervenção de um VSA (Veículo Submarino Autônomo) em um *manifold*.

Entre as vantagens da utilização do MSP, pode-se citar:

➤ Aumento da rigidez estrutural, da precisão e da repetibilidade do veículo:

Quando os freios estão ativados o sistema MSP-veículo comporta-se como um manipulador de base fixa.

➤ Preservação da integridade do equipamento sob intervenção: Durante a intervenção, o veículo não mantém vínculos mecânicos de sustentação com o equipamento. Portanto, todas as solicitações mecânicas (forças e torques) surgidas da interação entre o veículo e o equipamento, são transmitidas para a estrutura do MSP, o que garante a integridade do equipamento manipulado.

➤ Aumento da capacidade de carga do veículo: Como pode ser verificado, apesar da elevada massa da parte móvel do MSP, o veículo poderia facilmente movimentá-la apenas com o uso dos propulsores e, além disso, ainda teria potência suficiente para movimentar outras cargas, com valores superiores à sua capacidade de carga atual.

➤ Diminuição do tempo de intervenção: Esta é uma consequência direta do aumento da rigidez estrutural, da precisão e repetibilidade do sistema, sendo um fator importante na redução dos custos de mobilização do veículo e da embarcação de apoio.

➤ Mobilidade: O veículo passa a ter mobilidade para realizar as tarefas, podendo passar de um ponto a outro do equipamento sob intervenção com maior facilidade.

➤ Aplicação da tecnologia desenvolvida para manipuladores industriais de base fixa: Este é um ponto muito importante também, pois todo o alto desenvolvimento industrial e tecnológico utilizado em robôs industriais pode ser utilizado para o sistema MSP-veículo. Como exemplo tem-se os sistemas pré-programados utilizados em células de manufatura.

➤ “liberdade” nos projetos futuros de equipamentos submarinos: Como o sistema MSP-veículo poderia alcançar qualquer parte do equipamento sob intervenção, não haveria, a princípio, a necessidade de se projetar os painéis *override* nos equipamentos submarinos.

5. Referências

- ANSYS-PC, Reference Manual for Revision 4.4 Vol.1. EUA, Swanson Analysis Inc., 1991.
- CABRAL JUNIOR, V.P., ROMANO, V.F., “Concept and Analysis of a Semi-Passive Arm and ROV System”. In: Proceedings of COBEM 2003. São Paulo, Brasil, 2003.
- Catálogo da OPL, Remotely Operated Vehicles of the World '94/5 Edition. Inglaterra, OPL, 1994.
- CENPES/SUPEP – PETROBRAS, Dados Meteorológicos da Bacia de Campos, 1990.
- CHAKRABARTI, S.K., Hydrodynamics of Offshore Structures. 5 ed., EUA, WIT Press, 2001.
- DUNNINGAN, M.W., RUSSELL, G.T., “Evaluation and Reduction of the Dynamic Coupling Between a Manipulator and a Underwater Vehicle”, IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. 23, No. 3. Julho 1998.
- FERREIRA, C.V., ROMANO, V.F., “A Gantry Type Semi-Passive Arm To Support Auv's Offshore Activities”. In: Proceedings of COBEM 2005. Minas Gerais, Brasil, 2005.
- SENRA, S.F., Metodologias de Análise e Projeto Integrado de Sistemas Flutuantes para Exploração de Petróleo Offshore. Tese de D.Sc. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2004.
- WILSON, F.J., “Structures in the Offshore Environment”. In: Wilson, F.J. (ed), Dynamics of Offshore Structures, 1 ed., chapter 1, EUA, John Wiley & Sons, 1984.
- ZANOLI, S.M., CONTE, G., “Remoted Operated Vehicle Depth Control”, Control Engineering Practice, pag 453-459. 2003.