

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA		Nº ET-3000.00-1300-98A-P4X-003						
	CLIENTE:								FOLHA 1 de 20
	PROGRAMA:								
	ÁREA:								
DP&T-SUP	TÍTULO: ESTUDO DE QUEDA DE OBJETOS						NP-1		
ESUP									
ÍNDICE DE REVISÕES									
REV	DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS								
0	ORIGINAL								
A	ET REVISADA PARA ATENDER À REVISÃO DA DIRETRIZ DE ENGENHARIA DE SEGURANÇA DR-ENGP-M-I-1.3.								
	REV. 0	REV. A	REV. B	REV. C	REV. D	REV. E	REV. F	REV. G	REV. H
DATA	31/01/2017	01/11/2017							
PROJETO	ESUP	ESUP							
EXECUÇÃO	HEBER	ORNELAS							
VERIFICAÇÃO	MAJEROWICZ	MAJEROWICZ							
APROVAÇÃO	PAOLO	IGORG							
AS INFORMAÇÕES DESTE DOCUMENTO SÃO PROPRIEDADE DA PETROBRAS, SENDO PROIBIDA A UTILIZAÇÃO FORA DA SUA FINALIDADE.									
FORMULÁRIO PADRONIZADO PELA NORMA PETROBRAS N-381-REV.L.									

SUMÁRIO

1.	ABREVIATURAS E DEFINIÇÕES.....	4
2.	INTRODUÇÃO	5
3.	OBJETIVOS	5
4.	ESCOPO DO ESTUDO	5
3.1	Rotas alternativas de movimentação.....	6
3.2	Meios alternativos de movimentação	6
3.4	Frequência de impedimento dos FPS.....	6
5.	DOCUMENTAÇÃO DE REFERÊNCIA.....	6
6.	ASPECTOS RELEVANTES DA ANÁLISE	7
7.	REQUISITOS DE SOFTWARE.....	7
8.	CONDIÇÕES METEOCEANOGRÁFICAS.....	7
9.	METODOLOGIA DO ESTUDO	7
9.1	Seleção de Cenários.....	8
9.1.1.	Originados de APR.....	8
9.1.2.	Cenários Adicionais.....	8
9.2	Coleta de dados de falha.....	8
9.3	Determinação de Perfil de Vento.....	8
9.4	Determinação de Perfil de Corrente Marinha	9
9.5	Coleta de Dados de Movimentação de Cargas	9
9.6	Análise de Queda de Objetos na Unidade e Embarcações de Serviço e Apoio.....	9
9.7	Análise de Queda de Objetos no Mar	10
9.8	Estimativa de impacto por movimento pendular	12
9.9	Cálculo da carga acidental por queda de objeto	12
9.10	Cálculo da frequência de impedimento.....	12
10.	REQUISITOS PARA AS REUNIÕES DE ACOMPANHAMENTO	12
10.1	Considerações Gerais.....	12



10.2	Reunião de Planejamento.....	13
10.3	Reunião de Análise da Documentação, Definição de Premissas e Metodologia	13
10.4	Reuniões de Acompanhamento e Validação	14
10.5	Reunião de Apresentação do Relatório Final – Versão Preliminar	15
11.	RELATÓRIOS DO ESTUDO	15
11.1	Relatório Parcial	15
11.2	Relatório final.....	16
12.	PRAZOS.....	16
13.	CAPACITAÇÃO PARA REALIZAÇÃO DO ESTUDO.....	16
14.	APLICAÇÃO DA LISTA DE VERIFICAÇÃO (LV).....	16
15.	SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO.....	16
16.	ANEXO A - METODOLOGIA DE CÁLCULO DE TRAJETÓRIA DE QUEDA NO MAR EM ÁGUA PROFUNDAS CONSIDERANDO O PERFIL DE CORRENTEZA	16
	ANEXO A	17

1. ABREVIATURAS E DEFINIÇÕES

Para efeitos desta especificação devem ser consideradas as seguintes abreviaturas e definições:

Abreviaturas:

APR - Análise Preliminar de Risco

ET – Especificação Técnica

FEM – *Finite Element Modelling* – Modelagem por Elementos Finitos;

FPS - Funções Principais de Segurança

SIGEM -Sistema Integrado de Gerenciamento de Empreendimentos

UEP – Unidade Estacionária de Produção

Definições:

Carga em movimento pendular – Carga que sofre oscilação lateral ou movimento pendular durante a atividade de transporte;

Cenário – É um evento considerado no ponto de interesse tendo a combinação de: perigo, causas, efeitos e a classificação de risco associada, considerando Frequência e Severidade;

Energia de impacto – Energia gerada pela transformação de energia potencial em energia cinética para o caso de queda de objetos ou do movimento da carga atingindo ponto determinado da **Unidade**, para o caso de cargas em movimento pendular;

Excedence curve - Representação gráfica das energias de impacto com relação às frequências em que ocorrem e que permitem estabelecer correspondência com o critério de tolerabilidade definido;

Embarcações de serviço e apoio – Embarcações que periodicamente atendem à **Unidade**, com objetivos definidos de modo a suprir necessidades operacionais da mesma, tais como: navios aliviadores, embarcações de suprimentos, rebocadores, unidades de manutenção e segurança (UMS), sondas, etc.

Executante do estudo – É a responsável pela execução do estudo de queda de objetos, podendo ser uma empresa contratada, seja pela Projetista ou pela Petrobras, a própria Projetista ou ainda um órgão interno da Petrobras;

Função Principal de Segurança (FPS) – Função que um item de segurança deve cumprir para possibilitar e/ou garantir a eficácia da estratégia de resposta à emergência, escape e abandono da **Unidade** durante um evento acidental. Estão incluídos nessa definição outros elementos que devem ser mantidos íntegros e funcionais em uma condição acidental. Estas funções principais estão definidas no item 8.4 da Diretriz de Engenharia de Segurança e devem permanecer disponíveis durante o período de 1 (uma) hora após o início do incidente;

Partes Envolvidas – São a Projetista, a Executante do estudo e a Petrobras, quando envolvidas na elaboração ou acompanhamento do estudo de queda de objetos;

Projetista - empresa responsável pela elaboração do projeto de engenharia seja este: projeto básico ou projeto executivo, podendo ser a própria Petrobras ou empresa contratada para realização do projeto;

Velocidade terminal – Velocidade máxima de queda atingida após ocorrer equilíbrio entre forças gravitacionais e forças de arrasto promovidas pelo fluido (nesse caso ar ou água). Se não houver perturbações adicionais, essa velocidade permanece constante uma vez atingida durante a queda do objeto.

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-3000.00-1300-98A-P4X-003	REV. A
	PROGRAMA	FOLHA: 5 de 20	
	TÍTULO:	ESTUDO DE QUEDA DE OBJETOS	NP-1

2. INTRODUÇÃO

O Estudo de Queda de Objetos é um **Estudo de Consequências** empregado para avaliar os efeitos provocados por quedas, durante a movimentação de cargas na Unidade Estacionária de Produção Offshore (UEP). É usado também para avaliar os riscos de cargas em movimento pendular e os possíveis impactos oriundos destas oscilações. Os cenários avaliados são os identificados na Análise Preliminar de Riscos (APR), classificados como não toleráveis em qualquer uma das dimensões (pessoas, meio ambiente, patrimônio e imagem da Companhia) ou moderados com categoria de severidade IV ou V nas dimensões pessoas e patrimônio, sobre as Funções Principais de Segurança (FPS), de uma UEP.

A partir do resultado desse estudo devem ser adotadas medidas preventivas ou mitigadoras e avaliada a frequência de impedimento das FPS em função dos cenários de queda de objetos e suas consequências nas dimensões (pessoas, meio ambiente, patrimônio e imagem da Companhia).

As FPS estão definidas na **Diretriz de Engenharia de Segurança DR-ENGP-M-I-1.3** da Petrobras.

Na execução do estudo devem ser atendidos os requisitos para análise e gestão de riscos operacionais da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), **Ministério do Trabalho (MT)**, norma Petrobras N-2782 - Técnicas Aplicáveis à Análise de Riscos Industriais e **Diretriz de Engenharia de Segurança**.

Esta Especificação Técnica (ET) **define os critérios para o desenvolvimento do** estudo de queda de objetos e a elaboração do seu respectivo relatório.

3. OBJETIVOS

Esta Especificação Técnica tem os seguintes objetivos:

- Definir escopo, metodologia e critérios para realização do Estudo de Queda de Objetos para as fases de projeto básico, projeto executivo e operação assistida da UEP, doravante designada como Unidade. Esta ET poderá ser utilizada opcionalmente como guia na fase operação da **Unidade** por ocasião da revisão do estudo.
- Orientar a dinâmica para o planejamento, desenvolvimento e acompanhamento do estudo pelas partes envolvidas e a sua aprovação final.
- Definir a padronização, o conteúdo e os requisitos mínimos para apresentação do relatório do estudo.

4. ESCOPO DO ESTUDO

O estudo deve avaliar a queda de objetos e impactos por cargas em movimento pendular a fim de fornecer informações consistentes para:

- O projeto dos sistemas de proteção das estruturas, equipamentos e acessórios, no caso de não haver possibilidade de se adotar outras alternativas;
- O projeto de rotas alternativas de movimentação, as quais não sejam por regiões que impactem FPS, áreas operacionais e outros locais de passagem ou permanência de pessoas na **Unidade**;
- Avaliar a frequência de impedimento das FPS em decorrência dos cenários de queda de objetos e cargas pendulares.
- Considerar no estudo as movimentações ocorridas em condições operacionais da **Unidade**. As atividades relacionadas a construção e montagem da **Unidade** não fazem parte do escopo.

A partir das análises realizadas devem ser apresentados os seguintes resultados:

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-3000.00-1300-98A-P4X-003	REV. A
	PROGRAMA	FOLHA: 6 de 20	
	TÍTULO:	ESTUDO DE QUEDA DE OBJETOS	NP-1

4.1 Rotas alternativas de movimentação

Apresentação de rotas alternativas durante içamento e descarregamento de cargas, objetivando evitar movimentação por áreas que estejam congestionadas ou apresentem probabilidades altas de quedas sobre FPS ou áreas de passagem de pessoas.

4.2 Meios alternativos de movimentação

Deverá ser indicada movimentação por equipamentos alternativos em substituição aos equipamentos que em princípio seriam os preferenciais para realizar aquela movimentação específica.

4.3 Salvaguardas

Deverão ser propostas salvaguardas sempre que forem necessárias para prevenir ou mitigar as consequências do evento. Nas proposições de salvaguardas, deverá estar indicado claramente o tipo e característica da salvaguarda, bem como local de aplicação.

4.4 Frequência de impedimento dos FPS

Calcular a frequência de impedimento da FPS por queda de objetos e por de cargas em movimento pendular e comparar com os critérios de tolerabilidade estipulados.

A análise quanto aos aspectos acima referidos deverá ser apresentada ou referenciada no relatório do estudo, de forma a evidenciar que esses aspectos foram devidamente considerados e tratados.

5. DOCUMENTAÇÃO DE REFERÊNCIA

Como insumos para a elaboração do estudo, devem ser considerados os seguintes documentos em sua versão mais atualizada e com status de LIBERADO ou LIBERADO COM COMENTÁRIOS pela PETROBRAS no SIGEM ou outro sistema eletrônico de gerenciamento de documentos definido em contrato. A revisão de cada documento a ser utilizado deve estar claramente indicada no relatório do estudo.

- a) Modelo 3D da **Unidade** atualizado;
- b) Dados Meteoceanográficos;
- c) Plano de Segurança que indique as FPS (sistema de combate a incêndio, rotas de fuga, equipamentos de salvatagem, pontos de encontro, proteção passiva, etc);
- d) Relatórios das **Análises de Riscos** já realizadas para a **Unidade**, principalmente APR (*topside* e submarina);
- e) Lista de equipamentos;
- f) Desenhos de arranjo geral e arranjo dos módulos indicando localização e TAG dos equipamentos, localização das estruturas primárias e localização do *pipe rack* central, etc;
- g) Desenhos de arranjo submarino;
- h) Estudo de Movimentação de Cargas (*Mechanical Handling*) e Plano de Movimentação de Cargas;

Nota: O Relatório de Movimentação de Cargas deve conter, no mínimo, as características de todas as cargas movimentadas pelo guindaste (dimensões, peso, etc.) e suas respectivas rotas, incluindo o posicionamento das embarcações de serviço e apoio, caso aplicável, e frequências de movimentação.

Bibliografia de referência:

- [1] DR-ENGP-M-I-1.3 - Diretriz de Engenharia de Segurança;
- [2] DNV-RP-F107 - *Risk Assessment of Pipeline Protection*;
- [3] N-2782 - Critérios para Aplicação de Técnicas de Avaliação de Riscos;
- [4] N 1710 - Codificação de Documentos Técnicos de Engenharia;
- [5] N 381 - Execução de Desenhos e outros Documentos Técnicos.

Documentos adicionais devem ser fornecidos para a identificação de outros aspectos relevantes, tais como:

- Indicação da localização das regiões de movimentação de carga e capacidade dos guindastes da Unidade;
- Indicação de características principais (massa, centro de gravidade e dimensões) de cargas típicas a serem içadas na Unidade;

6. ASPECTOS RELEVANTES DA ANÁLISE

O estudo de queda de objetos deve levar em conta no mínimo os seguintes aspectos:

- Tipo de operação realizada;
- Características (peso, dimensão, etc.) das cargas envolvidas nas operações;
- As frequências relacionadas a cada operação;
- Considerar rotas de aproximação das embarcações de serviço e apoio;
- Considerar o impacto sobre áreas sensíveis da Unidade;
- A geometria e arranjo físico da região avaliada;
- A geometria e arranjo físico de linhas e equipamentos submarinos nas redondezas da Unidade;

7. REQUISITOS DE SOFTWARE

O estudo de queda de objetos pode ser desenvolvido com o auxílio de ferramentas de CFD para condução das simulações e deve obedecer aos requisitos da Diretriz de Engenharia de Segurança.

Caso haja a necessidade do uso de ferramentas para modelagem de impacto nas estruturas, equipamentos e linhas podem ser utilizados softwares com método de elementos finitos (FEM), os softwares ANSYS, USFOS, SACS podem ser utilizados. Quaisquer outros softwares específicos para a realização da análise devem ser apresentados para validação prévia por parte da Petrobras.

8. CONDIÇÕES METEOCEANOGRÁFICAS

As condições meteoceanográficas a serem utilizadas no estudo devem ser as da locação final da Unidade. A utilização dos dados meteoceanográficos no estudo deve atender ao disposto na Diretriz de Engenharia de Segurança. No relatório do estudo deve ser apresentada uma tabela com as direções do vento, velocidades de cada direção de vento, bem como a condição de calmaria. Todas as considerações adotadas em relação aos dados ambientais utilizados no estudo devem ser registradas.

A velocidade de vento mais frequente deve ser obtida da média ponderada dos valores de velocidades mais frequentes em cada uma das oito direções. A ponderação é realizada pelo número de ocorrências de cada velocidade mais frequente considerada no cálculo. Quando os valores de frequência ou número de ocorrências forem fornecidos por faixas de velocidades, utilizar o valor médio da faixa de velocidades.

As mesmas considerações feitas para velocidades de vento devem ser realizadas também para correntes marinhas e deve ser apresentada uma tabela com as premissas adotadas.

9. METODOLOGIA DO ESTUDO

A metodologia a ser adotada no estudo de queda de objetos deverá atender aos requisitos estabelecidos nessa ET. Qualquer desvio em relação à metodologia deverá ser apresentado para análise e validação prévia por parte da Petrobras.

O estudo deve seguir as etapas descritas a seguir:

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-3000.00-1300-98A-P4X-003	REV. A
	PROGRAMA	FOLHA: 8 de 20	
	TÍTULO:	ESTUDO DE QUEDA DE OBJETOS	
		NP-1	
		ESUP	

9.1 Seleção de Cenários

A seleção dos cenários a serem avaliados no estudo deve ser realizada com base em risco, desta forma, os cenários devem ter como origem as seguintes fontes de informação:

9.1.1. Originados de APR

O Estudo de queda de objetos deve considerar os cenários acidentais identificados na APR cujas categorizações de riscos para as dimensões "Pessoas" ou "Patrimônio" sejam classificadas como Moderadas nas categorias de severidade IV ou V, e os Não Toleráveis (todas categorias de severidade e todas as dimensões), de acordo com a Matriz de Tolerabilidade de Riscos apresentada na Diretriz de Engenharia de Segurança.

9.1.2. Cenários Adicionais

Cenários acidentais que não tenham sido previamente avaliados na APR, identificados durante o desenvolvimento do estudo, mas que sejam categorizados como relevantes conforme o item 9.1.1, também devem ser considerados no estudo de queda de objetos, bem como cenários originados por alterações no projeto e alterações operacionais.

Orientação para seleção de cenários:

- Cenários de queda de cargas e de impacto de cargas em movimento pendular sobre a planta de processo;
- Cenários de queda de cargas e de impacto de cargas em movimento pendular sobre as FPS;
- Cenários de queda de cargas e de impacto de cargas em movimento pendular sobre as áreas sensíveis da Unidade tais como: *riser balcony*, *risers*, *riser pipe rack*, *pipe rack* central, sistema de ancoragem, sistema de despressurização, linhas e equipamentos com grandes inventários de hidrocarbonetos, áreas de armazenamentos de produtos químicos, etc.;
- Cenários de queda de cargas sobre a área submersa dos *risers* e linhas de ancoragem;
- Cenários de queda de cargas sobre as embarcações de serviço e apoio.

A Executante do estudo deve incluir no relatório, uma tabela com todos os cenários identificados, incluindo os cenários das APR e os cenários adicionais, correlacionando-os com os itens impactados conforme descritos acima.

As seguintes etapas devem ser realizadas no desenvolvimento do estudo:

9.2 Coleta de dados de falha

Os dados referentes à probabilidade de falha do guindaste e seus componentes devem ser obtidos em bancos de dados de falha. O banco de dados escolhido deve ser representativo para o projeto em questão considerando o tipo de guindaste utilizado, tipo de plataforma e demais características da Unidade, etc, devendo ser acordado com a Petrobras.

9.3 Determinação de Perfil de Vento

A velocidade de vento deve ser representada por um perfil de camada limite típico sobre o oceano. Dependendo da locação a ser considerada, pode ser utilizado um perfil baseado em uma lei de potência conforme Referência [2] do item 5, devendo ser validado na reunião de definição de premissas.

9.4 Determinação de Perfil de Corrente Marinha

O perfil de correnteza empregado deve ser correspondente à especificação técnica de dados meteorocenográficos indicada pela Petrobras ou referente à localização mais próxima possível da locação final da **Unidade** em análise. Para determinação conservadora de excursão lateral máxima de objetos, deve-se supor que as diferentes direções de correnteza extrema ao longo da profundidade estão alinhadas, compondo um perfil unidirecional. Deve ser utilizado o período de retorno anual para o perfil de correnteza. Caso sejam necessários valores intermediários além das cotas de profundidade disponíveis, o perfil disponível deve ser interpolado linearmente para obtenção desses valores.

9.5 Coleta de Dados de Movimentação de Cargas

Deverá ser realizada uma análise do Relatório de Movimentação de Cargas da **Unidade** para subsidiar as análises de queda de objetos e de impactos de cargas pendulares sobre os FPS de forma a viabilizar as etapas seguintes. Todas as rotas de movimentação de carga devem ser identificadas e as cargas conduzidas por meio destas devem ser tipificadas (frequência, peso, geometria etc.).

9.6 Análise de Queda de Objetos na **Unidade e Embarcações de Serviço e Apoio**

9.6.1. Frequência de Queda

A frequência de queda por carga (F_1) é definida pela frequência de movimentações da carga multiplicada pela taxa de falha do equipamento.

A frequência de queda de uma carga em um FPS ou área de interesse da **Unidade** (F_2) é obtida pelo produto entre a frequência de queda por carga (F_1) e a fração de percurso sobre o FPS ou área de interesse em relação ao comprimento da trajetória percorrida pela carga.

A frequência total de queda de objetos em um FPS ou área de interesse (F_T) deve ser representada pela somatória das frequências F_2 . Estas frequências F_2 podem ser estratificadas por faixa de energia de impacto da carga, de modo a auxiliar no cálculo da frequência de impedimento (item 9.10).

Outra abordagem para o cálculo das frequências de queda pode ser efetuada por análise de área de atuação do guindaste, considerando raios mínimos e máximos de alcance da lança em relação à área ocupada pelo FPS ou área de interesse, como por exemplo: a fração da área de um determinado módulo em relação à área de atuação do guindaste, considerando a frequência de queda por carga (F_1), definida acima.

A análise da frequência deve considerar o tipo de movimentação, podendo ser somente interna à **Unidade** ou por transbordo para outra embarcação. No caso de transbordo devem ser consideradas as frações de queda no mar, na outra embarcação ou na própria **Unidade**.

Na reunião de premissas poderá ser definida uma linha de corte para as frequências de queda consideradas muito baixas, a critério da Petrobras.

9.6.2. Trajetória dos Objetos

Deverão estar contempladas e claramente indicadas no relatório todas as trajetórias dos objetos movimentados, com base no Relatório de Movimentação de Cargas da **Unidade** (item 9.5), que possam impactar os itens descritos em 9.1.2.

9.6.3. Energia de impacto na **Unidade e Embarcações de Serviço e Apoio**

O cálculo da energia de impacto poderá ser deduzido a partir do conceito de conservação de energia, assumindo que o objeto é indeformável, onde a energia cinética é transformada integralmente em energia de deformação interna da estrutura.

A energia cinética de queda do objeto é dada pela Equação 1 indicada abaixo:

$$E_c = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo:

m = massa do objeto no ar (kg);

v = velocidade de queda (m/s).

A velocidade de impacto do objeto no ar é dada pela Equação 2:

$$v = \sqrt{2 \times g \times h} \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo:

g = aceleração da gravidade (m/s²);

h = altura de queda do objeto (m).

De posse da energia cinética e da rigidez estrutural na direção de aplicação do impacto, poderá ser deduzida a força de impacto para a análise quase estática linear. Para tanto, é necessário obter o deslocamento da estrutura, igualando a energia cinética com a energia potencial elástica e assim obter a Equação 3.

$$E_c = \frac{1}{2} \times m \times v^2 = E_p = \frac{1}{2} \times k \times \Delta^2 \quad (\text{Equação 3})$$

Sendo:

k = rigidez da estrutura na direção de aplicação do impacto (N/m);

Δ = deslocamento da estrutura na direção de aplicação do impacto (m);

E_p = Energia potencial elástica (J).

Com o deslocamento calculado a partir da Equação 3, pode-se obter o valor da força de impacto a partir da lei de Hook.

Os procedimentos indicados a partir da Equação 3 somente poderão ser utilizados se as tensões produzidas pela força de impacto não ultrapassarem o limite de escoamento do material, caso contrário deverá ser realizado uma análise não-linear.

9.7 Análise de Queda de Objetos no Mar

Embora seja esperada que a frequência de queda de objetos no mar seja menor do que os demais cenários, ela também deve ser considerada, sobretudo na presença de sistemas submarinos no entorno da **Unidade** em análise.

9.7.1. Frequência de Queda

Na falta de levantamento específico, devem ser utilizadas como base as frequências de queda de objetos no mar apresentados na bibliografia de referência [2] do item 5. Deve ser considerado um ponto de queda por guindaste, escolhido na região entre a área de carregamento da embarcação de serviço e apoio e a área de *lay-down* da plataforma, onde o objeto possa cair diretamente no mar. A probabilidade de atingir determinado sistema submarino é definida então como proporcional à área ocupada pelo sistema submarino em um anel circular definido por um intervalo de excursão lateral.

9.7.2. Trajetória dos Objetos

A trajetória dos objetos no mar durante sua queda é extremamente dependente de seu formato e distribuição de massa, podendo adquirir movimentos puramente verticais, com grande deslocamento lateral ou oscilante, mesmo sem considerar as condições locais de correnteza.

A trajetória de queda do objeto no mar deve ser calculada conforme a bibliografia de referência [2] do item 5, onde é recomendada a adoção de uma distribuição normal para a excursão lateral, com desvio padrão angular definido em função da forma e massa do objeto.

9.7.3. Trajetória em Águas Profundas

Em cenários de águas profundas, aqui estabelecido como lâmina d'água LDA > 180m, deve-se considerar adicionalmente o perfil de correnteza diretamente para uma estimativa da excursão lateral máxima, conforme metodologia descrita no ANEXO A, que leva em consideração um perfil de correnteza variável em função da profundidade. O perfil de correnteza a ser considerado deve estar de acordo com os dados definidos no item 9.4. Esse mesmo anexo apresenta um exemplo de resultados obtidos com essa metodologia.

9.7.4. Energia de Impacto Submarina

A energia disponível para o impacto deve ser calculada como a energia cinética do objeto em queda. De forma geral, essa energia pode ser calculada pela velocidade terminal do objeto, atingida após cerca de 50m a 100m de profundidade. A energia pode então ser calculada por:

$$E_{VT} = \frac{1}{2} (M + C_{AV} \rho V_D) U_{VT}^2 \quad (\text{equação 4})$$

$$\text{onde: } U_{VT} = \sqrt{\frac{(M - \rho V_S) g}{1/2 \rho A_V C_{DV}}} \quad (\text{equação 5})$$

e:

M	Massa do objeto
g	Aceleração da gravidade (9,8 m/s ²)
ρ	Massa específica da água do mar (1020 kg/m ³)
V _S	Volume sólido do objeto (para cálculo de empuxo)
V _D	Volume deslocado pelo objeto (para cálculo de massa adicional)
A _V	Área projetada na direção vertical
C _{AV}	Coefficiente de massa adicional do objeto na direção vertical
C _{DV}	Coefficiente de arrasto do objeto na direção vertical

Dependendo dos cenários escolhidos, pode ser necessária a avaliação de energia cinética lateral além da vertical. Esse cálculo é feito de forma análoga (ANEXO A), porém a velocidade lateral tende a variar em função do perfil de correnteza.

9.8 Estimativa de impacto por movimento pendular

Para cada componente descrito no item 9.1 devem ser calculadas as frequências de impacto por movimento pendular. Para o cálculo destas frequências, devem ser utilizadas as informações dos bancos de dados, considerando o arranjo da **Unidade** e o plano de movimentação de cargas.

9.9 Cálculo da carga acidental por queda de objeto

A partir dos cenários levantados no item 9.1, das informações do relatório de movimentação de cargas, do plano de movimentação de cargas, dos dados meteoceanográficos e da movimentação da **Unidade**, deve ser calculada a carga acidental de impacto por queda de objetos sobre os elementos descritos no item 9.1.

A energia necessária para gerar impedimento de cada FPS analisado deve ser fornecida pela Projetista mediante análise técnica de cada especialidade envolvida (estruturas, mecânica, tubulação e engenharia submarina). Os cálculos de energia necessária para gerar impedimento devem ser apresentados à Petrobras para validação na reunião R2, conforme previsto no item 10.4.

Quando não for possível estabelecer a energia de impedimento de uma FPS ou área de interesse, a frequência de impedimento deverá ser considerada igual à frequência total de queda de objetos na FPS ou área de interesse (F_T).

A metodologia utilizada para os cenários de queda sobre a área submersa dos *risers*, incluindo a trajetória da carga no mar e a energia necessária para gerar impedimento dos mesmos, deve ser apresentada à Petrobras para validação. Devem ser adotadas normas e boas práticas da indústria, como, por exemplo, a metodologia descrita na bibliografia de referência [2] do item 5.

9.10 Cálculo da frequência de impedimento

A frequência de impedimento é a soma da frequência total de queda de objetos em um a FPS ou área de interesse (F_T) e da frequência total de impacto por movimento pendular, cujas energias de impacto excedam a resistência dos elementos relacionados no item 9.1. Os cálculos da frequência de impedimento de cada um destes elementos devem ser apresentados em tabelas.

A frequência de impedimento obtida para cada FPS analisado deve ser comparada com o Critério de Tolerabilidade estabelecido na **Diretriz de Engenharia de Segurança**, referência [1] do item 5. Devem ser elaboradas recomendações para reduzir a frequência e/ou a severidade dos cenários avaliados, até que a frequência de impedimento esteja abaixo do Critério de Tolerabilidade estabelecido.

10. REQUISITOS PARA AS REUNIÕES DE ACOMPANHAMENTO

As reuniões de acompanhamento do estudo deverão seguir as orientações abaixo.

10.1 Considerações Gerais

O acompanhamento do desenvolvimento do estudo deverá ser realizado pela equipe da Projetista com participação da Petrobras nos casos mencionados nessa especificação.

As reuniões de acompanhamento deverão ser realizadas nas dependências da Executante do estudo, com exceção da reunião de planejamento e de análise da documentação de projeto, as quais deverão ser realizadas nas dependências da Projetista. O local das reuniões poderá ser alterado em comum acordo entre as partes envolvidas. A Petrobras, a seu critério, poderá participar das reuniões por videoconferência. A projetista deverá prover os recursos necessários para a realização das reuniões de

acompanhamento, inclusive facilidades para a participação da Petrobras, presencialmente ou por meio de videoconferência.

As atas de reunião devem ser elaboradas pela Projetista e disponibilizadas como documento de projeto ou incluídas como anexo junto ao relatório na sua revisão final.

Todas as decisões de validação (de premissas, de dados, entre outras) deverão constar do relatório final do estudo em forma de anexo. As validações deverão ter assinatura dos responsáveis de cada parte envolvida.

10.2 Reunião de Planejamento

Reunião destinada à apresentação sumária do projeto, ao esclarecimento de aspectos relativos aos objetivos e escopo do estudo, entrega da documentação de projeto, avaliação e ajustes necessários no cronograma de trabalho e dos recursos necessários à realização do estudo, onde a pauta mínima deve ser:

- Briefing de segurança – (Projetista);
- Apresentação do Projeto para a Executante do estudo - (Projetista);
- Esclarecimentos sobre objetivos, escopo da análise e requisitos do estudo (Projetista e Petrobras);
- Dimensionamento das equipes da Projetista e Executante do estudo que participarão da elaboração e o acompanhamento do estudo, com a definição da matriz de responsabilidades;
- Apresentação dos pontos focais de cada parte envolvida e identificação dos responsáveis de cada disciplina de cada parte envolvida que participarão das reuniões de acompanhamento e das validações requeridas nesta ET;
- Apresentação do cronograma previsto para execução do estudo em conformidade com o cronograma de projeto (Executante do estudo e Projetista);
- Definição dos locais, recursos necessários e duração das reuniões de acompanhamento (Projetista e Executante do Estudo).

Participantes da reunião de planejamento: Devem participar os pontos focais das partes envolvidas, os profissionais da Executante do estudo envolvidos e os líderes de disciplinas da Projetista responsáveis pelo acompanhamento do estudo.

Nota: O cronograma deve contemplar o prazo de vinte dias úteis para comentários dos relatórios (parcial e final) pela Petrobras, assim como o prazo para implementação dos comentários realizados.

10.3 Reunião de Análise da Documentação, Definição de Premissas e Metodologia

Reunião destinada à análise e validação da documentação de projeto necessária ao desenvolvimento do Estudo e elaboração de lista de pendências, se houver. O objetivo é evitar erros e retrabalhos nos estudos em função de possíveis falhas ou omissões de informações na documentação, que servirá como base de dados de entrada para a realização do estudo.

Adicionalmente essa reunião visa validar os cenários de queda de objetos, consolidar as premissas definidas nessa ET e outras adicionais não cobertas por essa ET e pela **Diretriz de Engenharia de Segurança**, devendo contemplar, no mínimo, o seguinte:

- Cenários eliminados: justificar, acordar e documentar cenários eliminados;
- Definição das FPS possíveis de serem impactados.

A partir da análise da lista de documentos do projeto e dos documentos fornecidos, a Executante do estudo poderá solicitar esclarecimentos e tirar as dúvidas quanto às informações contidas nos documentos. No caso de identificação de pendências na documentação ou de necessidade de fornecimento de outros documentos, a Projetista deverá informar o prazo necessário para sanar as pendências e/ou para envio dos documentos, de forma que não impacte no cronograma previsto para o estudo.

Ao final da reunião a Executante do estudo deve assinar um termo de aceite da documentação onde deve constar a lista de pendências, se existentes.

As premissas devem ser definidas em comum acordo entre as partes envolvidas e devem ser incluídas no relatório do estudo.

Além das premissas e metodologia, a Projetista deverá confirmar as informações básicas para início do estudo como condições meteorológicas, cargas movimentadas, arranjo de *risers* (submarino e superfície – arranjo no balcão de *risers*) e as FPS que devem ser avaliadas no estudo. As informações devem ser ratificadas ou retificadas pela Petrobras.

A Projetista, como responsável pela gestão de mudanças do projeto, deve informar às demais partes envolvidas qualquer alteração no projeto que impacte o estudo. Os documentos alterados em decorrência das mudanças, que afetem o estudo, devem ser enviados à Executante do estudo. Decorrente disso, a Executante do estudo deverá avaliar as mudanças e informar os impactos das mesmas no desenvolvimento da análise e no cronograma previsto. Deverá também apresentar as premissas propostas para o desenvolvimento do estudo e as suas dúvidas quanto à metodologia proposta nessa ET. As dúvidas devem ser esclarecidas pela Projetista com a participação da Petrobras.

Participantes da reunião de análise de documentação, premissas e metodologia: Devem participar os profissionais da Executante do estudo envolvidos e os líderes de disciplina da Projetista e da Petrobras responsáveis pelo acompanhamento do estudo.

10.4 Reuniões de Acompanhamento e Validação

Reuniões destinadas ao acompanhamento do estudo por parte da Projetista com participação da Petrobras onde devem ser abordados os itens previstos na metodologia.

A Projetista em comum acordo com a Executante do estudo, e considerando o cronograma previsto para realização do estudo, deve apresentar a agenda de reuniões para acompanhamento do desenvolvimento do estudo. As reuniões devem contemplar as etapas de estudo previstas no item 9 (Metodologia) desta ET. Devem ser previstas reuniões de acompanhamento e validação indicadas na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1: Reuniões de acompanhamento e validação

Item	Pauta Mínima	Ref.
R1	Validação dos dados de entrada - Cargas contempladas, movimentação prevista para a operação e trajetórias	9.5
R2	Apresentação do Relatório Parcial, contendo cálculos e resultados de frequência e severidade, etc.	9.8
R3	Apresentação do Relatório Final (versão preliminar), contendo, adicionalmente, conclusões e recomendações	9.9

A Tabela 1 tem como base a experiência da Petrobras, podendo o número de reuniões ser alterado, de comum acordo entre as partes envolvidas, desde que todos os itens que compõe a metodologia e que

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-3000.00-1300-98A-P4X-003	REV. A
	PROGRAMA	FOLHA: 15 de 20	
	TÍTULO:	ESTUDO DE QUEDA DE OBJETOS	NP-1

requeiram validação sejam abordados, bem como a análise dos resultados e das recomendações sejam discutidos e avaliados quanto a sua aplicabilidade ao projeto.

Participantes das reuniões de acompanhamento e validação: Devem participar das reuniões os profissionais da Executante do estudo envolvidos e os líderes de disciplina da Projetista e da Petrobras responsáveis pelo acompanhamento do estudo.

10.5 Reunião de Apresentação do Relatório Final – Versão Preliminar

Reunião destinada à apresentação do relatório final (versão preliminar) antes da sua emissão para a Petrobras. O relatório final é de responsabilidade da Projetista e deve ser emitido pela mesma. O relatório final deve contemplar o relatório da Executante do estudo mais o tratamento das recomendações do estudo a serem implementados no projeto pela Projetista. A codificação do relatório e o respectivo carimbo devem identificar a Projetista como originária do documento. A codificação deverá estar de acordo com a norma Petrobras N-1710 e o formato de acordo com a N-381.

A apresentação deve ter como foco os principais eventos acidentais, os principais resultados as conclusões e recomendações do estudo. Deve ser abordado o tratamento dado a cada uma das recomendações do estudo.

Participantes da reunião de apresentação do relatório do estudo: Devem participar os pontos focais das partes envolvidas, os profissionais da Executante do estudo envolvidos e os líderes de disciplina da Projetista e da Petrobras responsáveis pelo acompanhamento do estudo. Nessa reunião é recomendável a participação de profissionais de operação e manutenção da **Unidade**.

11. RELATÓRIOS DO ESTUDO

O relatório final deverá ser emitido em português e inglês. O relatório deve atender o conteúdo mínimo requerido no **Item 8.6 da Diretriz de Engenharia de Segurança** e o especificado neste documento.

Todas as hipóteses de simplificação e premissas adotadas devem ser apresentadas e explicitadas na parte correspondente do relatório. Adicionalmente, as atas das reuniões devem ser apresentadas em anexo, especialmente as que possuem validação de etapas da metodologia. Os gráficos e figuras dos relatórios devem ser apresentados com as respectivas escalas, legendas e com a rosa dos ventos e direção predominante do vento. Para elaboração das tabelas, gráficos e figuras devem ser aplicadas as unidades do Sistema Internacional - SI.

Todos os gráficos e figuras que suportem as conclusões e recomendações do estudo devem ser apresentados no relatório final.

11.1 Relatório Parcial

Pelo menos um relatório parcial deve ser apresentado pela Executante do estudo à Petrobras, para comentários, antes da emissão do relatório final.

O Relatório Parcial deve conter no mínimo, os requisitos:

- Descrição dos cenários analisados;
- Tabela com cargas transportadas;
- Tipo de operação realizada;
- Características (peso, dimensão, etc) das cargas envolvidas nas operações;
- As frequências relacionadas a cada operação;
- Trajetórias dos objetos;

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-3000.00-1300-98A-P4X-003	REV. A
	PROGRAMA	FOLHA: 16 de 20	
	TÍTULO:	ESTUDO DE QUEDA DE OBJETOS	NP-1
			ESUP

- Rotas de aproximação das embarcações de serviço e apoio;
- Cálculo da energia necessária para gerar impedimento de cada FPS.

11.2 Relatório final

O Relatório Final corresponde à emissão do relatório em revisão 0. Deve conter todos os requisitos dos itens 11 e 11.1 e também atender aos comentários realizados ao Relatório Parcial, e adicionalmente conter:

- Atas de reunião anexadas (item 10.1);
- LV anexada (item 14);

Devem ser previstas revisões adicionais para os casos em que haja mudanças no projeto que impactem o estudo ou no caso de serem identificadas falhas na emissão final.

12. PRAZOS

De acordo com a complexidade do projeto, o escopo do estudo e os prazos estabelecidos no contrato, deverão ser definidos pela Projetista em comum acordo com a Executante do estudo os prazos requeridos para a realização do estudo e emissão dos relatórios parciais e final. Esses prazos deverão constar no cronograma citado no item 10.2 desta ET.

13. CAPACITAÇÃO PARA REALIZAÇÃO DO ESTUDO

Devido à complexidade envolvida na metodologia aplicável ao estudo de queda de objetos, e também devido importância desse estudo para a segurança da **Unidade**, a elaboração do mesmo deve ser efetuada por empresa capacitada, pertencente ao cadastro de bens e serviços da Petrobras.

14. APLICAÇÃO DA LISTA DE VERIFICAÇÃO (LV)

A Projetista deverá apresentar como evidência de acompanhamento das atividades da Executante do estudo uma lista de verificação (LV), que deverá constar como anexo do relatório. A LV deve conter os requisitos constantes da **Diretriz de Engenharia de Segurança** e os constantes desta ET. A verificação de cada requisito deverá ter a identificação e assinatura do responsável pela verificação.

A verificação da parte relativa à adequação da movimentação de cargas ou das medidas preventivas ou mitigadoras deverão constar na documentação de projeto ou como anexo do relatório. No caso de não contar como anexo, essa documentação deverá ser referenciada no relatório do estudo em item específico, com a indicação clara de como e onde foram atendidas as recomendações do estudo.

15. SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO

Adicionalmente ao disposto na **Diretriz de Engenharia de Segurança**, a Projetista e a Executante do estudo devem dispor de sistema de segurança de dados que garanta a integridade, confiabilidade, rastreabilidade, confidencialidade e inviolabilidade dos dados constantes no estudo e dos dados fornecidos pela Petrobras. Todas as informações deverão ser preservadas contra eventos acidentais ou de segurança da informação por pelo menos cinco anos.

16. ANEXO A - METODOLOGIA DE CÁLCULO DE TRAJETÓRIA DE QUEDA NO MAR EM ÁGUA PROFUNDAS CONSIDERANDO O PERFIL DE CORRENTEZA

ANEXO A
METODOLOGIA DE CÁLCULO DE TRAJETÓRIA DE QUEDA NO MAR EM ÁGUA PROFUNDAS CONSIDERANDO O PERFIL DE CORRENTEZA

Assumindo a queda de um objeto de forma arbitrária, sem mudanças na sua orientação ao longo da trajetória, as forças que atuam sobre o objeto imerso em um fluido são representadas no diagrama de corpo livre da Figura A1.

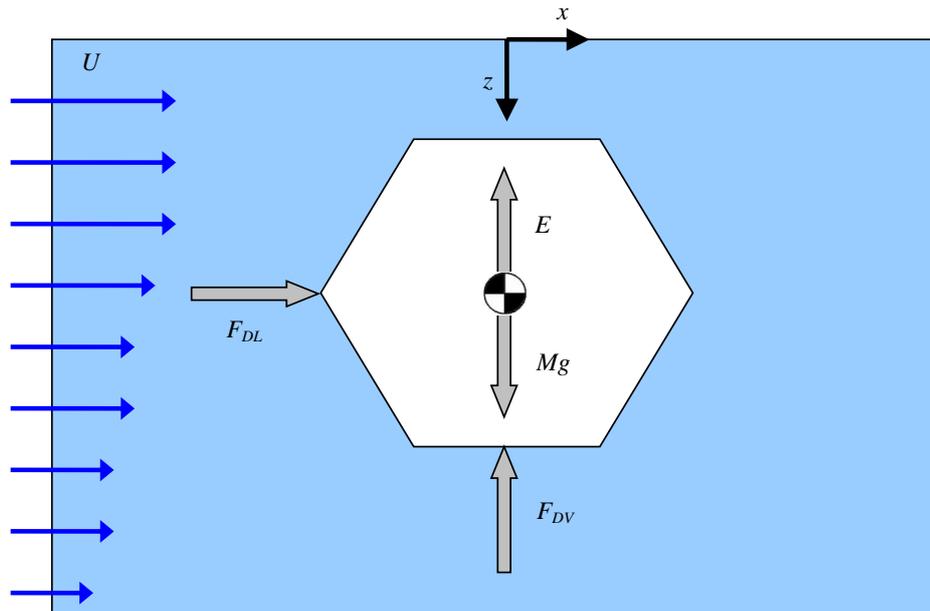


Figura A1 – Diagrama de corpo livre para um objeto em queda livre no mar.

As equações de balanço de quantidade de movimento linear, assumindo movimento no plano (2D), podem ser escritas como:

Na direção vertical

$$Mg - E - F_{DV} = Mg - \rho g V_s - \frac{1}{2} A_v C_{DV} U_v |U_v| = (M + C_{AV} \rho V_d) \frac{d^2 z}{dt^2}; \text{ com } U_v = \frac{dz}{dt}$$

Na direção lateral:

$$F_{DL} = \frac{1}{2} C_{DL} A_L U_{LR} |U_{LR}| = (M + C_{AL} \rho V_d) \frac{d^2 x}{dt^2}; \text{ com } U_{LR} = U_{cur} - U_L \text{ e } U_L = \frac{dx}{dt}$$

onde:

M	Massa do objeto
g	Aceleração da gravidade (9,8 m/s ²)
ρ	Massa específica da água (1020 kg/m ³)
V_s	Volume sólido do objeto (para cálculo de empuxo)
V_d	Volume deslocado pelo objeto (para cálculo de massa adicional)
A_v	Área projetada na direção vertical
A_L	Área projetada na direção lateral
z	Deslocamento vertical do objeto
x	Deslocamento lateral do objeto
U_v	Velocidade vertical do objeto
U_L	Velocidade lateral do objeto



PETROBRAS

ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

Nº

ET-3000.00-1300-98A-P4X-003

REV.

A

PROGRAMA

FOLHA:

18 de 20

TÍTULO:

ESTUDO DE QUEDA DE OBJETOS

NP-1

ESUP

U_{cur}	Velocidade lateral de correnteza (variando em função da profundidade)
U_{LR}	Velocidade relativa entre o objeto e fluido na direção lateral
t	tempo
C_{DV}	Coefficiente de arrasto do objeto na direção vertical
C_{AV}	Coefficiente de massa adicional do objeto na direção vertical
C_{DL}	Coefficiente de arrasto do objeto na direção lateral
C_{AL}	Coefficiente de massa adicional do objeto na direção lateral

Considerando que os coeficientes hidrodinâmicos do objeto (C_{DV} , C_{AV} , C_{DL} , C_{AL}) como constantes ao longo da trajetória e assumindo que movimento se inicia a partir do repouso com o CG do objeto sobre a linha d'água, é possível integrar as equações anteriores e determinar uma aproximação para posição e velocidade do objeto ao longo do tempo.

Com essas considerações, a velocidade vertical possui solução analítica, podendo ser escrita como:

$$U_V = \alpha \tan^{-1}(\beta t)$$

onde:

$$U_{VT} = \sqrt{\frac{(M - \rho V_D)g}{1/2 \rho A_V C_{DV}}} \quad \text{e} \quad \beta = \sqrt{\frac{(M - \rho V_D)g}{M + C_{AV} \rho V_D}}$$

Já o deslocamento lateral, precisa ser calculado a cada profundidade, tendo em vista a necessidade de atualização do valor de velocidade de correnteza em função da profundidade. O envelope de excursão lateral máxima do objeto é dado pelo sólido de revolução do perfil de trajetória resultante (vide Figura A2).

Os coeficientes hidrodinâmicos (massa adicional e arrasto) devem ser obtidos por analogia com as formas testadas experimentalmente e com resultados descritos na literatura, como por exemplo, na recomendação DNV-RP-H103 e a referência BLEVINS (1984).

Conhecendo as velocidades do objeto, pode-se também determinar a energia de impacto vertical e lateral, que nesse caso corresponderá à energia cinética do objeto, dada pelas equações:

$$E_V = \frac{1}{2} (M + C_{AV} \rho V_D) U_V^2 \quad (\text{impacto vertical})$$

$$E_L = \frac{1}{2} (M + C_{AL} \rho V_D) U_L^2 \quad (\text{impacto lateral})$$

Tabela A 1 – EXEMPLO DE CARGA

Objeto	Massa	Volume Sólido	Volume Deslocado	Área Projetada Vertical	Área Projetada Lateral	Cd Vertical	Ca Vertical	Cd Lateral	Ca Lateral
	ton	m ³	m ³	m ²	m ²	-	-	-	-
Conteiner pequeno 8	8.00	1.03	36.25	5.85	14.63	0.90	0.30	1.15	1.32

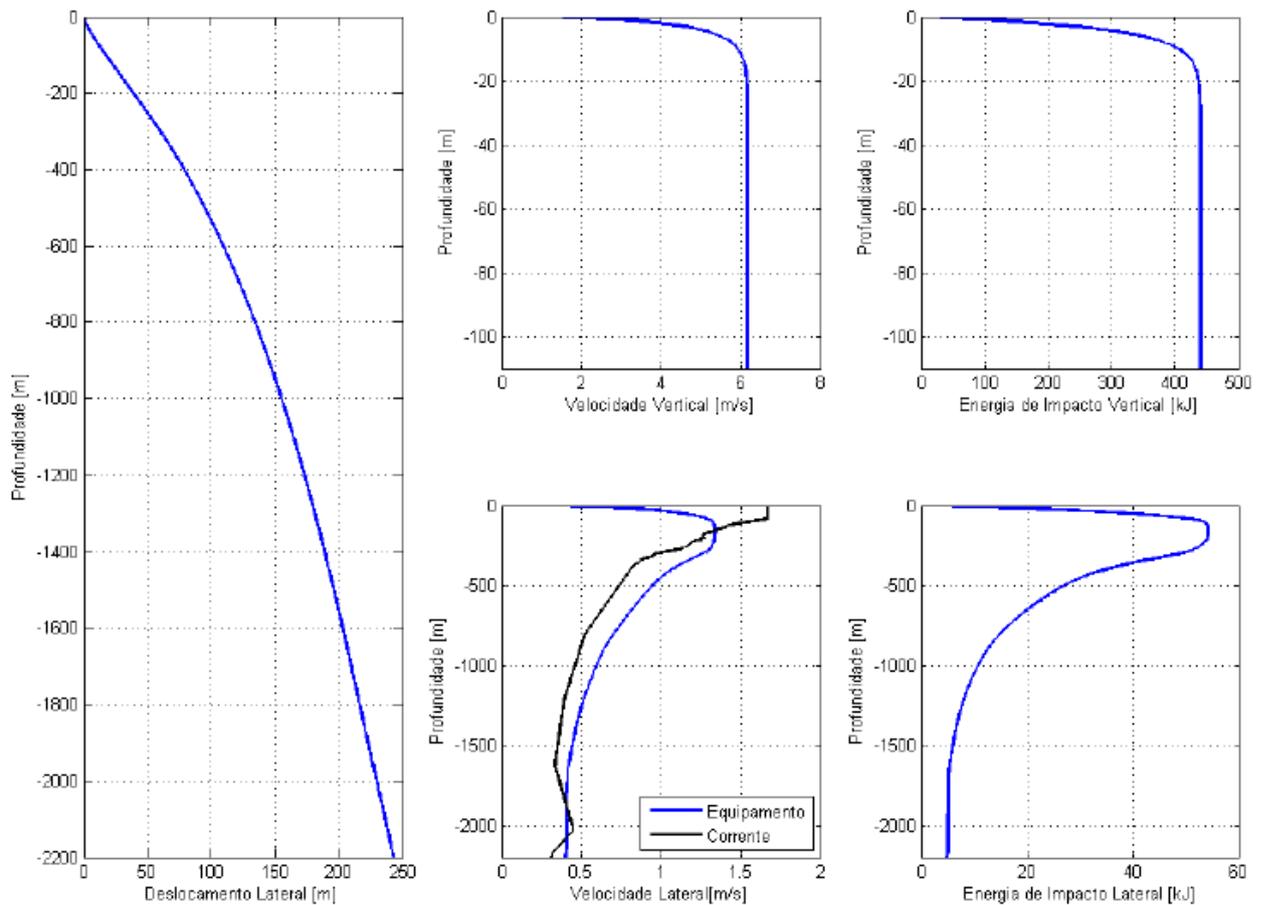
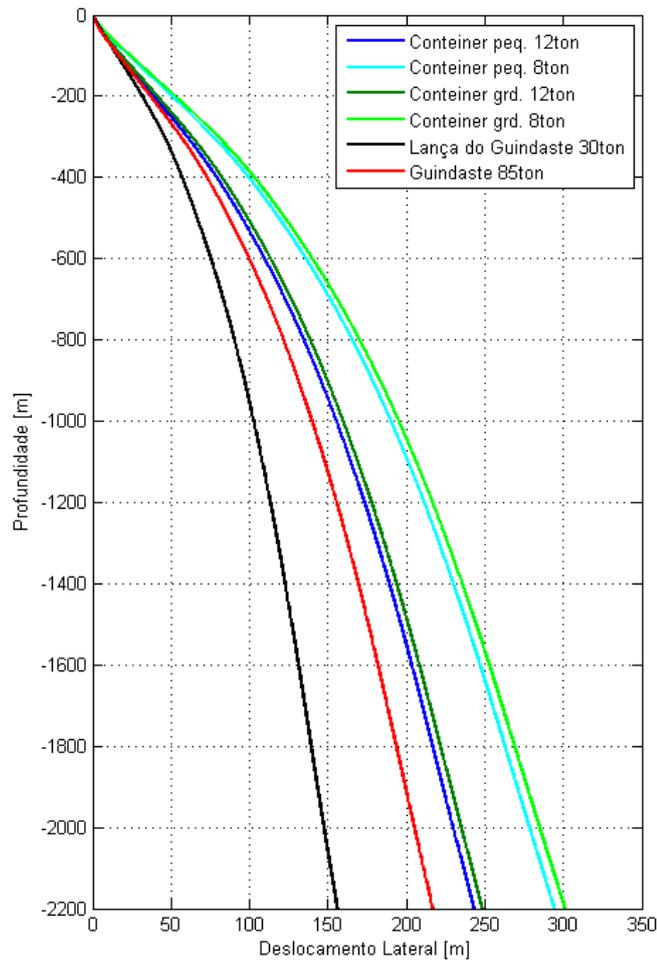


Figura A2 – Exemplo de análise de queda de contêiner sob ação de correnteza extrema com período de retorno de 100 anos na Bacia de Santos. Acima: parâmetros da análise; Abaixo: resultados na forma gráfica.



Objeto	Profundidade (m)		Energia de Impacto Vertical kJ	Deslocamento Lateral m	Deslocamento Lateral m
	300	2200			
Container pequeno 8	8	5.05	240	75	285
Container pequeno 12	12	6.15	440	60	240
Container grande 8	8	4.95	230	80	300
Container grande 12	12	6.00	415	63	250
Lança do Guindaste	30	9.25	1360	45	160
Todo Guindaste (Lança + Base)	85	6.85	2370	55	215

Figura A3 – Exemplo de análise comparativa de queda de objetos em cenário de queda sob ação de correnteza extrema com período de retorno de 100 anos na Bacia de Santos. Acima: trajetória extrema de objetos; abaixo: tabela com resultados de energia de impacto para duas profundidades.