

ESTUDO DE IMPACTO EM ESTRUTURAS NAVAIS UTILIZANDO ANÁLISE NÃO LINEAR E MODELO DE ELEMENTOS FINITOS

Tianna Bloise Thomaz, tiannabloise@poli.ufrj.br¹
Wellington Carpenter Bahia Onofre, carpenter@poli.ufrj.br¹
José Marcio do Amaral Vasconcellos, jmarcio@peno.coppe.ufrj.br²

¹UFRJ, Centro de Tecnologia - Bloco I/Sala 205- LabECO - Cidade Universitária - Ilha do Fundão - Rio de Janeiro/RJ

²Coppe/UFRJ, Programa de Engenharia Naval Oceânica, 21941-972 - Rio de Janeiro - RJ

Resumo: As estruturas de aço projetadas para os navios de grande porte são bastante complexas e quando sujeitas a um impacto como é o caso de colisão, o seu padrão de deformação também se apresenta com solução bastante complexa. O estudo das estruturas sujeitas a impactos pode ser classificado em dois tipos: aqueles com baixo nível de energia denominado de contato e aqueles com alto valor de energia associado, e denominado de colisão. Este artigo concentra sua atenção no segundo caso e este pode ser caracterizado como um choque com alta velocidade de impacto ou um choque com baixa velocidade, mas com grandes massas envolvidas o que é normalmente o caso dos navios mercantes. O tratamento numérico das avaliações de colisão vem avançando bastante devido ao aumento da capacidade dos computadores (velocidade e memória) e a melhoria dos modelos numéricos de análise. A avaliação que tem sido o mais coerente é a análise dinâmica explícita não linear que permite a determinação de grandes deformações. O presente trabalho tem como objetivo analisar um impacto em estruturas navais, utilizando um pacote de simulação chamado LS DYNA-ANSYS, o qual usa como ferramenta a modelação por elementos finitos. Estudaremos a análise dinâmica explícita, para materiais não lineares inelásticos e rígidos, que determina a resposta da estrutura – deslocamento/deformação – variando no tempo. Analisam-se modelos simplificados de contêiner em queda livre e também em movimento uniforme colidindo em placas, buscando sempre condições de grandes deformações inelásticas. Objetiva-se ainda uma comparação futura desses resultados com outros obtidos experimentalmente em teste de choque.

Palavras-chave: Método dos elementos finitos, Teste de impacto, Problemas não-lineares

1. INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda por maior segurança no mar nos últimos anos é muito importante prever a ocorrência de um acidente. Muitos estudos são desenvolvidos no intuito de buscar evitar os principais acidentes por colisão entre sistemas marítimos e ao mesmo tempo poder avaliar as conseqüências e minimizar os danos. Operações entre plataformas marítimas offshore e embarcações de apoio apresentam um ótimo cenário para que esses tipos de acidente venham a ocorrer, como demonstra a tabela a seguir obtida no WOAD - World Offshore Accident Databank:

Tabela 1. Número de ocorrências em todas as unidades do mundo, por tipo de acidente e modo de operação – Período 1980-1997. De acordo com a WOAD (World Offshore Accident Databank)

Tipo de acidente	Tipos de Unidades	
	Todas as unidades móveis	Somente plataformas semissubmersíveis
Colisão	28	10
Contato	116	42

A energia cinética envolvida na ação de colisão de um navio contra uma plataforma deve ser identificada para caracterizar o tipo de choque envolvido. A energia é caracterizada pela massa do navio e por sua velocidade no instante do impacto. Parte da energia cinética deve ser dissipada como energia de deformação na plataforma e, possivelmente, no navio, o que gera grandes deformações plásticas e danos estruturais significativos nos elementos envolvidos.

Segundo Alexandre Pacheco Saraiva (2005), com relação à distribuição da dissipação da energia de deformação, um projeto se dividiria em: Projeto de Resistência; Projeto de Ductilidade e Projeto de Energia Compartilhada, sabendo-se que essa distribuição depende da resistência relativa das duas estruturas, no caso o navio e a plataforma.

O Projeto de Resistência implica que a plataforma marítima seja resistente o suficiente para suportar a força de colisão com mínima deformação, de forma que o navio sofra deformação e dissipe a maior parte da energia.

O Projeto de Ductilidade implica que a plataforma sofra grandes deformações plásticas e dissipe a maior parte da energia de colisão.

O Projeto de Energia Compartilhada implica que ambos, a plataforma e o navio, contribuam significativamente para a dissipação da energia.

O gráfico da Fig.(1) apresenta os conceitos apresentados:

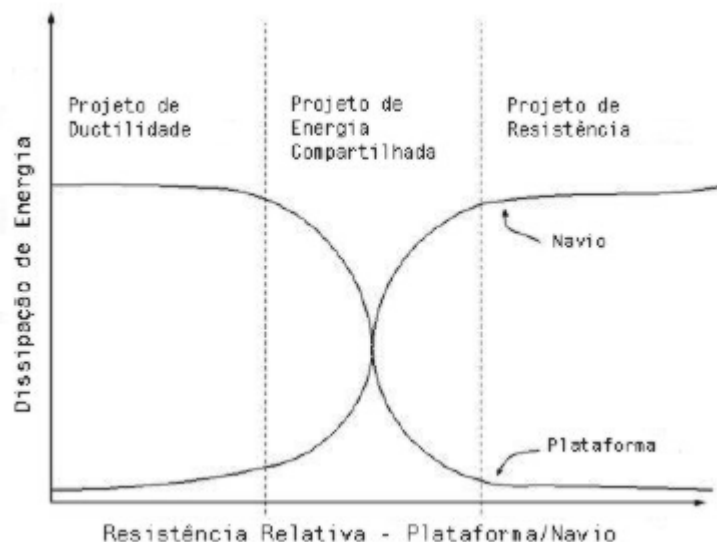


Figura 1. Dissipação de energia para o Projeto de Resistência, de Ductilidade e de Energia Compartilhada.

Do ponto de vista do cálculo, o Projeto de Resistência ou o Projeto de Ductilidade são os mais favoráveis. Nestes casos, a resposta da estrutura de menor rigidez pode ser calculada tomando-se por base as considerações da geometria da estrutura mais rígida. No Projeto de Energia Compartilhada, a magnitude e a distribuição da força de colisão depende da deformação de ambas as estruturas. Esta interação torna a análise mais complexa.

2. METODOLOGIA

Este trabalho apresenta três análises de modelos simplificados de uma caixa em movimento uniforme colidindo com uma placa, ambas de aço, modificando somente a rigidez dos materiais envolvidos (espessura da placa e o tipo de material usado para definir a caixa).

Para isso faremos uso do programa computacional ANSYS que pode ser utilizado nas mais diversas classes de problemas de engenharia. Sua capacidade inclui habilidades para resolver sete tipos de análises estruturais disponíveis (análise estática, modal, harmônica, dinâmica transiente, espectral, de flambagem e dinâmica explícita). Utilizaremos a Análise Dinâmica Explícita, na qual o ANSYS provê uma interface ao LS-DYNA, que é um programa de elementos finitos usado para calcular soluções rápidas para cargas dinâmicas, grandes deformações e complexos problemas de contato.

2.1. Método dos Elementos Finitos (MEF) e sua utilização no ANSYS/LS-DYNA

Até o começo dos anos 90, quase não existia vantagem no procedimento por elementos finitos na análise da colisão de embarcações, quando comparada a outros procedimentos. Isto porque a extensão do modelo de elementos finitos e o tamanho da malha encontravam-se restritos a níveis insatisfatórios, devido à insuficiente capacidade de memória e velocidade da CPU, junto a um custo computacional alto. Devido à evolução paralela da computação, que disponibilizou novos programas e hardware compatível, o Método dos Elementos Finitos (MEF) em simulação de colisão teve grande evolução nos últimos anos.

O modelo tem como objetivo a determinação do estado de tensão e de deformação de um sólido de geometria arbitrária, sujeito às ações exteriores. Para isso utilizam-se como parâmetros as variáveis nodais de um número finito de pontos previamente escolhidos, denominados nós. Uma grande vantagem do MEF é a capacidade de representar detalhes geométricos, materiais da estrutura, assim como aplicação de múltiplos conceitos de projeto.

O Método dos Elementos Finitos basicamente entende a região (contínuo) de solução como pequenos elementos interligados entre si, sendo modelada e discretizada por um conjunto de elementos pré-definidos, podendo ser arranjados em diferentes configurações, possibilitando modelagens bastante complexas. Tal conjunto de condições gera para o projetista bastante flexibilidade na aplicação de cargas e condições de contorno, tornando o método amplamente utilizado nas análises estruturais.

Podemos resumir o MEF essencialmente em três etapas. Assim para a análise de uma estrutura, a maioria dos softwares divide o procedimento em: “Preprocessor”, “Solution” e “Postprocessor”. Na primeira etapa, “Preprocessor”, é feita a modelagem da estrutura, a definição do tipo de elemento estrutural, das constantes características do elemento e do tipo de material relacionado ao mesmo. Ainda nessa etapa são numerados os nós e os elementos. Na segunda etapa, “Solution”, é feita a definição dos tipos de forças atuantes na estrutura e suas condições de apoio e do tipo de análise escolhido. Feita a análise da estrutura, inicia-se a terceira etapa, “Postprocessor”, em que é feita a apresentação dos resultados da análise da etapa anterior. A última etapa depende somente das necessidades do engenheiro que está modelando o problema. Essa etapa pode fornecer dados como: deslocamentos nodais, deformações da geometria, gradientes de tensão.

2.2. Não Linearidade e Colisão

Uma característica que deve ser levada em conta quando se propõe realizar simulações que envolvem colisões é o comportamento não linear do fenômeno. A não linearidade ocorre por várias causas: plasticidade, grandes deslocamentos, grandes rotações, deformações não-infinitesimais e os efeitos derivados do contato e atrito entre chapas. Torna-se um processo complexo que requer o auxílio de sofisticados algoritmos numéricos e de poderosos recursos computacionais.

O impacto é um processo altamente não linear. A não linearidade neste fenômeno acontece não somente por não linearidade geométrica ou do material, mas também por condição de contorno. A faixa de problemas de contato envolve desde o contato sem atrito em pequenos deslocamentos até o contato em condições de grandes deformações inelásticas. Estudaremos o impacto com alto valor de energia associado, denominado colisão, que pode ser caracterizado como um choque com alta velocidade ou um choque com baixa velocidade, mas com grandes massas envolvidas, o que é normalmente o caso dos navios mercantes.

Com o objetivo de descrever a interação entre corpos durante impactos dinâmicos, uma grande quantidade de opções é disponibilizada pelo ANSYS/LS-DYNA. Dentre os tipos de contato encontramos: contato de superfície simples; contato de nós contra superfície; e contato de superfície contra superfície. Neste estudo utilizaremos o tipo de contato superfície simples, que é estabelecido quando a superfície de um corpo entra em contato consigo mesma ou com a superfície de outro corpo. Este tipo de contato é o mais simples de ser definido já que não é necessário definir superfície alvo e a superfície que irá colidir. A maioria das simulações de impacto e colisão necessitam que seja definido o tipo de contato. Além de definir o tipo de contato encontramos diversas opções de contato, dentre elas: contato geral; contato automático; contato rígido; contato “tiebreak”; contato “drawbead”. O contato geral é uma opção que utiliza o mais simples dos algoritmos de contato, porém é utilizada numa ampla faixa de aplicações. A principal vantagem de sua utilização é ser um algoritmo de fácil aplicação e ao mesmo tempo robusto. Quando a superfície de contato é feita de elementos do tipo casca (“Shell”) é necessário orientar a superfície de contato, definindo qual o lado da superfície é considerada sólido e qual é considerada ar. Para elementos sólidos, a orientação é feita automaticamente. Já o contato automático, junto com a família de contato geral, é a opção mais utilizada. Diferencia-se da opção geral pela orientação automática da superfície de contato feita de elementos casca. Portanto, neste trabalho, utilizaremos a opção de contato automática.

3. ESTUDO DE CASO

Neste estudo submetemos um modelo de caixa de grande massa a uma velocidade constante a um teste de impacto com uma placa. A superfície que entra em contato com a placa será uma das faces da caixa, Fig.(3).

Como foi comentado anteriormente, este artigo apresenta três situações:

- Situação 1: usamos uma caixa rígida entrando em contato com a placa não rígida;
- Situação 2: aumentamos a rigidez da placa da situação anterior em 5 vezes e mantivemos as demais condições;
- Situação 3: transformamos a caixa rígida em um material não rígido, com as mesmas propriedades da placa.

3.1. Descrição do modelo

Essa é uma análise dinâmica realizada com o tempo suficiente para a geração dos resultados - 3 segundos e 100 espaços de tempo. A caixa é um cubo que possui dimensões de 3m. A placa é quadrada com lados de 12m. A única força que atua na caixa é a velocidade de 2,0m/s. Os corpos encontram-se a uma distância de 0,2m. A placa é engastada em todas as suas bordas de forma simétrica.

O objetivo da simulação é verificar se ocorrem danos à placa quando o modelo colide contra a superfície, para tal análise escolhemos como parâmetro um dos primeiros nós a sofrer ruptura na situação 1, nó 9331, mostrado na Fig.(3).

3.2. Materiais e propriedades

Foram escolhidos três diferentes tipos de materiais:

Tabela 2. Propriedades dos materiais que compõem o modelo.

Material	Módulo de elasticidade [N/m ²]	Tensão de escoamento [Pa]	Densidade [Kg/m ³]	Coefficiente de Poisson	Crítério de Falha
High Carbon Steel *	207x10 ⁹	207x10 ⁶	7.83x10 ³	0.3	0.16052
High Carbon Steel **	207x10 ⁹	207 x10 ⁶	7.83x10 ⁵	0.3	0.16052
Aço Rígido	207x10 ⁹	-	7.58x10 ⁵	0.3	-

* Aço utilizado na placa nas condições 1, 2 e 3

** Aço utilizado na caixa na condição 3

3.3. Gerando Malha

No modelo foi gerada uma malha mapeada utilizando um elemento do tipo Shell 163 para a placa e para a caixa na condição de teste 3 e um elemento do tipo Solid 164 para a caixa nas condições 1 e 2.

A modelagem da caixa não rígida e da placa é mostrada abaixo. O modelo foi discretizado utilizando um total de 2304 elementos para a placa em todas as condições de análise e 1809 elementos para a caixa, para a condição 3, visto que nos dois primeiros casos, a caixa foi assumida como rígida.

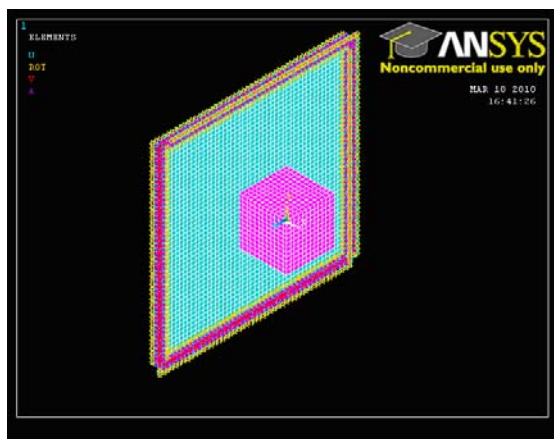


Figura 2. Condição de avaliação 3 após geração de malha.

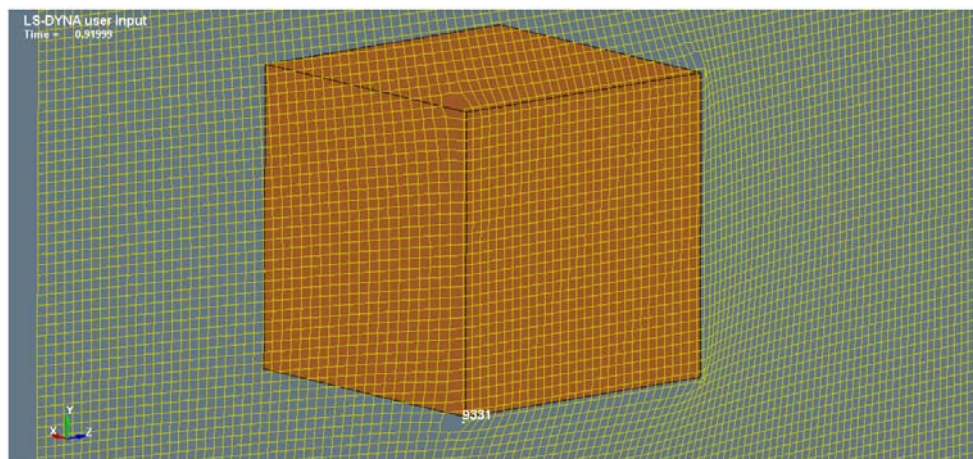


Figura 3. Quatro primeiros nós a sofrer ruptura na situação 1 e nó 9331 escolhido como parâmetro.

4. RESULTADOS

4.1. Condição 1

Nessa condição de análise a placa possui uma espessura de 0,03m. A energia de colisão considerada foi de $40,93 \times 10^6$ J.

Os resultados de deformação e ruptura são mostrados na Fig.(4):

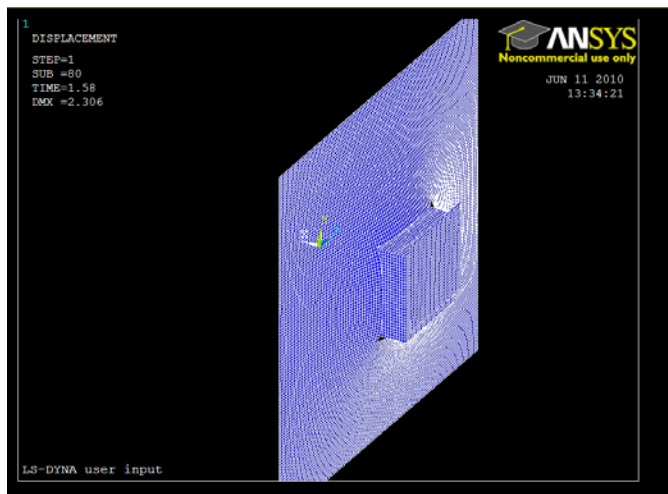


Figura 4. Rompimento da placa pelo bloco rígido.

Os principais resultados estão apresentados nos gráficos das figuras 5, 6 e 7:

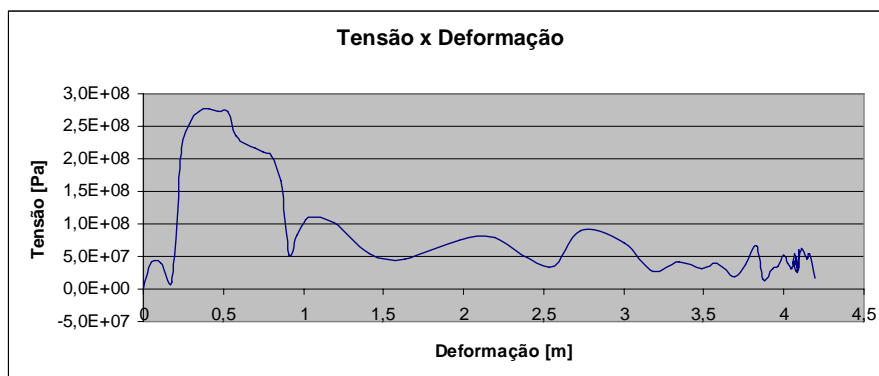


Figura 5. Tensão x deformação do nó 9331.

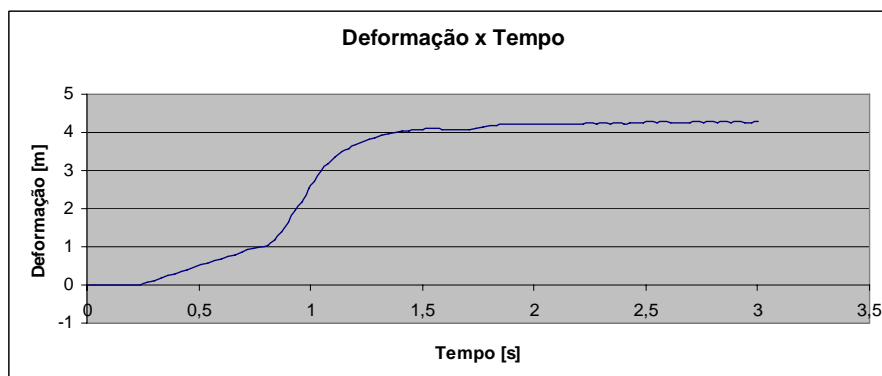


Figura 6. Variação de deformação no tempo do nó 9331.

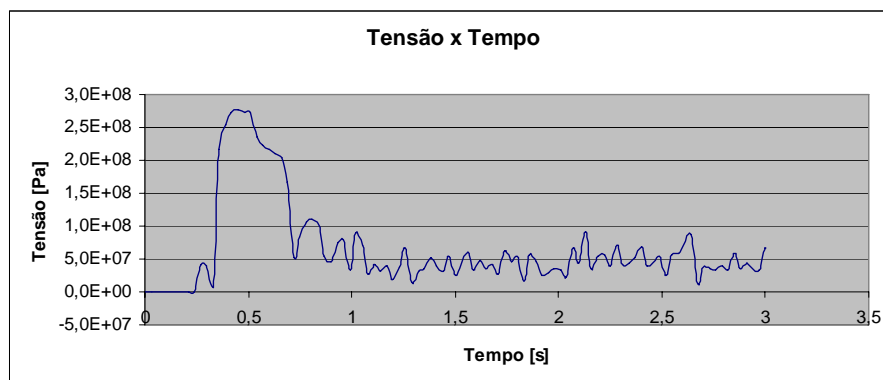


Figura 7. Variação da tensão no tempo do nó 9331.

4.2. Condição de Teste 2

Nessa situação buscamos aumentar a rigidez da placa e como consequência verificamos menos danos causados pela placa rígida. Optamos então por aumentar a espessura da placa (5 vezes: 0,15m).

Analisando a deformação no tempo, pode-se notar que nesse caso não há a ruptura da placa, apesar de a energia do sistema ser a mesma ($40,93 \times 10^6$ J), não atingindo a tensão de ruptura, porém há deformação permanente, visto que as tensões ultrapassam a tensão de escoamento do material Fig.(8):

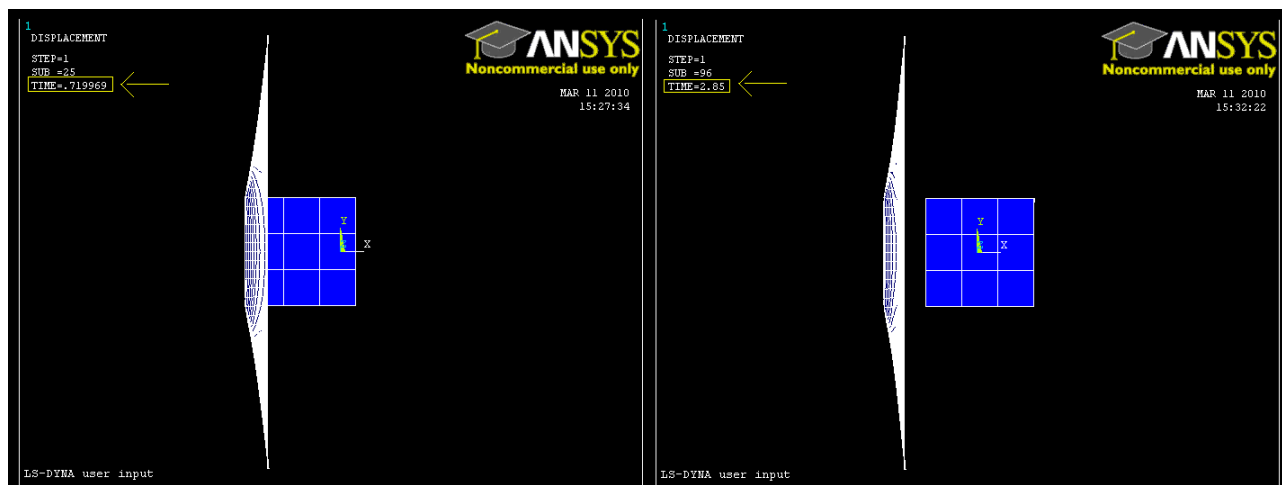


Figura 8. Deformação da placa em dois instantes de tempo diferentes.

Após a simulação também podemos obter os seguintes resultados apresentados nas figuras 9, 10 e 11:

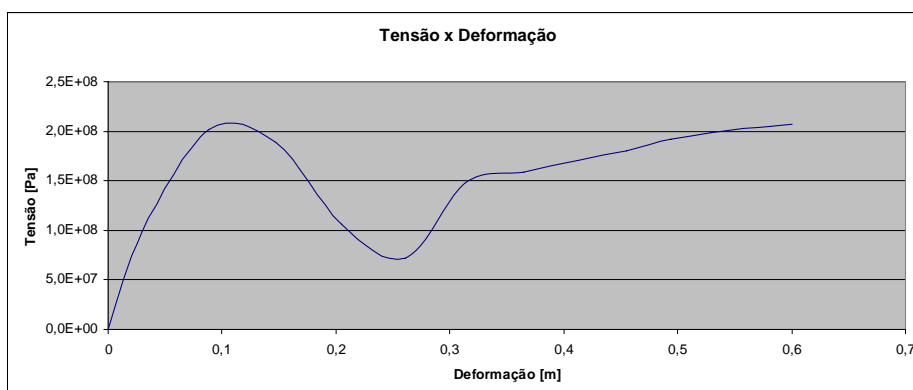


Figura 9. Tensão x deformação do nó 9331.

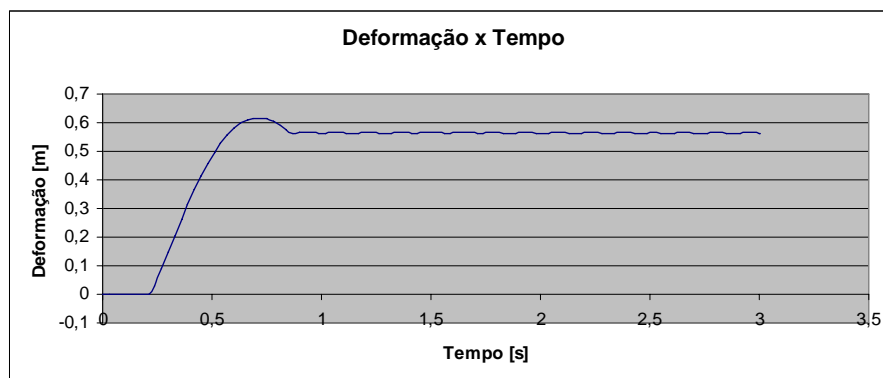


Figura 10. Variação da deformação no tempo do nó 9331.

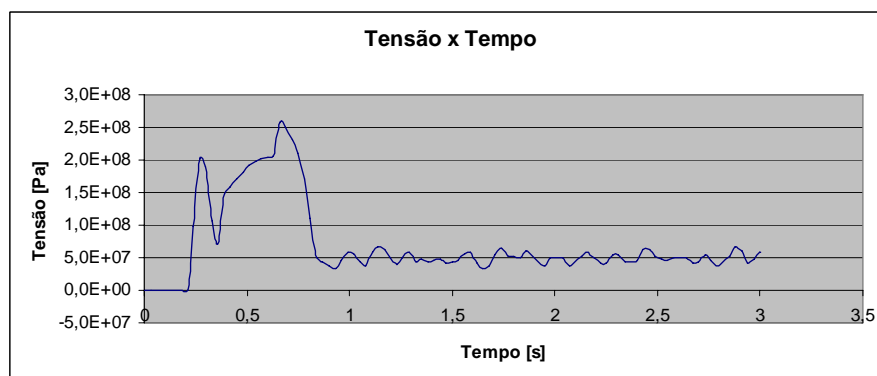


Figura 11. Variação da tensão no tempo do nó 9331.

4.3. Condição de avaliação 3

Nessa condição diminuímos a rigidez da caixa de choque para que haja menos danos causados à placa. Optamos por modificar o material usado para a caixa, que antes era rígida, para um objeto de impacto não rígido com as mesmas propriedades da placa, definidas anteriormente. Sendo assim, a energia gerada pelo movimento da caixa será dissipada tanto para si própria, quanto para a placa após a colisão, ocasionando uma deformação menor na mesma, como mostrado na Fig.(12):

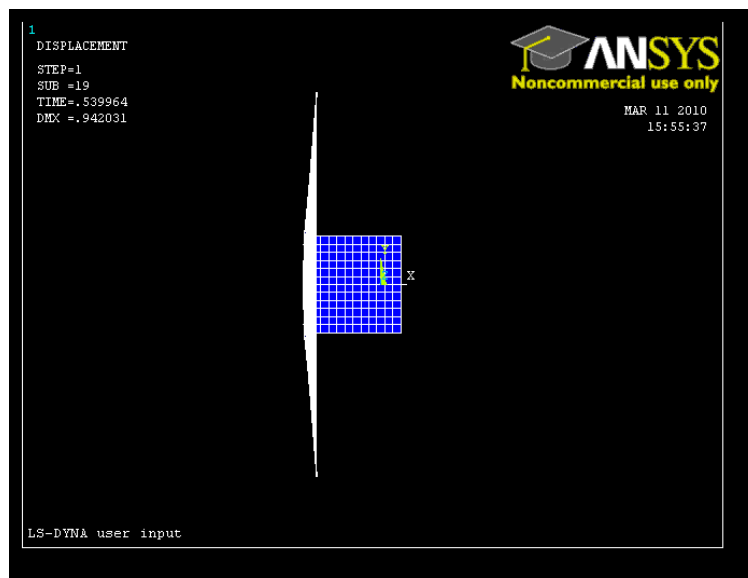


Figura 12. Condição 3 ambos os corpos com deformação.

Após a simulação podemos obter os resultados apresentados nas figuras 13, 14 e 15:

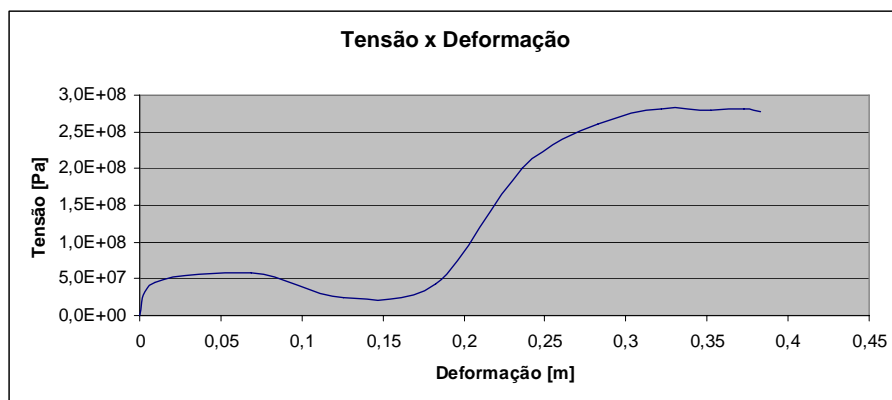


Figura 13. Tensão x deformação do nó 9331.

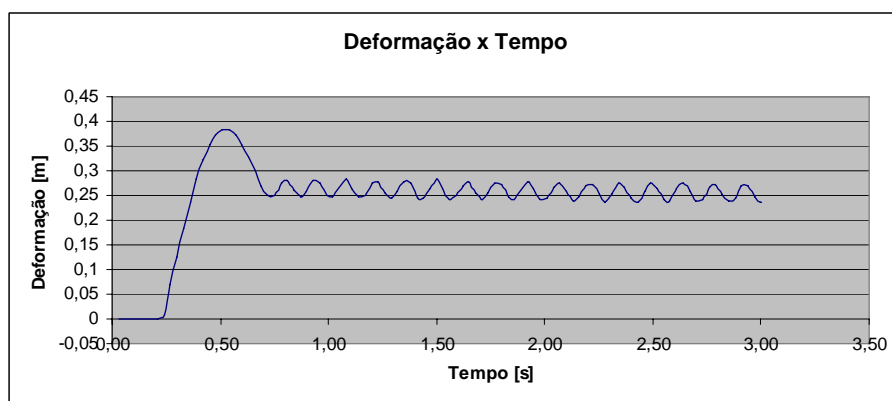


Figura 14. Variação da deformação com o tempo do nó 9331.

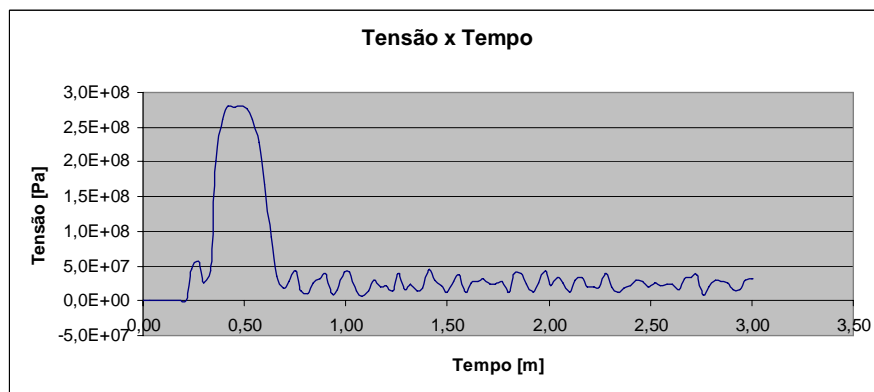


Figura 15. Variação da tensão com o tempo do nó 9331.

5. CONCLUSÕES

Nos três casos estudados, o comportamento da variação tensão-deformação foi próximo ao esperado:

- No primeiro caso, após a tensão de ruptura ser atingida, $2,78 \times 10^8$ Pa, há tanto uma ruptura completa da placa quanto um decaimento da tensão.
- No segundo caso, a energia transmitida à placa não foi suficiente para gerar a tensão última, havendo apenas uma deformação plástica, fato compatível ao aumento da rigidez do objeto colidido
- Para a condição três, há um comportamento próximo ao da condição dois, apresentando uma deformação permanente na placa. Onde, apesar da menor rigidez, não está sendo atingida por um objeto rígido.

Apesar dos resultados mostrarem-se coerentes, há necessidade primordial de uma análise experimental com o objetivo de melhorar o entendimento dos modelos numéricos para representar o comportamento dos corpos envolvidos em colisão.

6. AGRADECIMENTOS

Ao Engenheiro Jorge Luis Martinez Fernandez, pelas oportunas sugestões e contribuições dadas a esse trabalho.

7. REFERÊNCIAS

- Sánchez, C.A.A., 2001, “Estudo de Impacto usando Elementos Finitos e Análise Não Linear”, Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- Saraiva, A.P., 2005, “Integridade Estrutural de Coluna de Plataforma Semi-submersível, sujeita a Colisões de Embarcações”, tese submetida ao corpo docente da coordenação da Coppe/UFRJ.
- Tutorial do Ansys 12.0
- World Offshore Accident Databank (WOAD), edição 1998.

8. DIREITOS AUTORAIS

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

IMPACT STUDY IN MARINE STRUCTURES USING NON-LINEAR ANALYSIS AND FINITE ELEMENT MODEL

Tianna Bloise Thomaz, tiannabloise@poli.ufrj.br
Wellington Carpenter Bahia Onofre, carpenter@poli.ufrj.br
José Marcio do Amaral Vasconcellos, jmarcio@peno.coppe.ufrj.br

¹UFRJ, Centro de Tecnologia - Bloco I/Sala 205- LabECO - Cidade Universitária - Ilha do Fundão - Rio de Janeiro/RJ

²Coppe/UFRJ, Programa de Engenharia Naval e Oceânica, 21941-972 - Rio de Janeiro – RJ

Abstract: *The structures designed for large ships are very complex and when subjected to an impact such as collision, their pattern of deformation is also presented with a complex solution. The study of structures subjected to impacts can be classified into two types: those with low energy level called contact and those with high energy level. This article focuses its attention in the second case and this can be characterized as a clash with high-speed impact or a shock at low speed, but large masses involved, what is usually the case of merchant ships. The numerical treatment of the impact assessments has been advancing dramatically due to increased computer power (speed and memory) and the improvement of numerical models of analysis. The assessment that has been the most consistent dynamic analysis is the explicit non-linear for the determination of large deformations. This study aims to analyze an impact on marine structures, using a simulation package called ANSYS/LS-DYNA, which uses as a tool for FINITE ELEMENT MODELING. We will study the explicit dynamic analysis for non-linear inelastic and rigid materials, which determines the response of the structure - displacement/strain - ranging in time. It examines simplified models of container in free fall and also in uniform motion colliding plates, always trying conditions of large deformation inelastic. Another goal is to further compare these results with those obtained experimentally in test shock.*

Keywords: *Finite element method, Impact test, Non-linear problems*