

ANDRÉ DE ÁVILA BORGES

MODELAGEM NUMÉRICA DE DIFERENTES SITUAÇÕES DE
ACOPLAMENTO PARA UM SISTEMA EMPURRADOR-BARCAÇA

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Orientadores: Prof. Dr. Ignacio Iturrioz
Prof. M.Sc. André Schaan Casagrande

Porto Alegre
2010



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

**MODELAGEM NUMÉRICA DE DIFERENTES SITUAÇÕES DE ACOPLAMENTO
PARA UM SISTEMA EMPURRADOR-BARCAÇA**

ANDRÉ DE ÁVILA BORGES

**ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS RE-
QUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
ENGENHEIRO(A) MECÂNICO(A)
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**Prof. Walter Jesus Paucar Casas
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica**

BANCA EXAMINADORA:

**Prof. Dr. EDSON HIKARO ASEKA
UFRGS / DEMEC**

**Prof. Dr. JUN SÉRGIO ONO FONSECA
UFRGS / DEMEC**

**Prof.^a Dra. LETÍCIA FLECK FADEL MIGUEL
UFRGS / DEMEC**

**Porto Alegre
2010**

de modo especial, aos meus pais, que sempre estiveram ao meu lado, e jamais mediram esforços para que eu realizasse o meu sonho.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por estar sempre presente, iluminando meus caminhos, e por me dar força e coragem para encarar os desafios da vida.

À minha Mãe, Neiva, meu maior orgulho, minha maior força, por confiar em mim, acreditar no meu sucesso, por fazer todo e qualquer sacrifício para me manter longe de casa, estudando, pela confiança, amizade, pelo amor incondicional, carinho, apoio.

Ao meu Pai, Germano, o legítimo “Borjão”, quem me orgulho muito, por me incentivar a seguir os estudos, pelos conselhos, pelas palavras, conversas nos momentos ruins, pela ajuda nos estudos, e por toda sabedoria.

Ao meu amigo, Marcos “Cois”, por tudo o que representa na minha vida, no carinho, no amor, nas brincadeiras, na amizade, parceria, na educação, nos estudos, por deixar de lado a si para me ajudar.

À minha namorada, Ana, que desde o início esteve ao meu lado, apoiando-me em todas as minhas dificuldades, pelo companheirismo, carinho, amor, pela amizade, atenção, compreensão.

Aos meus familiares, que sem dúvida alguma são a razão deste sonho ter se tornado realidade.

Aos meus amigos, que de certa forma também fizeram parte desta conquista.

Ao meu orientador, Ignacio Iturrioz, pelos ensinamentos, pela confiança, amizade, e pela provocação e desafio propostos neste trabalho.

Ao amigo, André Schaan Casagrande, pelas oportunidades desde o início da faculdade, por todas as conversas, conselhos, principalmente por acreditar em mim, e me mostrar os caminhos que venho traçando na minha formação.

À amiga, Roberta Perini, peça fundamental na minha formação, por ter estado sempre ao meu lado, nos dias e noites em claro de estudo, pela paciência, por estar sempre disposta a me ajudar, sobretudo pela amizade e, principalmente, por me aturar por esses longos anos.

Ao meu grande amigo, Welder Boeno, por todos os momentos de estudo, pelos obstáculos enfrentados, vitórias conquistadas, pelas conversas nas longas viagens para o Campus do Vale, e por tudo que aprontamos na faculdade.

Ao Engenheiro Adriano Kuckoski, por toda a ajuda na parte de simulação numérica, fundamental para a realização deste trabalho.

Aos professores e colegas de curso, pelos anos de convivência, amizade, e por todos os momentos em que estudamos juntos, que muito complementaram minha formação, pessoal e profissional.

Às empresas nas quais estagiei, EIDT Ciriex e TMSA, pela oportunidade e por contribuírem para a minha formação.

Este trabalho contou com apoio das seguintes entidades:

- Aliança Navegação e Logística Ltda.
- Grupo de Mecânica Aplicada (GMAp/UFRGS)

“O pessimista reclama do vento, o otimista
espera que ele mude, o realista ajusta as velas.”

Willian George Ward

BORGES, A. Á. Modelagem Numérica de Diferentes Situações de Acoplamento para um Sistema Empurrador-Barcaça. 2010. 20f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

RESUMO

O tema proposto neste trabalho está inserido em um campo, o qual vem ganhando importância no Brasil nos últimos anos, que é a Área Naval. De acordo com a motivação apresentada, o objetivo é avaliar o desempenho estrutural de diferentes conceitos de acoplamento – o sistema articulado e o sistema integrado – entre duas embarcações, representadas pelo empurrador Trevo I e pela barcaça Aliança II, ambas pertencentes à empresa Aliança Navegação e Logística Ltda. As embarcações navegam na Bacia do Sudeste operando no transporte de carvão entre Charqueadas e o Pólo Petroquímico em Triunfo. Para isso, propõe-se criar modelos em elementos finitos do empurrador e da barcaça, com um grau de detalhe maior na região onde ocorre o acoplamento entre ambas as embarcações. Em seguida, calibram-se os mesmos, é apresentada uma metodologia de estudo a ser aplicada aos modelos, e, por último, comparam-se os resultados entre as duas alternativas em relação ao nível de tensões. A modelagem numérica chegou à melhor proposta para o sistema de acoplamento.

PALAVRAS-CHAVES: Acoplamento, Empurrador, Barcaça, Sistema articulado, Sistema integrado, Área naval, Modelagem numérica.

BORGES, A. Á. Numerical Modeling of Different Coupling Situations to a Pusher-Barge System. 2010. 20f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

ABSTRACT

The theme in this monograph is embedded in a field, which is gaining importance in Brazil in the last few years, which is the Shipbuilding Industry. According to the motivation presented, the goal is to evaluate the structural performance of different concepts of coupling – the articulated system and the integrated system – between two vessels, represented by the pusher Trevo One and the barge Aliança Two, both belonging to the company Aliança Navegação & Logística Ltda. The vessels travel in the southeast basin and work in the carriage of coal between Charqueadas and Petrochemical Complex at Triunfo. It is proposed to create finite element models of the pusher and the barge, in greater detail in the region where coupling occurs between both vessels. Then, to calibrate them, it is presented a study methodology to be applied to the models, and, finally, the results are compared between the two alternatives based on the level of stress. The numerical modeling has reached the best proposal for the coupling system.

KEYWORDS: Coupling, Pusher, Barge, Articulated system, Integrated system, Shipbuilding industry, Numerical modeling.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
4. METODOLOGIA	5
5. OBJETO DE ESTUDO	7
5.1. Modelo físico	7
5.2. Modelo numérico	8
6. RESULTADOS	12
7. CONCLUSÕES	14
REFERÊNCIAS	15
ANEXO A – DADOS DE PROJETO DAS EMBARCAÇÕES	17
ANEXO B – NOMENCLATURA NAVAL	18
ANEXO C – PEÇAS PRINCIPAIS DA ESTRUTURA DOS CASCOS METÁLICOS	19

1. INTRODUÇÃO

O tema abordado está relacionado com o sensível aumento na importância do desenvolvimento de tecnologia na indústria naval que tem ocorrido no Brasil nos últimos anos. Muitos aspectos relativos a esta área estão relacionados com as habilidades e competências dos engenheiros mecânicos, abrindo o campo de atuação dessa classe. A Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) não possui cursos de graduação nem pós-graduação vinculados diretamente à engenharia naval, mas iniciou, dentro do Grupo de Mecânica Aplicada (GMAp), estudos relacionados à área a partir de um projeto FINEP (Fundo Setorial Aquaviário), os quais permitiram e estimularam o interesse deste autor no setor. Além disso, aliado à demanda latente de recursos humanos regionais, há uma bacia hidrográfica (Bacia do Sudeste – RS) carente de desenvolvimento e de tecnologias, vindo de encontro às possibilidades de fomento oferecidas pelas agências do governo, revelando-se um interessante e excelente nicho de desenvolvimento acadêmico e profissional.

De acordo com essa ideia, o GMAp tem trabalhado nos últimos 4 anos na direção de estudar e propor soluções vinculadas com a Área Naval, em particular para serem aplicadas na Bacia do Sudeste (região da Lagoa dos Patos e rios próximos). O projeto atual contemplado na FINEP, já em fase de assinatura de contrato, intitulado “Projeto e construção de um sistema de acoplamento mecânico entre embarcações de navegação interior para situações especiais de navegação”, tem por objetivo geral desenvolver um projeto, construir, instalar e monitorar um protótipo de um sistema de acoplamento mecânico dedicado a embarcações de navegação interior¹ (GMAp, 2010). Está aí a principal justificativa do presente trabalho, cuja vinculação ao projeto é óbvia e trará resultados diretamente utilizados posteriormente.

Objetivos: Em sintonia com a motivação apresentada, o objetivo geral deste trabalho é avaliar o desempenho estrutural do acoplamento entre duas embarcações, sendo elas: o empurrador Trevo I e a barça Aliança II, ambas pertencentes à empresa Aliança Navegação e Logística Ltda., que navegam na Bacia do Sudeste operando no transporte de carvão entre Charqueadas e o Pólo Petroquímico em Triunfo.

Os objetivos específicos desse estudo são:

- Criar os modelos em elementos finitos do empurrador e da barça com um grau de detalhe maior na região onde ocorre o acoplamento entre ambas as embarcações;
- Calibrar ambos os modelos em situações de trabalho simples;
- Comparar resultados entre duas alternativas conceituais de acoplamento propostas (a comparação será realizada em termos de tensões, deslocamentos e reações na região do acoplamento).

Estrutura do Trabalho: A estrutura do presente trabalho está dividida da seguinte forma: o Capítulo 1 apresenta a introdução; o Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica sobre os tipos de acoplamento; o Capítulo 3 apresenta os fundamentos teóricos; o Capítulo 4 descreve as ferramentas empregadas; o Capítulo 5 descreve as características geométricas do empurrador e da barça, e como os mesmos foram modelados numericamente; o Capítulo 6 apresenta os resultados e a discussão dos mesmos; e o Capítulo 7 apresenta as conclusões e sugere possíveis continuidades de estudo.

¹ Navegação interior: A realizada em hidrovias interiores, assim considerados rios.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A utilização de comboios é muito difundida em meios fluviais (COPINAVAL, 1998). O modelo tradicional emprega uma unidade propulsora (empurrador) e diversas unidades não propulsadas (barcaças), número dependente das condições e restrições de navegação locais.

Embora essa modalidade de transporte aquaviário esteja em operação há muitos anos na navegação interior devido à versatilidade dos comboios no transporte de cargas, principalmente no rio Mississipi, as primeiras versões para meios oceânicos apareceram na década de 70, numa apresentação particular com apenas um empurrador e uma barcaça. A partir daí o conjunto começou a ser usado em larga escala, sendo o modelo adotado no presente trabalho. Porém, para contornar os problemas encontrados em condições adversas de navegação, sistemas especiais de vinculação entre empurrador e barcaça começaram a ser desenvolvidos, chamados de sistemas de acoplamento. Os primeiros sistemas foram empregados no Japão e nos Estados Unidos onde, no ano de 1973, já existiam 17 unidades em operação (DIDONÉ, 2008).

Os Sistemas de Acoplamento atualmente estão divididos em três categorias, definidas pelas gerações de cada um, de acordo com Leeuwen (2008).

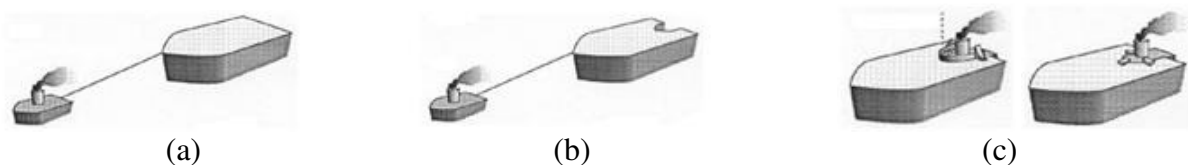


Figura 2.1 – Evolução dos Sistemas de Acoplamento (Fonte: WRIGHT, 2000)

O primeiro sistema de acoplamento utilizado foi o chamado Sistema de Primeira Geração, no qual o acoplamento entre a barcaça e o empurrador é realizado através de cabos, como se observa na Figura 2.1(a).

Os Sistemas de Segunda Geração são concebidos de tal forma que haja uma conformação da popa da barcaça e a proa do empurrador, conforme a Figura 2.1(b). Em seguida apareceram as conexões mecânicas, os chamados Sistemas de Terceira Geração, apresentados na Figura 2.1(c), que estão subdivididos em dois grupos: sistemas com uniões articuladas (ATB – *Articulated Tug and Barge*) e sistemas integrados ou rígidos (ITB – *Integrated Tug and Barge*). Essa diferença se ilustra na Figura 2.2.

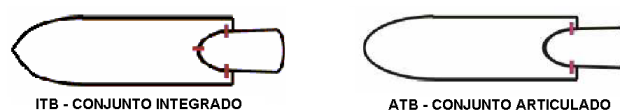


Figura 2.2 – Sistemas de Terceira Geração (Fonte: TAISEI ENGINEERING CONSULTANTS, 1991)

Observações sobre os tipos de acoplamentos pesquisados: Os Sistemas de Primeira Geração apresentam fixação por cabos que prendem a barcaça ao empurrador. Para realizar o acoplamento são necessários os seguintes itens: paraquinhos, cabos e cabeços. Ao total são empregados seis cabos: quatro cabos de polietileno ou de cânhamo e dois cabos de aço. Os cabos são fixados na região central do conjunto e nos bordos. Na Figura 2.3 são apresentados alguns exemplos desse tipo de acoplamento.



Figura 2.3 – Conjunto Empurrador-Barcaça acoplado através de cabos.

Muito embora o objetivo seja restringir os movimentos relativos entre as embarcações, dificilmente todos os graus de liberdades existentes são extintos. Esse fato se agrava na ação de ventos fortes e ondas com altura que podem chegar a 2m de altura (TOLDO et al., 2006), que um número não pequeno de vezes há o rompimento dos cabos, e a conseqüente separação entre o conjunto. Esse sistema é indicado para navegação em regiões que não estejam sob a influência de ventos ou ondas.

Os sistemas com uniões articuladas ATB (Terceira Geração) permitem apenas um grau de liberdade entre o empurrador e a barcaça, o de giro no sentido longitudinal do conjunto (rotação em torno do eixo X). Na Figura 2.4 apresentam-se um esquema do funcionamento e um exemplo desse tipo de acoplamento.



Figura 2.4 – Acoplamento articulado. (Fonte: TAISEI ENGINEERING CONSULTANTS, 1991)

Destacam-se nesse grupo três sistemas:

Artubar: apresentado na Figura 2.4. Possui apenas um grau de liberdade, o de giro no sentido longitudinal do conjunto empurrador-barcaça. O acoplamento entre a proa do empurrador e a popa da barcaça ocorre através de dois pinos de grande diâmetro, variando entre 1m e 2m.

Articouple: possui três especificações diferentes, quais sejam: cremalheira (K), fricção (F) e sistema combinado de fricção e cremalheira (FR). Ele está ilustrado na Figura 2.5(a). Esse acoplamento foi desenvolvido tendo em vista solucionar os problemas que o conceito Artubar apresentava. A grande diferença nesse sistema está no fato de ele permitir o acoplamento em qualquer situação de calado das embarcações. O Articouple F possui o funcionamento baseado no princípio do atrito. Permite que as operações de carga e descarga sejam realizadas sem que haja necessidade do desacoplamento, entretanto, necessitam de manutenção com certa frequência, pois utilizam elementos que desgastam ao longo do tempo. Os acoplamentos que envolvem componentes F possuem limitações de tamanho e são indicados para embarcações que operem em condições de navegação com ondas não superiores a 3,5m de altura.

Intercon: apresentado na Figura 2.5(b). Foi desenvolvido para solucionar problemas dos sistemas citados anteriormente. Permite, como nos outros sistemas, apenas um grau de liberdade, o de giro no sentido longitudinal do conjunto empurrador-barcaça. Todos os outros movimentos são restringidos. Nas paredes de bombordo e boreste da popa da barcaça existe uma cremalheira no sentido vertical, que tem como principal objetivo restringir o movimento relativo vertical entre barcaça e empurrador. A cremalheira possui um ângulo de abertura, que facilita

o processo de acoplamento. A castanha também possui um ângulo, que facilita o posicionamento para o acoplamento na cremalheira.

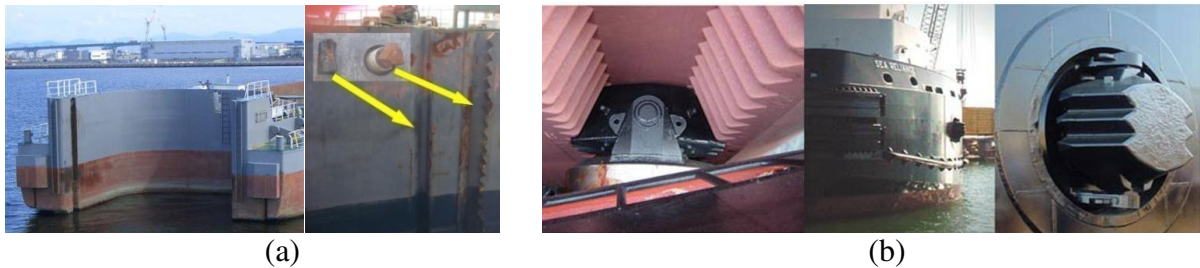


Figura 2.5 – Sistemas de Terceira Geração, (a) Articouple e (b) Intercon (Fonte: TAISEI ENGINEERING CONSULTANTS, 1991)

Ainda na Terceira Geração, existe o Sistema Triofix, considerado como sistema integrado ou rígido (ITB). Nele o acoplamento é realizado através de três pontos, e foi desenvolvido pelo Engenheiro T. Yamaguchi, da empresa Taisei Engineering Consultants. Está disponível em três especificações diferentes: Cremalheira – TK (para grandes unidades), Cremalheira – TR (para pequenas unidades), Combinado Fricção e Cremalheira – TRF. Um exemplo pode ser visto na Figura 2.6.



Figura 2.6: Barça com Sistema Triofix.

Quarta Geração de Acoplamentos: Por não se enquadrarem diretamente nas gerações definidas, alguns tipos de acoplamentos podem ser inseridos num tópico a parte. O conceito de sistema biarticulado idealizado no projeto FINEP é um deles, onde semelhante ao de terceira geração (ATB), porém com um grau de liberdade a mais, as embarcações são vinculadas.

Além desse, um sistema encontrado em funcionamento para condições semelhantes às da navegação daqui chamou a atenção e também não se enquadra diretamente nos anteriores. Trata-se de uma vinculação por meio de “clipes” e defensas de borracha, a qual grampeia uma embarcação na outra fazendo com que o próprio casco transmita os esforços. Trata-se do sistema chamado *Dyna-Cliq Coupling System*, proposto pela empresa alemã Van der Velden Marine Systems. A Figura 2.7 ilustra o dispositivo.



Figura 2.7: Sistema de acoplamento *Dyna-Cliq* (Fonte: www.vandervelden-marinesystems.com)

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esclarecimentos sobre Esforços Atuantes nos Cascos das Embarcações: Para o estudo de sua estrutura, o navio pode ser considerado uma viga, uma caixa, ou peça composta de muitas pequenas vigas unidas – a resistência como um todo depende da eficiência de todas as peças elementares. O navio será apenas tão forte quanto for o seu componente mais fraco. Um navio flutuando é submetido a esforços primários (tensões longitudinais), e secundários (carga e ou pressão interna, coluna hidrostática lateral, etc.). Considerando o navio uma viga em forma de caixa, a aba superior da viga será o convés resistente (normalmente o convés superior), e a aba inferior será o fundo. Os esforços que surgem quando o navio está sobre uma crista (alquebramento) ou em um cavado (tosamento) de onda são ilustrados na figura a seguir:

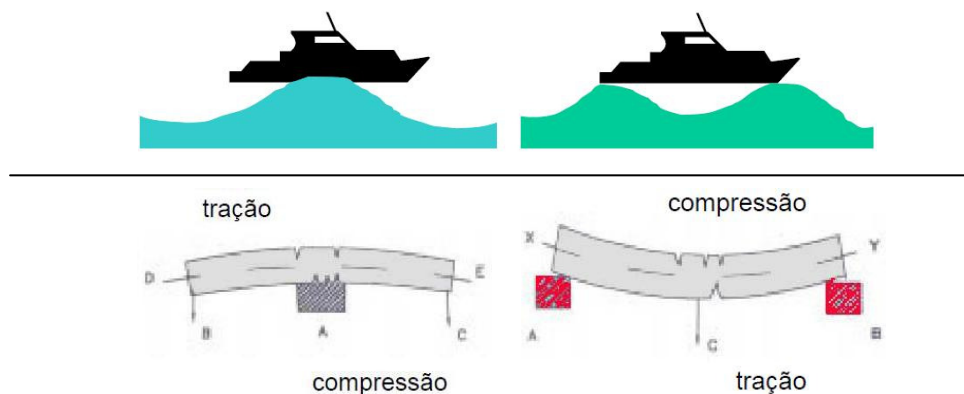


Figura 3.1 – Comportamento de um navio como uma viga (Fonte: FONSECA, 1989)

Além dos esforços citados, sobre embarcações em formação de comboio, quando acopladas com sistemas mecânicos específicos, incidem outros esforços. Esses devem ser igualmente considerados pelos projetistas, pois alteram significativamente a distribuição de esforços primários da viga navio.

Algumas dessas solicitações externas às embarcações, todas elas resultantes da interação entre as embarcações do sistema, são enunciadas a seguir: empurre, frenagem, manobras, curvas, ventos, correnteza, ondas de través, e, ainda, devido ao tipo de articulação.

Esses esforços são de difícil quantificação e dependem de inúmeros parâmetros desde geométricos das embarcações (coeficientes de bloco, comprimento, boca, calado, porte) até relacionados às condições de navegação (ondas, ventos, velocidade, curvas, correntezas, etc.), e serão objeto do projeto proposto à FINEP. Nesse aspecto, análises criteriosas de combinações deverão ser levadas em conta.

4. METODOLOGIA

Sistema Ansys: Nos modelos realizados foi utilizado o *software* Ansys (v.10). O mesmo permite a modelagem em elementos finitos para resolver numericamente uma grande variedade de problemas mecânicos. Esses problemas incluem: análise estrutural estática e dinâmica (ambas lineares e não-lineares), de transferência de calor, e problemas de fluidos, bem como os problemas acústicos e eletromagnéticos.

Para o estudo em questão foram utilizados no Ansys (v.10) três tipos de elementos para a solução estática dos modelos: *beam188*, *shell63* e *link1* (ANSYS, 2004).

O elemento *beam188* é um elemento de viga 3-D linear (2-nós) ou quadrático. Tem seis ou sete graus de liberdade em cada nó. Esses incluem as translações nas direções x, y, e z e as rotações nas direções x, y, e z. Permite um sétimo grau de liberdade, relativo ao grau de

empenamento. É baseado na Teoria de Timoshenko, na qual efeitos de deformação de cisalhamento estão inclusos.

O elemento *shell63* é mais adequado à análise em cascas finas por desconsiderar efeitos de cisalhamento no plano transversal ao do plano da casca. Ambos os carregamentos normais ou no plano são permitidos. O elemento tem seis graus de liberdade em cada nó, as translações nodais nas direções x, y, e z e as rotações sob os eixos nodais x, y, e z.

O elemento *link1* pode ser usado em grande variedade de aplicações de engenharia. O elemento de barra 2-D é um elemento uniaxial, submetido aos esforços de tração/compressão, com dois graus de liberdade em cada nó, as translações nas direções x e y.

Método da Fundação Elástica: O método utilizado para aplicação das condições de contorno nos modelos numéricos considera que as embarcações estejam apoiadas em uma fundação elástica, como mostra a Figura 4.1. Essa metodologia é sugerida por Dimarogonas (1996).

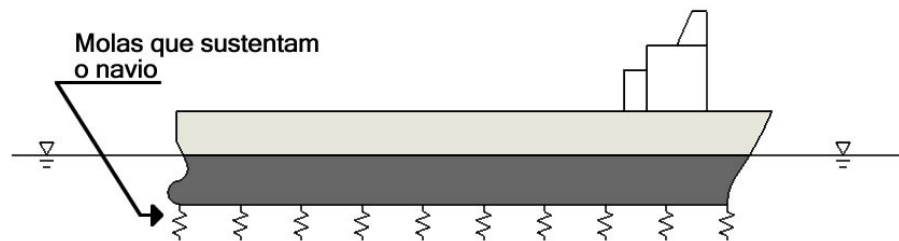


Figura 4.1 – Representação da sustentação de um navio na água (Fonte: DIMAROGONAS, 1996)

Utilizando o modelo de casca e o de viga (caso da viga-navio), aplicaram-se molas com rigidez equivalente a da fundação elástica. Basicamente, a rigidez de cada mola é igual à força de empuxo atuando sobre cada caverna da embarcação.

Considerando a massa de água como fundação elástica, a rigidez da mola, em N/m, para a reação da água ao movimento vertical é dada por:

$$k_f = Ag\rho_w \quad (1)$$

onde ρ_w é a densidade da água (considerada 1000kg/m^3 à temperatura de 20°C), $A=bl$ é a área da seção transversal horizontal, em m^2 , g é a constante da gravidade (considerada 10m/s^2), b é a largura do navio, e l é o comprimento do navio, ambos em m.

A equação (1) leva em consideração a embarcação, isto é, seu casco, apoiado de forma contínua, ou seja, toda a sua área em contato com a água. Nas considerações que serão descritas posteriormente, as molas serão dispostas sob os modelos ao longo de suas cavernas, as quais apresentam espaçamento constante. Com isso, deduz-se a equação por unidade de comprimento ao longo do navio, em que se utiliza como área de influência de cada mola o espaçamento entre cavernas. A equação fica

$$\frac{k_f}{l} = bg\rho_w \quad (2)$$

Fazendo o produto desta equação pela distância correspondente ao espaçamento entre cavernas δ , em metro, obtém-se a rigidez para cada mola que atua em uma região equivalente à disposta entre duas cavernas consecutivas, isto é,

$$\frac{k_f}{l} \delta = k_f' \quad (3)$$

Para representar as molas no modelo numérico utiliza-se o elemento *link1*. Como a rigidez desse elemento é regida pela equação (4), ele tem um módulo de elasticidade específico

$$K = \frac{EA}{L} \quad (4)$$

onde K é a rigidez do elemento, em N/m, E é o módulo de elasticidade longitudinal, em N/m², A é a área da seção transversal, em m², e L é o comprimento da barra, em m.

Considerando as barras representantes das molas com comprimento e área da seção transversal unitárias, o módulo de elasticidade se torna diretamente proporcional a rigidez da mola, determinada pela equação (3), que é dada por:

$$E = bg\rho_w\delta \quad (5)$$

5. OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo deste trabalho são duas embarcações que constituem o sistema empurrador-barcaça.

5.1. Modelo físico

A barcaça, chamada Aliança II, é uma embarcação não propulsada, responsável pelo serviço de transporte de carga. Já o empurrador, chamado Trevo I, é uma unidade propulsora, e tem a tarefa de acoplar na barcaça com o intuito de empurrá-la (no Anexo A são apresentadas as características principais dessas embarcações).

Esse sistema navega na Baía do Sudeste, operando no transporte de carvão entre Charqueadas e o Pólo Petroquímico em Triunfo. As embarcações pertencem à empresa Aliança Navegação e Logística Ltda., a qual atua fortemente no tráfego internacional. A Figura 5.1 ilustra as duas embarcações.

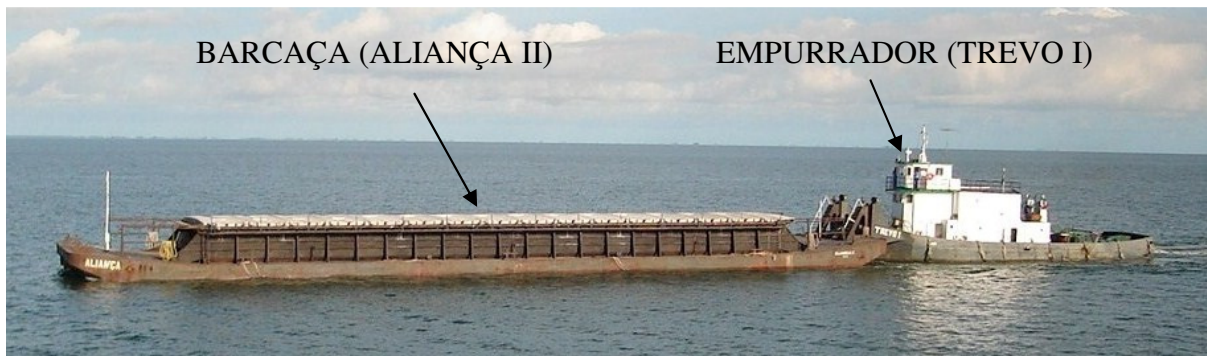


Figura 5.1: Embarcações do sistema empurrador-barcaça, Trevo I e Aliança II.

O tipo de acoplamento utilizado nessas embarcações está inserido no Sistema de Primeira Geração, no qual o acoplamento entre a barcaça e o empurrador é realizado através de cabos, seguindo o mesmo procedimento descrito no Capítulo 2.

5.2. Modelo numérico

A Empresa Aliança, em parceria com o GMAP na realização do projeto Acopla2011, forneceu todos os planos² (NAVEGAÇÃO ALIANÇA LTDA, 1993a, 1993b, 1993c, 2002a, 2002b, 2002c, 2003, 2007) das embarcações objetos de estudo deste trabalho. A partir desses e através de fotos os modelos numéricos foram construídos no *software* Ansys (v.10). O objetivo da análise numérica foi avaliar o nível de esforços em ambas as embarcações, levando-se em consideração os diferentes conceitos de acoplamento entre elas. Como o acoplamento ocorre entre a proa do empurrador e a popa da barça, optou-se por um modelo mais detalhado, considerando todos os elementos estruturais, apenas nessas regiões. O restante da embarcação foi modelada com elementos de viga. A Figura 5.2 mostra a popa da barça e a proa do empurrador, com algumas cavernas iniciais.

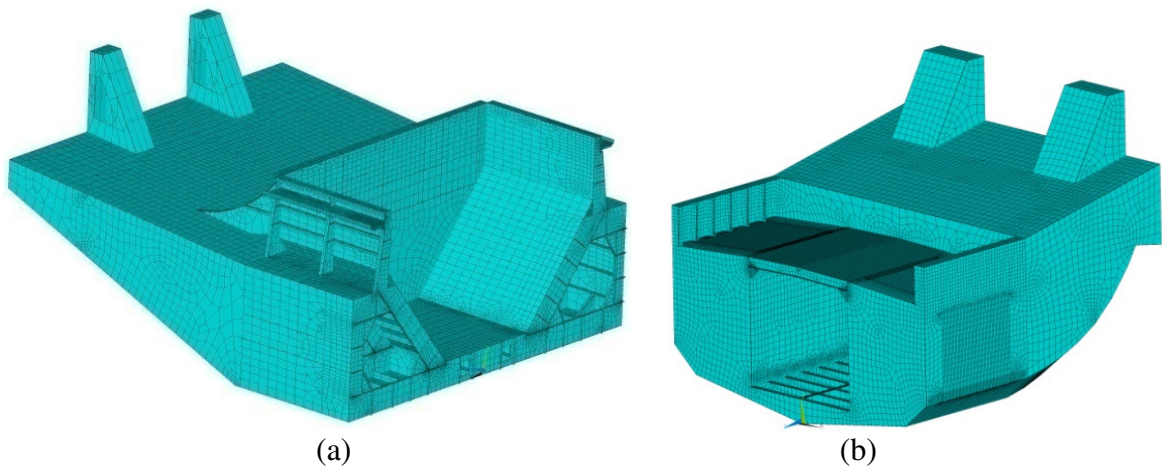


Figura 5.2 – Modelo de cascas e viga para (a) popa barça e (b) proa empurrador.

Para definir a seção transversal da região modelada como viga, a mesma foi desenhada no *software* Solidworks (v.2009). A partir daí, obtiveram-se as propriedades (centróide, momentos de inércia de área, área da seção transversal), necessárias aos elementos de viga. A Figura 5.3 mostra as dimensões gerais e os valores para as propriedades geométricas, em relação ao seu centróide, para a seção transversal da barça.

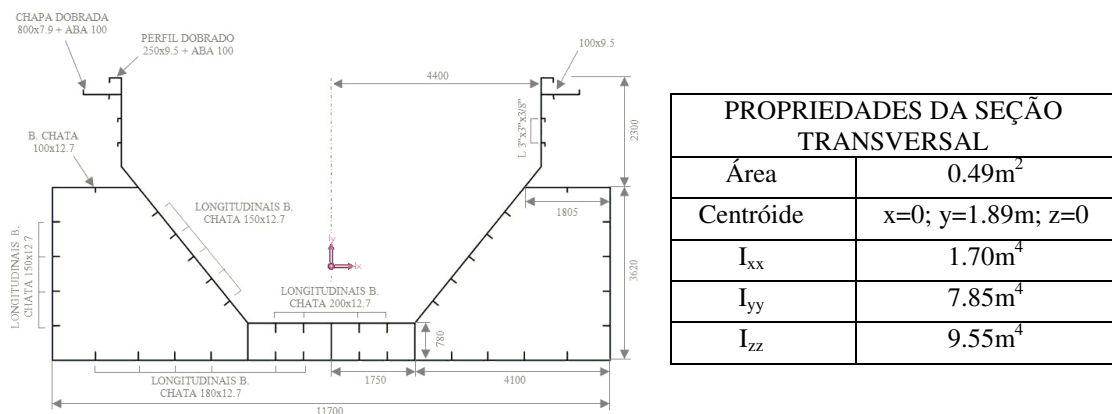


Figura 5.3 – Propriedades para a seção transversal da barça.

² **Plano de Linhas, Desenho de Linhas ou Plano de Construção:** Representação da forma e dimensões do casco de um navio por projeções de certas linhas em três planos ortogonais de referência. (Arte Naval p. 63 2-39)

Como simplificação, para todos os elementos foram utilizadas a mesma seção, sabendo-se que na região da proa isso não acontece, pois essa varia longitudinalmente ao navio. A Figura 5.4 ilustra uma das cavernas modeladas no Ansys (v.10), com todos os detalhes, e outra representando a mesma caverna, porém simplificada, construída no Solidworks (v.2009).

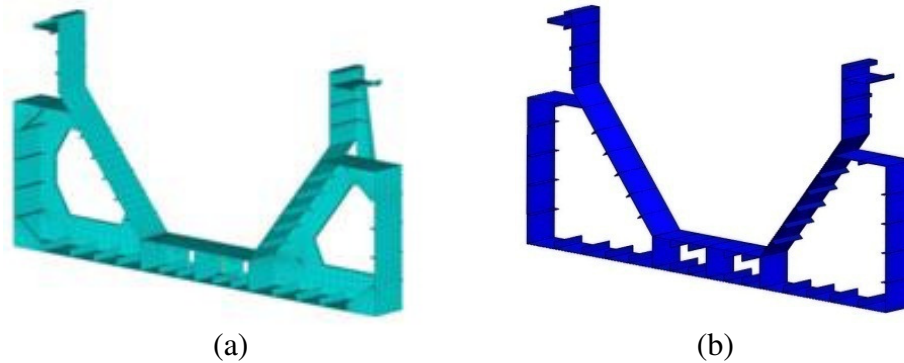


Figura 5.4 – Modelos das cavernas nos *softwares* (a) Ansys e (b) SolidWorks.

Como condições de contorno se está considerando a embarcação apoiada sobre molas com rigidez equivalente à da água, que atua como fundação elástica (método apresentado no Capítulo 4). Para representar essa situação numericamente foi utilizado o elemento *link1*. No caso da barcaça foi inserida no modelo uma mola a cada 2 metros, espaçadas uniformemente sobre toda a estrutura da embarcação, ou seja, cada mola tem um comprimento de influência de 2 metros. Na popa foram utilizadas três fileiras de molas, associadas em paralelo, portanto a rigidez desses elementos deve ser corrigida. De acordo com a equação (5), utilizando os valores da constante da gravidade, da densidade da água, preestabelecidos, a boca do navio de 11.7m (ver Anexo A), e a distância entre cavernas de 2m, obteve-se um valor para o módulo de elasticidade para os elementos de barra de $E = 234000\text{N/m}^2$. Dois graus de liberdade foram restringidos na extremidade da proa, os deslocamentos longitudinal (Z – direção longitudinal a embarcação) e o transversal horizontal (X – direção transversal a embarcação). Na outra extremidade, na popa, apenas o deslocamento transversal horizontal (X) foi restringido.

No caso do empurrador o procedimento é análogo, observando, é claro, alguns detalhes específicos dessa embarcação, que são: a embarcação apresenta 54 cavernas, espaçadas 0.520m, uniforme longitudinalmente, a região de interesse passa a ser a proa, e não mais a popa como no caso da barcaça, então a parte detalhada do modelo refere-se a essa região; além da proa, 6 cavernas também foram detalhadas, o restante foi considerado elemento de viga, novamente com seção constante ao longo de toda a sua extensão; para o cálculo da elasticidade das molas além da nova distância entre cavernas (0.520m), é preciso corrigir a dimensão da boca, 7.52m (ver Anexo A). Com isso o módulo de elasticidade necessário para definir as molas do empurrador é $E = 39104\text{N/m}^2$. A Figura 5.5 mostra, esquematicamente, quais foram as considerações tomadas na modelagem das embarcações, dimensões e condições de contorno.

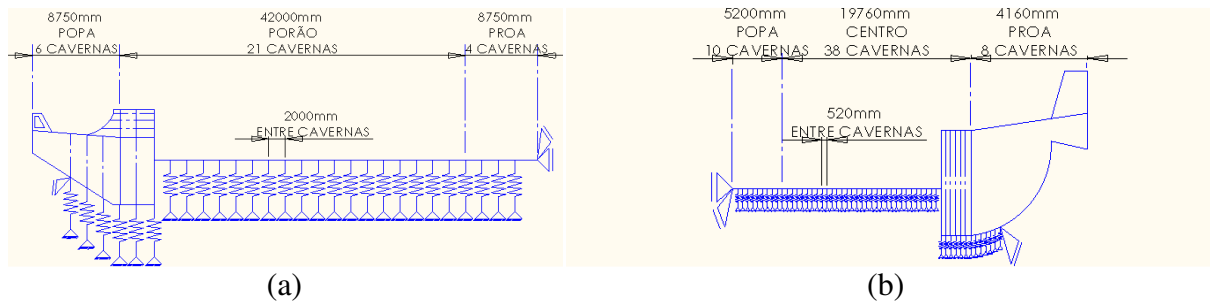


Figura 5.5 – Representação esquemática das considerações feitas nos modelos das embarcações: (a) barcaça e (b) empurrador.

Quanto ao carregamento da barcaça, ela transporta 1500 toneladas de produto, em seu porão único composto por 21 cavernas. Desse valor total, foi necessário separá-lo em duas cargas distintas, já que duas dessas cavernas estão modeladas em 3D e as restantes como elementos de viga. Dessa forma a carga aplicada no modelo 3D corresponde a aproximadamente 140 toneladas, e o restante, as 1360 toneladas, são aplicadas na viga-navio (apenas na região do porão). Na região 3D a carga foi aplicada pontualmente distribuindo-a em 35 pontos na superfície, sobre os elementos transversais e longitudinais, como as quilhas e hastilhas. Já o restante da carga, sobre a viga-navio, foi aplicada de forma distribuída ao longo dos elementos de viga, utilizando-se o comando *sfbeam*, onde se deve considerar a carga dividida pelo comprimento total da viga. A Figura 5.6 ilustra os carregamentos considerados e a massa de cada segmento da embarcação.

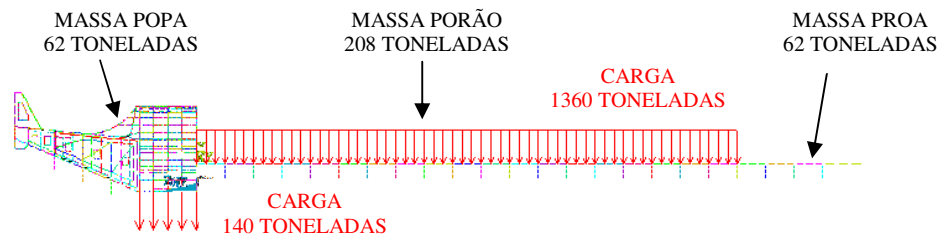


Figura 5.6 – Distribuição de massa ao longo da barcaça e considerações de carregamento.

Validação do Modelo: Como teste para verificação se os modelos estavam corretos, avaliou-se o equilíbrio das forças, isto é, foram feitas uma série de testes frente aos pesos das embarcações, aos carregamentos aplicados, a forma de aplicação dos mesmos, e verificando se o somatório das reações frente a cada condição de carga estava de acordo, e também se os valores encontrados estavam coerentes com os dados fornecidos nos planos das embarcações, tais como peso próprio e condições de calado³. Será descrito o procedimento realizado para a barcaça e, no caso do empurrador, isso ocorre de maneira análoga, exceto por o empurrador não transportar carga.

O primeiro teste realizado foi rodar apenas o modelo 3D com seu peso próprio, chegando a uma massa de 62 toneladas. Em seguida, fez-se o mesmo procedimento, porém apenas para a viga-navio, obtendo-se uma massa de 176 toneladas. Por último, rodando o modelo inteiro considerando apenas a força da gravidade, chegou-se a uma massa de 238 toneladas, isto é, somatório das massas dos casos rodados separadamente.

O próximo teste foi, considerando o modelo completo, simular apenas a carga aplicada no modelo 3D, aquelas 140 toneladas, distribuídas nos 35 pontos da superfície interna inferior do porão de carga, e de maneira análoga, simular apenas a carga distribuída nos elementos de viga. Em ambos os casos os resultados esperados para o somatório das reações foram satisfa-

³ **Calado:** É a distância vertical entre a superfície da água e a parte mais baixa do navio naquele ponto.

tórios, isto é, equivaleram aos valores das cargas aplicadas. Por fim simulando a embarcação com seu peso próprio e totalmente carregado com 1500 toneladas, as reações novamente estavam coerentes, obtendo-se para o seu somatório o valor de 1738 toneladas (equivale ao somatório do seu peso próprio mais o carregamento).

Como último teste, através dos planos fornecidos pela Empresa Aliança, com as características da embarcação (resumidas no Anexo A), verificou-se os valores de massa dessa e também a condição de calado máximo, em deslocamento carregado⁴. Encontrou-se como diferença de massa para a barçaça um valor equivalente a 94 toneladas, já que nos planos consta uma massa para ela em deslocamento leve⁵ de 332 toneladas e no modelo chegou-se a uma massa de 238 toneladas, e um calado de 2m, inferior ao calado máximo permitido, em seu deslocamento carregado, que é de 3,22m. Concluiu-se que essa diferença se deu pelo fato de que as seções transversais consideradas no caso da viga-navio não condizem com a realidade, pois não foram considerados os elementos transversais, como chapas, barras chatas, reforços. Verificou-se, portanto, a massa de cada caverna em ambos os modelos, o completo (Ansys) e o simplificado (Solidworks), ambos ilustrados na Figura 5.4 e se observou uma variação de massa por caverna modelada, que no total de cavernas chega-se a massa total da embarcação. Como solução para esse problema, visando chegar a um modelo o mais próximo do real, alterou-se a densidade dos elementos de viga da viga-navio, de maneira que se chegasse à massa de 332 toneladas da embarcação. Feito isso, simulou-se novamente a barçaça totalmente carregada e, além da sua massa, desta vez se obteve um calado de aproximadamente 3.2 metros, enfim, ambos os valores corretos.

Para o caso do empurrador, a embarcação leve apresenta uma massa de 149 toneladas mais 70 toneladas de porte bruto⁶. Fez-se o teste para a embarcação apenas com seu peso próprio, chegando-se novamente a um valor inferior ao verdadeiro, porém esse foi corrigido analogamente a barçaça, e com um total de 221 toneladas, chegou-se a um calado de aproximadamente 2 metros, conforme especificação.

A seguir, a Figura 5.7 ilustra a condição de deslocamento carregado e calado máximo para ambas as embarcações, obtidos a partir dos modelos numéricos.

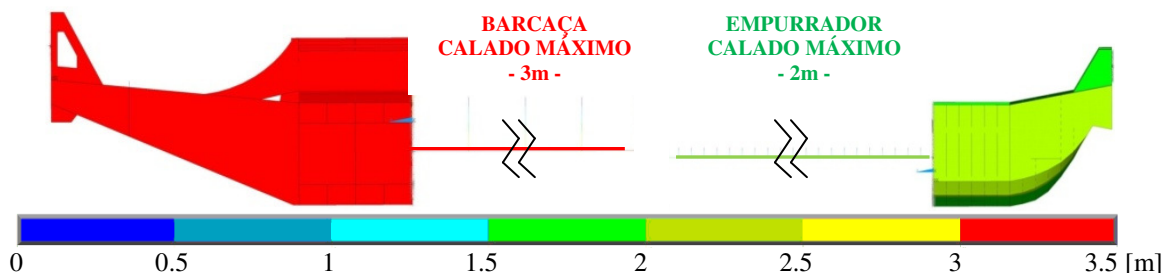


Figura 5.7 – Condições de calado máximo para ambas as embarcações.

⁴ **Deslocamento Carregado:** É o deslocamento que tem a embarcação quando está flutuando na sua condição de maior imersão, ou seja, completamente carregada, e está associado ao calado moldado da embarcação.

⁵ **Deslocamento Leve:** É o deslocamento que a embarcação, com todos os seus equipamentos e máquinas prontos para funcionar, apresenta quando está completamente descarregada, isto é, sem carga nos porões ou nos demais compartimentos a ela destinados, sem passageiros, tripulantes ou seus pertences, sem provisões, sem água doce, potável ou de lastro e sem combustíveis ou lubrificantes.

⁶ **Porte Bruto:** O porte bruto é definido como a diferença entre o deslocamento carregado e o deslocamento leve e caracteriza a quantidade de carga que uma embarcação pode transportar (não apenas a carga paga que normalmente é alocada nos porões ou tanques de carga, mas todo e qualquer item transportado a bordo, exceto quando considerado como item componente do deslocamento leve), sendo normalmente expresso em “toneladas de porte bruto” (tpb).

Simulação Numérica: A partir dos modelos validados, parte-se agora para a simulação numérica. A metodologia adotada para avaliar os modelos sugere que ambas as embarcações sejam analisadas separadamente, e a partir daí são propostas interações entre ambas, de forma que, seja possível representar os dois conceitos de acoplamento entre elas.

De acordo com os modelos construídos será possível, neste primeiro estudo, avaliar apenas a integridade estrutural das regiões detalhadas em 3D, isto é, a popa e proa, da barça e do empurrador, respectivamente, ou seja, nada se pode afirmar com relação, por exemplo, a meia-nau⁷ das embarcações. Então, mesmo que, a partir dos resultados encontrados neste trabalho consiga-se garantia de que a estrutura não sofrerá danos, não se pode garantir o mesmo das demais regiões, por não serem consideradas nas análises realizadas.

Como base para os estudos que serão propostos, levar-se-á em consideração apenas os movimentos vertical (translação no eixo Y) e o giro (rotação em torno do eixo X), isso pelo fato de que as únicas cargas que compõem o sistema são o peso próprio e o peso do carregamento, isto é, apenas cargas verticais, desconsiderando-se outros tipos de carga, tais como, força de empurre, frenagem, manobra, curva, correnteza, efeito de onda, de vento, e outras conforme citadas no Capítulo 3.

Para tal, as seguintes etapas são propostas, as quais se ilustram de forma esquemática na Figura 6.1(a).

(1) Inicialmente, analisam-se as embarcações separadas, com seu peso próprio atuando e, no caso da barça, mais o peso relativo ao seu carregamento. Com isso, pode-se verificar quais são os deslocamentos máximos obtidos em cada um dos casos;

(2) A partir desses deslocamentos relativos, aplica-os como deslocamentos prescritos no empurrador;

(3) Obtêm-se as reações relativas a esses deslocamentos prescritos. Essas reações são responsáveis pelas ações atuantes na barça;

(4) Analisa-se a barça carregada frente às reações impostas pelo empurrador;

Apresentada a metodologia adotada para avaliar a influência de uma embarcação sobre a outra em estado de acoplamento entre elas, agora é preciso estabelecer critérios para a consideração dos dois tipos de acoplamento que será estudado: o sistema rígido e o sistema articulado. De acordo com os tipos de deslocamentos que se está considerando, a diferença entre os dois sistemas propostos consiste em que no sistema rígido tem-se que aplicar no empurrador ambos o deslocamento vertical e o deslocamento angular relativos, ou seja, estamos considerando que ambas as embarcações estão engastadas entre si, isto é, está se restringindo os dois graus de liberdade. Já no caso do sistema articulado, restringe-se apenas o deslocamento vertical, deixando o giro livre.

6. RESULTADOS

Feitas as análises a partir da metodologia apresentada, e de acordo com os critérios adotados na consideração dos dois sistemas de acoplamento propostos, chegou-se aos seguintes resultados, apresentados na Figura 6.1.

Sistema Rígido: A Figura 6.1(b) apresenta os resultados para os deslocamentos e reações, no caso do sistema rígido, obtidos para cada etapa da metodologia adotada.

Sistema Articulado: de maneira análoga, na Figura 6.1(c) são apresentados os resultados equivalentes ao sistema articulado.

⁷ **Meia-nau:** A meia-nau está localizada no meio do comprimento de regra (L), sendo esse comprimento medido a partir do ponto de intersecção da face externa da roda de proa com a linha de flutuação.

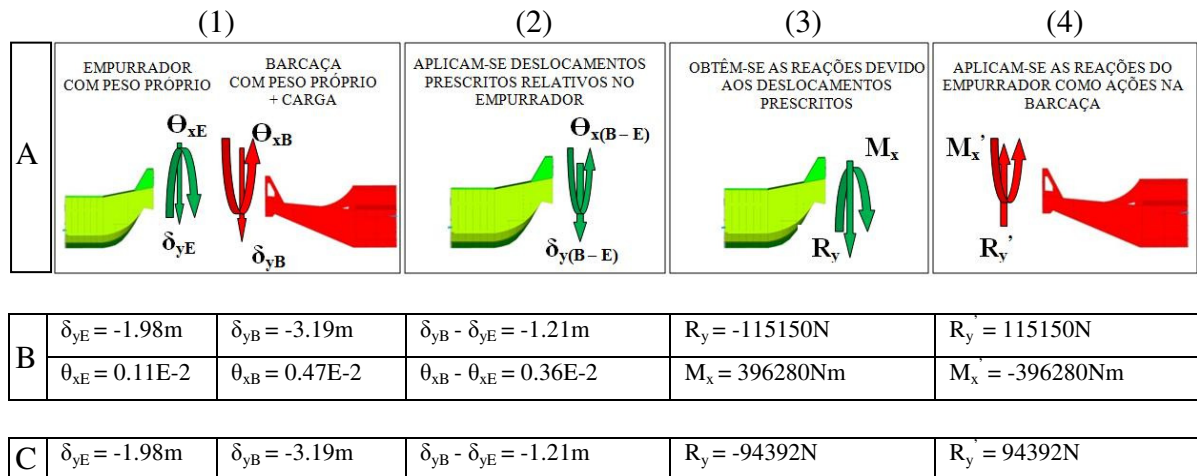


Figura 6.1 – (a) Metodologia adotada para análise numérica, (b) Resultados para o sistema de acoplamento rígido e (c) Resultados para o sistema de acoplamento articulado.

Em se tratando dos resultados relativos às tensões, a Figura 6.2 apresenta os gráficos obtidos a partir da simulação numérica.

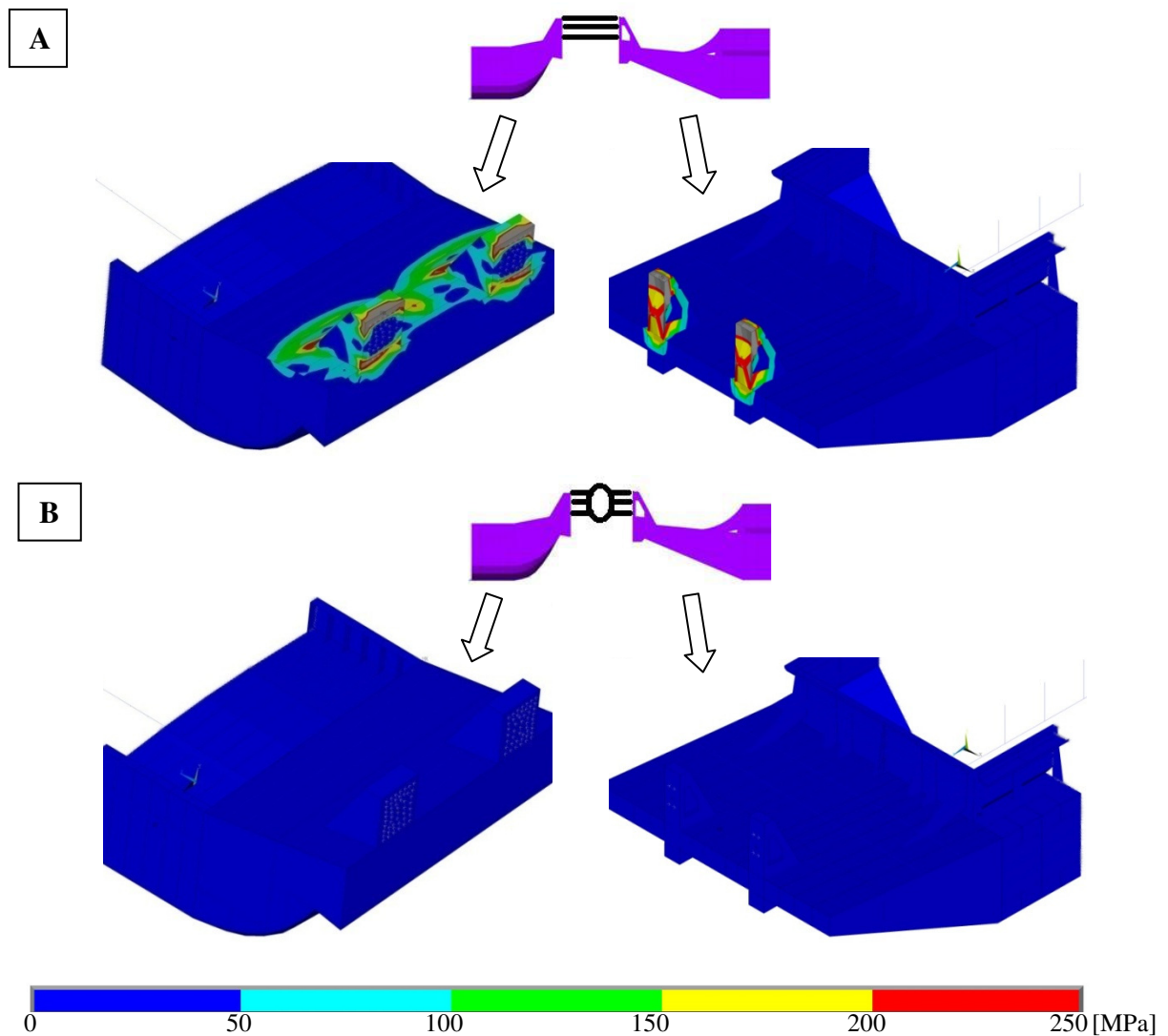


Figura 6.2 – Tensões de Von Mises (a) para o sistema de acoplamento rígido e (b) para o sistema de acoplamento articulado.

Discussão dos Resultados: Inicialmente, a barçaça em plena carga apresentou um deslocamento vertical de 3.1999m e um giro de 0.47490E-02. Após a avaliação da influência do empurrador sobre a barçaça, no caso do sistema rígido, a barçaça passou a ter um deslocamento vertical de 2.9909m, e um giro de -0.70484E-01. Já na análise do sistema articulado, a barçaça passou a ter um deslocamento vertical de 3.0435m.

Avaliando a distribuição de tensões ao longo da estrutura da barçaça e do empurrador, conforme pode ser visto na Figura 6.2, verificou-se que o sistema articulado (b) foi o que apresentou melhores resultados. No sistema rígido (a), a tensão na barçaça chegou a atingir valores superiores a 1000MPa, e no empurrador, superiores a 650MPa, ou seja, valores bem superiores ao limite de escoamento do aço utilizado (ASTM A36⁸). No sistema articulado, os valores de tensão para o empurrador chegaram a 32MPa, enquanto na barçaça atingiram valores próximos a 100MPa.

7. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo geral avaliar diferentes conceitos de acoplamento para um sistema de comboio específico proposto, um empurrador e uma barçaça, correspondentes ao Trevo I e a Aliança II, respectivamente. Para cumprir essa tarefa foram construídos modelos em elementos finitos de ambas as embarcações com um grau de detalhamento maior nas regiões da popa e da proa. Na realização do trabalho foi possível concluir que:

- Os modelos do empurrador e barçaça construídos se apresentam como ferramentas ótimas para se analisar as tensões em diferentes tipos de cenários que possam ser avaliados.
- Numa avaliação preliminar foi possível observar que o sistema articulado solicita menos a estrutura dos dois navios.

Considerações finais: O presente trabalho está inserido em um campo que não faz parte, diretamente, da formação de Engenheiro Mecânico. Junto com o desafio proposto pelo GMAp, veio um vasto aprendizado nessa área, que representa um horizonte desconhecido, principalmente para quem não tem essa formação. Grande parte do tempo de desenvolvimento do trabalho foi investida na modelagem das embarcações, algo não trivial. Além disso, fez-se necessário conhecimento de terminologia naval, entendimento dos planos das embarcações e uma ampla pesquisa nesses temas.

Como sugestões para trabalhos futuros ficam a análise de sensibilidade de malha, a análise para outros modos de falha, como flambagem de painéis reforçados, a utilização de tensões últimas de acordo com regras de Sociedades Classificadoras, e todo estudo relativo à área naval, tais como os movimentos, esforços, aos quais os navios estão sujeitos.

⁸ A tensão de escoamento do aço ASTM A36 corresponde a 250MPa.

REFERÊNCIAS

ANSYS, Inc. **ANSYS Verification Manual**. Ansys Release 10.0. Canonsburg, 2004.

COPINAVAL. **Determinação das Forças no Sistema de Conexão de Comboios Oceânicos Articulados: ATB**. XX Conferência Panamericana de Engenharia Naval, 2007.

DIDONÉ, P. D. **Projeto Conceitual de um Sistema de Acoplamento Mecânico entre Embarcações de Navegação Interior: Modelo ATB**. Relatório Técnico. Porto Alegre, 2008. 34p.

DIMAROGONAS, A. D. **Vibration for Engineers**. Washington University, Prentice Hall, 2.ed. 1996.

FONSECA, M. M. **Arte Naval: Serviço de Documentação Geral da Marinha**. 5.ed. Rio de Janeiro, 1989.

GMAp. **Formulário para apresentação de propostas à FINEP**. Projeto ACOPLA2011: Projeto e construção de um sistema de acoplamento mecânico entre embarcações de navegação interior para situações especiais de navegação. Porto Alegre, 2010.

LEEUWEN, W. A. **Tug/Barge Systems: An economical Alternative for the Short-Sea**, 2008.

NAVEGAÇÃO ALIANÇA LTDA. **Arranjo Geral e Perfil Externo: Trevo I**. ITE Engenharia. Porto Alegre, 1993a.

NAVEGAÇÃO ALIANÇA LTDA. **Perfil Estrutural: Trevo I**. ITE Engenharia. Porto Alegre, 1993b.

NAVEGAÇÃO ALIANÇA LTDA. **Seção Mestre: Trevo I**. ITE Engenharia. Porto Alegre, 1993c.

NAVEGAÇÃO ALIANÇA LTDA. **Arranjo Geral e Perfil Externo: Aliança II**. ITE Engenharia. Porto Alegre, 2002a.

NAVEGAÇÃO ALIANÇA LTDA. **Perfil Estrutural: Aliança II**. ITE Engenharia. Porto Alegre, 2002b.

NAVEGAÇÃO ALIANÇA LTDA. **Seção Mestre: Aliança II**. ITE Engenharia. Porto Alegre, 2002c.

NAVEGAÇÃO ALIANÇA LTDA. **Memorial Descritivo: Aliança II**. ITE Engenharia. Porto Alegre, 2003.

NAVEGAÇÃO ALIANÇA LTDA. **Memorial Descritivo: Trevo I**. ITE Engenharia. Porto Alegre, 2007.

TAISEI ENGINEERING CONSULTANTS. **Articouple and triofix for sea-going pusher-barge systems**. Disponível em: <http://www.articouple.com/16-history.html>, acesso em 18/08/2010.

TOLDO Jr., E. E.; CORRÊA, I. C. S.; ALMEIDA, L. E. S. B.; FERREIRA, E. R.; GRUBER, N. L. S. **Wave Prediction Along Lagoa dos Patos Coastline, Southern Brazil**. Pesquisas em Geociências (UFRGS). 2006.

VAN DER VELDEN MARINE SYSTEMS. **Dyna-Cliq Coupling System**. Disponível em: <http://www.vandervelden-marinesystems.com/rudders.cfm?pk=571&lang=enem>, Acesso em 25 de agosto de 2010.

WRIGHT, C. **Tug/Barge**. Presented at Strategies for Canadian Shipping Company of Master Mariners of Canada Great Lakes Division, 2000.

ANEXO A – Dados de projeto das embarcações (Fonte: Aliança Navegação Ltda.)

<i>DADOS GERAIS</i>	ALIANÇA II (Barcaça)	TREVO I (Empurrador)
Nome da embarcação	Aliança II	Trevo I
Ano de construção	2003	1965/1993 (alteração)
Sociedade Classificadora	Bureau Colombo	Bureau Colombo
Tipo de navegação	Interior	Interior
Tipo de embarcação	Barcaça sem propulsão	Rebocador/Empurrador
Porto de registro	Porto Alegre/RS	Porto Alegre/RS
Massa de carga	1.500 toneladas	70 toneladas
<i>CARACTERÍSTICAS DO CASCO</i>		
Comprimento total	59,50m	29,12m
Comprimento entre perpendiculares	56,76m	26,10m
Boca moldada	11,70m	7,52m
Pontal moldado	3,62m	2,74m
Calado máximo	3,22m	1,94m
Massa da embarcação	332 toneladas	149 toneladas

ANEXO B – Nomenclatura naval (Fonte: Fonseca, 1989)

Arqueação Bruta: É a expressão do tamanho total de uma embarcação, determinada de acordo com as prescrições dessas regras, sendo função do volume de todos os espaços fechados. A arqueação bruta é um parâmetro adimensional.

Arqueação Líquida: É a expressão da capacidade útil de uma embarcação, determinada de acordo com as prescrições dessas regras, sendo função do volume dos espaços fechados

Boca: É a maior largura da embarcação, medida na seção mestra, até as linhas moldadas das cavernas (parte interna das chapas do costado) para as embarcações de casco metálico. Nas embarcações não metálicas, a medida é efetuada por fora do costado.

Bordos: Boreste (BE)/Estibordo – a parte à direita; Bombordo (BB): a parte à esquerda.

Casco: É o corpo do navio sem mastreação, ou aparelhos acessórios, ou qualquer outro arranjo. O casco não possui uma forma geométrica definida; a principal característica de sua forma é ter um plano de simetria (plano diametral) que se imagina passar pelo eixo da quilha; da forma adequada do casco dependem as qualidades náuticas de um navio: resistência mínima à propulsão, mobilidade, estabilidade de plataforma.

Comprimento entre Perpendiculares: É a distância horizontal medida entre os pontos em que a linha d'água de projeto corta a proa e o eixo da madre do leme. Nas embarcações sem leme, tal comprimento deve ser medido na linha d'água de projeto, entre os cadastes de proa e popa.

Embarcação/Barco: É uma construção feita de madeira, concreto, ferro, aço ou da combinação desses e outros materiais, que flutua e é destinada a transportar pela água pessoas ou cargas. O termo Navio, em geral, é utilizado para embarcações de grande porte.

Forro exterior: Revestimento exterior do casco de um navio, no costado e na carena, constituído por chapas ou por tábuas.

Fundo do navio: Parte inferior do casco, desde a quilha até o bojo.

Pontal Moldado: É a distância vertical, medida junto ao bordo na meia-nau, entre o topo da quilha e o topo do vau do convés superior.

Popa – Extremidade posterior do navio. Forma exterior adequada para facilitar a passagem dos filetes líquidos que preenchem o vazio deixado pelo navio, para tornar mais eficiente a ação do leme e do hélice.

Porão: É o espaço contido pela estrutura do navio na qual está localizado um tanque de carga independente

Proa: Extremidade anterior do navio no sentido de sua marcha normal. Forma exterior adequada para mais facilmente fender o mar.

Superestrutura: Construção feita sobre o convés principal.

ANEXO C – Peças principais da estrutura dos cascos metálicos (Fonte: Fonseca, 1989)

Anteparas: São as separações verticais que subdividem em compartimentos o espaço interno do casco, em cada pavimento. As anteparas concorrem também para manter a forma e aumentar a resistência do casco. Servem para tornar impermeável à água, e são chamadas de *anteparas estanques*. Também servem para dar resistência ao navio, e essas são chamadas de *anteparas protegidas ou encouraçadas*. Dividem-se conforme a sua posição: antepara de colisão, antepara transversal, antepara frontal, antepara diametral, antepara longitudinal ou lateral, antepara parcial, antepara da bucha.

Borboletas ou esquadros: Pedços de chapa, em forma de esquadro, que servem para ligação de dois perfis, duas peças quaisquer, ou duas superfícies que fazem ângulo entre si, a fim de manter invariável este ângulo.

Cavernas: Peças curvas que se fixam na quilha em direção perpendicular a ela e que servem para dar forma ao casco e sustentar o chapeamento exterior.

Chapeamento: Conjunto de chapas que compõe um revestimento ou uma subdivisão qualquer do casco dos navios metálicos. Chapas dispostas na mesma fileira de chapeamento constituem uma *fiada de chapas*.

Espaçamento: Intervalo entre duas cavernas.

Gigantes: São cavernas reforçadas contínuas; formam anéis com os vaus reforçados do convés e das cobertas; é constituído por uma chapa disposta em todo o contorno da seção transversal do casco; é soldada no chapeamento exterior do casco; têm largura três a quatro vezes maior que a largura de uma caverna ordinária.

Longarinas ou longitudinais: Peças colocadas de proa a popa, na parte interna das cavernas, ligando-se entre si.

Ossada e Chapeamento: A estrutura do casco do navio consta da ossada, ou esqueleto, e do forro exterior (chapeamento, nos navios metálicos). A ossada é constituída por: vigas longitudinais, vigas transversais, reforços locais.

Prumos: Ferros perfilados dispostos verticalmente nas anteparas, a fim de reforçá-las

Quilha: Peça disposta em todo o comprimento do casco e na parte mais baixa do navio. Constitui a *espinha dorsal* e é a parte mais importante do navio, nas docagens e nos encalhes, é a quilha que suporta os maiores esforços.

Reforços locais: Completam a estrutura, fazendo a ligação entre as demais peças ou servem de reforço a uma parte do casco. São as seguintes: roda de proa, cadaste, pés de carneiro, vaus intermediários, vaus secos, latas, buçardas, prumos, travessas, borboletas ou esquadros, tapajuntas, chapa de reforço, calços, colar, cantoneira de contorno, gola.

Sicordas: Peças colocadas de proa a popa num convés ou numa coberta, ligando os vaus entre si.

Vaus: Vigas colocadas de BB a BE em cada caverna, servindo para sustentar os chapeamentos dos conveses e das cobertas, e também para atracar entre si as balizas das cavernas. Os vaus tomam o nome do pavimento que sustentam.

Vigas e chapas longitudinais: Contribuem, juntamente com o chapeamento exterior do casco e o chapeamento do convés resistente, para a resistência aos esforços longitudinais, que se exercem quando o cavado ou a crista de uma onda passam pelo meio do navio.

Vigas e chapas transversais: Além de darem a forma exterior do casco, resistem, juntamente com as anteparas estruturais, à tendência à deformação do casco por ação dos esforços transversais.

São as seguintes: cavernas, cavernas altas, vaus, hastilhas e cambotas.

Hastilha: Chapas colocadas verticalmente no fundo do navio, em cada caverna, aumentando a altura destas na parte que se estende da quilha ao bojo.