

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Alexandre Cardoso Loja da Silva

Comportamento Estrutural do Casco de uma Embarcação na situação de maior solicitação sob o Efeito de Ondas

Projeto de Graduação

Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio

Orientador: Ivan Fabio Mota de Menezes
Coorientador: Carlos Alberto de Almeida

Rio de Janeiro, Dezembro de 2018

Agradecimentos

Agradeço a todos os meus professores da graduação de engenharia mecânica da PUC-Rio, que foram de fundamental importância na construção da minha vida profissional.

Aos professores Carlos Almeida e Ivan Menezes, pela paciência, conselhos e ensinamentos que foram essenciais para o desenvolvimento do TCC.

Agradeço ao meu chefe Paulo Thadeu por ter me dado a oportunidade de trabalhar no estaleiro da Real Powerboats e assim descobrir e se encantar pela área náutica motivando o tema do meu projeto de conclusão do curso.

Dedico este projeto à minha família e amigos que sempre estiveram presentes direta ou indiretamente em todos os momentos de minha formação. Dedico este trabalho a todos aqueles que de alguma forma contribuíram com meu desenvolvimento, principalmente aos meus pais e irmãos que são sempre presentes.

Resumo

Comportamento Estrutural do Casco de uma Embarcação na situação de maior solicitação sob o Efeito de Ondas

O mercado náutico sentiu uma forte queda desde 2013, com um período de estagnação entre os anos de 2016 e 2017. Apesar do receio da valorização do dólar sobre os custos de produção, conforme fabricantes, o mercado começou um processo de retomada e a melhora dos negócios traz uma perspectiva de crescimento acima de 10% para o presente ano de 2018. Nesse cenário os construtores e projetistas investem na busca de estruturas que maximizem a resistência e a eficiência e minimizem os custos de fabricação, como material e mão-de-obra. Entender o comportamento estrutural e hidrodinâmico de embarcações é de fundamental importância para saber por exemplo as regiões onde são exigidas mais material e as que precisam de menos, e ainda otimizar a geometria da embarcação para garantir melhor navegabilidade como também menor gasto energético. Em um cenário no qual, as diferentes sociedades classificadoras ainda divergem em relação à diversos aspectos associados ao projeto estrutural de embarcações de alta velocidade, por mais que os métodos estatísticos forneçam bons resultados em nível de projeto preliminar, eles não abrangem quaisquer outras possíveis variações da forma. Como testes experimentais são caros e trabalhosos, os softwares de simulação de dinâmica dos fluidos computacional (CFD) tornam-se um meio muito interessante para se realizar esse estudo. O presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise do comportamento estrutural de um casco de 31 pés na situação de maior solicitação da embarcação. A situação é definida considerando a espessura mínima permitida do laminado, navegando em um mar de tamanho de onda máximo para a classe de embarcação considerada e ainda para diferentes velocidades. Primeiramente foram calculadas os esforços atuantes, ou seja, as pressões na embarcação, segundo a norma DNV GL para posteriormente aplica-las e defini-las no software Ansys de elementos finitos. Os resultados devem então ser comparados com a resistência do material para assim garantir a fidelidade do projeto.

Palavras-chave

Embarcação; Comportamento Estrutural; Norma DNV-GL; Pressões de projeto; Elementos Finitos; Resistência do Material;

Abstract

Structural Behavior of the Hull's light craft in the situation of greater request under the Wave Effects

The nautical segment has experienced a sharp decrease since 2013, with a period of stagnation between the years 2016 and 2017. Despite the fear of appreciation of the dollar over production costs, according to manufacturers, the market began a process of recovery and improvement of the business, with a growth perspective above 10% for the present year of 2018. In this scenario the builders and designers invest in research for structures that maximize strength and efficiency and minimize manufacturing costs such as material and labor. Understanding the structural and hydrodynamic behavior of vessels is of fundamental importance to know for example the regions where more material is required and those that need less, and also to optimize the geometry of the boat to guarantee better navigability as well as lower energy expenditure. In a scenario in which the different classifying societies still differ in relation to the various aspects associated with the structural design of high speed vessels, even though statistical methods provide good results at a preliminary design level, they do not cover any other possible variations of form. As experimental tests are expensive and laborious, computational fluid dynamics (CFD) simulation software becomes a very interesting way to carry out this study. The present work has as objective to analyze the structural behavior of a 31-foot vessel in the situation of greater demand. The situation is defined considering the minimum allowed thickness of the laminate, sailing in a sea of maximum wave size for the class of vessel considered and still for different speeds. Firstly, the actuating forces, ie the vessel pressures, were calculated according to the DNV GL, an accredited registrar and classification society, and then applied and defined in the Ansys finite element software. The results should then be compared to the strength of the material to ensure project fidelity.

Keywords

Light Craft; Structural Behavior; DNV GL; Project Pressure; Finite Elements; Material Strength;

Conteúdo

1	Introdução	10
2	Requisitos necessários para a realização do Projeto	11
2.1	Classificação como Embarcação Leve	12
2.1.1	Cálculo do Deslocamento e Obtenção dos valores das Variáveis	14
2.1.2	Comparativo dos Resultados para Classificação como Embarcação Leve	16
2.2	Classificação como Embarcação Leve de Alta de Velocidade . .	16
2.3	Posicionamento dos Componentes Estruturais	17
3	Cargas Solicitadas por uma Embarcação	18
3.1	Condições de Operação da Embarcação	18
3.2	Aceleração Vertical (a_{cg})	19
3.3	Pressões de Trabalho	20
3.3.1	Pressão Devido Impactos no Fundo do casco	20
3.3.2	Pressão Devido Impactos nas Laterais da Embarcação .	22
3.3.3	Pressão do Mar (Hidrostática)	25
4	Determinação do Casco e da Modelagem do Projeto	27
4.1	Avaliação do posicionamento das Anteparas	28
5	Cálculo das Pressões de Projeto	28
5.1	Determinação da Região de Atuação da Pressão de Slamming	29
5.1.1	Região do fundo do Casco	29
5.1.2	Região Lateral do casco	30
5.2	Determinação das Pressões de Slamming no fundo da embarcação pela Norma DNVGL	30
5.3	Determinação das Pressões de Slamming na lateral da embarcação pela Norma DNVGL	34
5.4	Determinação das Pressão Hidrostáticas no Casco da Embarcação	37
6	Teoria por trás do Método de Elementos Finitos	41
7	Metodologia para a Análise	43
7.1	Seleção do Software à ser utilizado	43
7.2	Preparação da análise	43
7.2.1	Definição das Propriedades do Laminado	45
7.3	Determinação das Propriedades Mecânicas do Laminado . . .	46

7.4	Definição das propriedades Mecânicas no Ansys	48
7.4.1	Importando a Geometria	49
7.4.2	Geração da Malha	51
7.4.3	Determinação dos Esforços atuantes na Embarcação . .	52
7.4.4	Definição das Condições de Contorno	57
8	Resultados	59
9	Conclusão	60
10	Referências Bibliográficas	63
I	APÊNDICE A	66
II	APÊNDICE B	67
III	APÊNDICE C	69
IV	APÊNDICE D	70
V	APÊNDICE E	73
VI	APÊNDICE F	74
VII	APÊNDICE G	75

Lista de Figuras

1	Esquema das Perpendiculares Avante e a Ré de uma Embarcação	13
2	Principais Grandezas de uma Embarcação.	14
3	Fotos do Molde do Jazente da Real 315.	17
4	Representação do Ângulo " v " de uma embarcação.	20
5	Fator de distribuição Longitudinal	21
6	Possíveis movimentos de uma Embarcação.	21
7	Representação da dimensão T_{FP}	22
8	Ângulo α	24
9	Ângulo γ com o eixo x a linha de centro da embarcação.	25
10	Variação do fator de distribuição de carga devido o oceano k_s	26
11	Modelagem 3D da embarcação escolhida	28
12	Região do fundo da embarcação em que atua a pressão de slamming (em vermelho).	29
13	Área de atuação da pressão de slamming no fundo do casco (em vermelho) e nas laterais (em amarelo).	30
14	Determinação dos diferentes painéis de laminado que compõem o casco da embarcação.	31
15	Pressão de Slamming para uma altura significativa de onda de 2,44m e uma velocidade de 33knots.	34
16	Distribuição dos pontos nos quais foram calculadas as pressões na lateral do casco da embarcação.	34
17	Valores das variáveis retiradas com auxílio do software Solidworks e também das pressões de slamming na lateral do casco.	37
18	Distribuição dos pontos para o cálculo da pressão hidrostática.	38
19	Distribuição da Pressão Hidrostática para pontos abaixo da Linha d'água de acordo com o valor de k_s	40
20	Distribuição da Pressão Hidrostática para pontos acima da Linha d'água.	41
21	Possíveis sistemas de análise do Ansys.	44
22	Passo-a-passo que deve ser seguido para uma análise de Elementos Finitos.	45
23	Interface do Ansys com a geometria importada e gerada no Software.	50
24	Divisão das camadas presentes no laminado da embarcação.	51
25	Malha gerada pelo Ansys.	52
26	Sistema de coordenada utilizado para a determinação da distribuição no fundo da embarcação.	53

27	Representação gráfica gerada pelo Ansys para a distribuição da pressão.	54
28	Imagem representativa da distribuição da pressão no fundo da embarcação.	54
29	Regiões para aplicação das pressões hidrostática na embarcação.	55
30	Aplicação da Pressão Hidrostática nas diferentes regiões do casco da embarcação.	57
31	Faces dos reforçadores selecionadas para a determinação dos nós escravos.	58
32	Interface do Ansys para a determinação das características do deslocamento remoto.	58
33	Tensões equivalentes geradas no casco da embarcação na velocidade de 33 knots.	59
34	Tensões principais geradas no casco da embarcação na velocidade de 33 knots.	59
35	Deslocamento Total gerado no casco da embarcação na velocidade de 33 knots.	60
36	Deslocamento Total gerado no casco da embarcação na velocidade de 33 knots.	61
37	Plano de Laminação simplificado do casco da Real 315.	74
38	Tensões equivalentes geradas no casco da embarcação na velocidade de 10 knots.	75
39	Tensões principais geradas no casco da embarcação na velocidade de 10 knots.	75
40	Deslocamento Total gerado no casco da embarcação na velocidade de 10 knots.	75
41	Tensões equivalentes geradas no casco da embarcação na velocidade de 20 knots.	76
42	Tensões principais geradas no casco da embarcação na velocidade de 20 knots.	76
43	Deslocamento Total gerado no casco da embarcação na velocidade de 20 knots.	76

Lista de Tabelas

1	Dados do Termo de Responsabilidade de Construção.	15
2	Valores de C_W de acordo com a notação de Classe da embarcação.	23
3	Restrições de serviço para as embarcações.	24
4	Valores do Fator de Intensidade de Carga a	26
5	Pressões Mínimas devido o Oceano.	27
6	Valores das variáveis de interesse para o cálculo da pressão de slamming no fundo da embarcação.	31
7	Tabela com as propriedades para a determinação da Aceleração Vertical e Pressão de Slamming no fundo da embarcação.	33
8	Tabela com a distribuição longitudinal da pressão de slamming no fundo do casco da embarcação.	33
9	Valores das variáveis de interesse para o cálculo da pressão lateral.	35
10	Valores das variáveis retiradas com auxílio do software Solidworks e também das pressões de slamming na lateral do casco.	36
11	Tabela com os valores dos parâmetros de interesse e com as pressões hidrostáticas calculadas.	39
12	Variáveis de interesse para a obtenção das propriedades mecânicas do tecido unidirecional.	47
13	Propriedades mecânicas calculadas do tecido unidirecional.	48
14	Propriedades mecânicas calculadas da manta.	48
15	Definição das propriedades mecânicas do tecido unidirecional no Ansys.	49
16	Definição das propriedades mecânicas da manta no Ansys.	49
17	Quantidade de Nós e Elementos gerados na Malha.	52
18	Valores para a Aceleração Vertical e dados de interesse para o cálculo da pressão de slamming para a velocidade de 10 knots.	66
19	Valores para a Aceleração Vertical e dados de interesse para o cálculo da pressão de slamming para a velocidade de 20 knots.	66
20	Valores para a Pressão de Slamming no fundo da embarcação para $V = 10$ knots.	67
21	Gráfico para a Pressão de Slamming no fundo da embarcação para $V = 10$ knots.	67
22	Valores para a Pressão de Slamming no fundo da embarcação para $V = 20$ knots.	68
23	Gráfico para a Pressão de Slamming no fundo da embarcação para $V = 20$ knots.	68

24	Valores das variáveis de interesse para o cálculo da pressão lateral para $V = 10$ knots.	69
25	Valores das variáveis de interesse para o cálculo da pressão lateral para $V = 20$ knots.	69
26	Valores das variáveis retiradas com auxílio do software Solidworks e também das pressões de slamming na lateral do casco para $V = 10$ knots.	70
27	Valores das variáveis retiradas com auxílio do software Solidworks e também das pressões de slamming na lateral do casco para $V = 20$ knots.	71
28	Valores das variáveis retiradas com auxílio do software Solidworks e também das pressões de slamming na lateral do casco para $V = 33$ knots.	72
29	Tabela completa com os valores dos parâmetros de interesse e com as pressões hidrostáticas calculadas.	73

1 Introdução

A indústria náutica brasileira deve fechar o ano de 2018 com um faturamento de US\$ 800 milhões de dólares, mas a expectativa é de que até 2020 o setor atinja uma receita de US\$ 1,5 bilhão. "A média de crescimento, nos últimos dez anos, sem a crise, é de 10%. Apesar disso, em comparação com o resto do mundo, ainda engatinhamos", afirma o presidente da Associação Brasileira dos Construtores de Barcos e seus Implementos (Acobar), Eduardo Colonna.

Após um período de estagnação, o segmento volta a apresentar perspectivas de crescimento e os principais estaleiros buscam investir em pesquisa para apresentarem embarcações com preços mais competitivos e ao mesmo tempo que sejam leves e resistentes.

A DNV GL é uma sociedade internacional de registros e classificação credenciada, com sede em Høvik, Noruega e que possui muito prestígio no meio náutico e naval. A entidade capacita as instituições fornecendo serviços de certificação. Para a obtenção da certificação é necessário seguir uma série de normas que foram definidas pela entidade e que assim garantem qualidade e segurança no projeto.

Lanchas são caracterizadas como embarcações do tipo planante, ou seja, apresentam elevação da proa com o aumento da velocidade, o que acarreta na diminuição da área de contato do casco com a superfície da água, levando à diminuição da resistência ao avanço (IERVOLINO, 2015). A elevação da proa inicia um regime no qual parte do peso da embarcação é sustentada pela força dinâmica oriunda da interação do casco com a água. Tal regime é denominado na literatura como regime de planeio (SAVITSKY, 1964).

Para a categoria de lanchas de recreio, que apresentam alta velocidade, a leveza é um parâmetro fundamental, pois quanto maior o peso mais alta será a velocidade necessária para atingir o regime de planeio e como consequência maior a potência necessária. Conseguir reduzir o peso da embarcação influencia diretamente no preço final do produto e consequentemente na competitividade da mesma no mercado náutico.

Além do baixo peso, essas embarcações precisam ter alta resistência estrutural, pois ao alcançar a velocidade de planeio, a embarcação começa a sofrer elevadas pressões dinâmicas no casco, o que pode ocasionar falha na estrutura se a mesma não tiver sido projetada adequadamente (KOPETSKI,

2017). O grande desafio dos estaleiros é então construir embarcações com materiais que sejam ao mesmo tempo leves e resistentes.

Materiais compósitos representam boa alternativa para esse tipo de projeto, pois combinam as propriedades de leveza e resistência mecânica (MOURA; MORAIS; MAGALHÃES, 2005). O grande desafio porém está no fato de apresentarem grande variedade de combinações e por consequência de características mecânicas.

O presente trabalho tem como objetivo analisar o comportamento estrutural de uma embarcação de alta velocidade de 31 pés considerando a situação de maior solicitação da mesma, por meio da simulação pelo método de elementos finitos. O primeiro passo foi apresentar os requisitos mínimos necessários para a classificação como embarcação leve e de alta velocidade segundo a norma da DNV GL e assim verificar se de fato a embarcação escolhida esta de acordo com a norma.

Na sequência, foram determinadas as pressões de projeto, tanto hidrostática quanto dinâmicas, atuantes nas diferentes regiões da embarcação. Posteriormente foi realizada uma análise de elementos finitos utilizando o software "Ansys" permitindo entender o comportamento do casco da embarcação na situação de maior solicitação, ou seja, com menor espessura do laminado, para diferentes velocidades e também navegando com ondas de altura máxima para a categoria em questão.

Por meio dos resultados será possível analisar as regiões críticas e que por consequência devem receber mais atenção dos projetistas no momento de definir o plano de laminação e a quantidade de material que deverá ser aplicada. Entender tais regiões permite garantir um laminado mais seguro e ao mesmo tempo mais leve.

2 Requisitos necessários para a realização do Projeto

O projeto em questão utilizou-se da bibliografia da DNV GL para os cálculos, permitindo assim apresentar um comparativo confiável entre o resultado encontrado na simulação e o resultado esperado segundo as normas da DNV GL.

As normas referentes ao setor marítimo são divididas em diversas categorias e assim o papel inicial do projeto foi definir em qual categoria a embarcação em questão se encaixava. Como trata-se de um barco de passeio a categoria referente seria a de "Embarcações Leves e de Alta Velocidade" e assim, abaixo serão apresentadas as principais exigências para a mesma.

Um fator importante a ser dito sobre o projeto é que ele não tem como objetivo apresentar e seguir todas as regulamentações da DNV GL. A intenção ao utilizar-se da norma como bibliografia é apenas obter base teórica que possa servir de comparativo com os resultados posteriormente encontrados na modelagem por elementos finitos da embarcação.

2.1 Classificação como Embarcação Leve

Para que uma determinada embarcação possa ser classificada como leve segundo o órgão regulador DNV GL algumas regras devem ser seguidas e caso contrário a mesma deve ser enquadrada em outra categoria. Porém é preciso antes definir alguns conceitos da área naval.

O **deslocamento total** nada mais é que o peso total de água deslocada (dado em toneladas) pela embarcação em uma situação de calado máximo. O **calado máximo** por sua vez, é a distância da linha d'água até o ponto mais baixo do casco em questão e medido em carga plena.

A situação de **carga plena** é definida quando a embarcação apresenta, além do peso da lancha propriamente, o peso do número máximo de passageiros, com tanque de combustível cheio e outros itens necessários para uso em uma navegação. Dessa forma o calado varia conforme a região submersa da embarcação também varia.

Sendo assim, uma embarcação será classificada como "lancha leve" quando apresentar um deslocamento total de água (Δ) não maior que:

$$\Delta = (0.13LB_{max})^{1.5} \quad (1)$$

Com L sendo o comprimento do casco em metros e B_{max} a maior boca em metros (largura do casco) no ponto de L/2 (m).

Após conhecer o valor no qual o deslocamento total não pode ultrapassar devemos calcular o valor efetivo do deslocamento total para a embarcação em questão e assim comparar com o resultado obtido pela fórmula apresentada

anteriormente (equação 1). O deslocamento total é calculado por meio da seguinte equação:

$$\Delta = \nabla \cdot \rho \quad (2)$$

No qual ∇ é o volume submerso da embarcação e dado por:

$$\nabla = L_{pp} B T_{max} C_b \quad (3)$$

Com L_{pp} sendo a distância entre perpendiculares e B a maior boca da região submersa do casco, C_b o coeficiente de blocos e T_{max} o calado máximo.

As **perpendiculares** são linhas perpendiculares que cortam o casco no ponto mais a frente (perpendicular avante) e mais atrás (perpendicular a ré) em contato com a linha d'água.

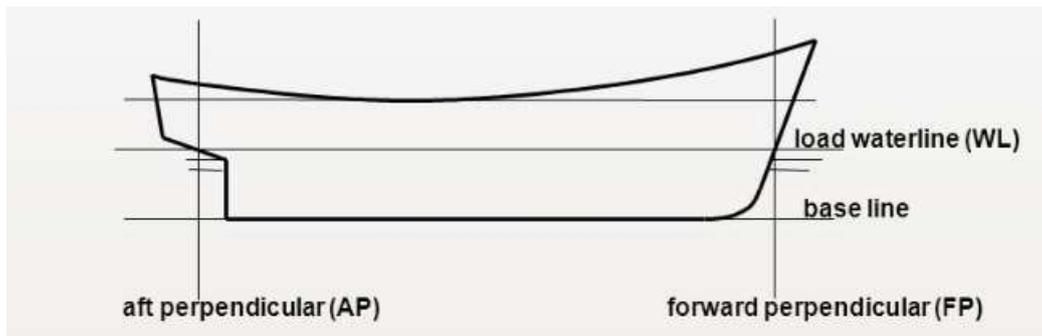


Figura 1: Esquema das Perpendiculares Avante e a Ré de uma Embarcação

Para melhor compreensão, abaixo é apresentada uma figura com a representação das grandezas.

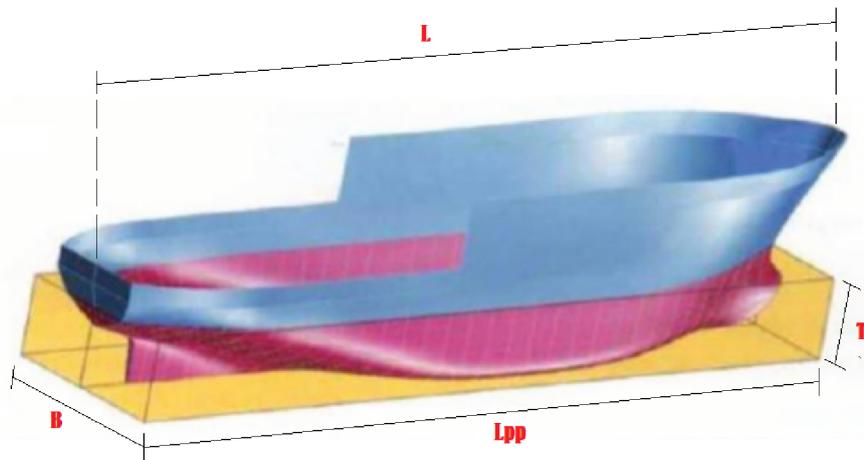


Figura 2: Principais Grandezas de uma Embarcação.

O coeficiente de bloco é a relação do volume submerso da embarcação (em vermelho na figura) e o volume do paralelepípedo com largura B , comprimento L_{pp} e altura T (em amarelo na figura). Sendo assim o valor do coeficiente nunca será maior que 1. Uma embarcação que apresente C_b mais próximo de 1 apresentará maior resistência contra a água em navegação e por outro lado terá maior área interna. Já embarcações com C_b menor tendem a apresentar formas mais finas, apresentando melhor hidrodinâmica porém menor espaço interno.

2.1.1 Cálculo do Deslocamento e Obtenção dos valores das Variáveis

No projeto da embarcação escolhida foi assinado um termo de responsabilidade de construção (TRC) comprovando o cumprimento das prescrições aplicáveis na NORMAM-03/DPC. No TRC são apresentadas as principais características da embarcação. Dessa forma, por meio desse documento foi possível obter os seguintes dados referentes a lancha escolhida para o projeto:

A)	Comprimento Total :	9,30	metros
B)	Comprimento entre Perpendiculares :	7,20	metros
C)	Boca Moldada:	3,03	metros
D)	Pontal Moldado:	0,96	metros
E)	Calado Carregado:	0,58	metros
F)	Calado Leve:	0,48	metros
G)	Arqueação Bruta:	5	
H)	Porte Bruto:	1,64	toneladas
I)	Área de Navegação:		
J)	Capacidade de Motorização:	300-500hp	

L)	Capacidade de Pessoas:	14	Pessoas
----	------------------------	----	---------

Tabela 1: Dados do Termo de Responsabilidade de Construção.

Por meio do TRC foi possível obter $L_{pp} = 7,20m$ e $T_{max} = 0,58m$.

Os valores de B e C_b não haviam sido apresentados no TRC, porém puderam ser obtidos por meio da modelagem 3D. A partir do desenho e do conhecimento da posição da linha d'água foi possível obter a boca em $L_{pp}/2$. O coeficiente de blocos foi obtido, após o conhecimento de B , obtendo o volume submerso do casco no 3D e dividindo pelo volume total do paralelepípedo de altura T , largura B e comprimento L .

O valor da boca é de $B = 2,48m$. Dessa forma o volume do paralelepípedo é dado por $Vol_{par} = L_{pp}BT_{max} = 10,36m^3$. Utilizando recursos do software Solidworks para obter o volume submerso do casco, o resultado de $\nabla = 5,16m^3$ foi encontrado.

O coeficiente de blocos então é justamente a relação do Vol_{sub} pelo Vol_{par} e conseqüentemente vale $C_b = 0,498$. O valor do coeficiente de blocos não precisaria ser calculado nesse momento do projeto porque para encontrar o deslocamento total basta multiplicar o volume submerso do casco pela densidade da água do mar, porém por se tratar de uma propriedade da embarcação foi conveniente já obtê-lo.

Finalmente o deslocamento total é então calculado utilizando $\rho_{mar} = 1.025t/m^3$ e obtem-se o valor de $\Delta = 5,288t$ (Toneladas).

2.1.2 Comparativo dos Resultados para Classificação como Embarcação Leve

Com o resultado do deslocamento total podemos então agora comparar com a faixa de valores para deslocamento definido pela norma, para ser classificado como Embarcação Leve. Segundo a norma o deslocamento total não pode ultrapassar o valor de deslocamento calculado pela equação 1.

A partir do valor de L presente no TRC, valendo $9,30m$ e da maior boca (B_{max}) sendo igual a $2,92m$ em $L/2$, é possível obter o valor de referência para o deslocamento de $\Delta_{DNV} = 6,633t$, que é, de fato, maior que o valor encontrado anteriormente.

Como consequência desse resultado a embarcação do projeto pode ser classificada como lancha leve, pois $\Delta = 5,288t \leq \Delta_{DNV} = 6,633t$, respeitando o requisito necessário.

2.2 Classificação como Embarcação Leve de Alta de Velocidade

Para que uma lancha seja classificada como leve e de alta velocidade, além de respeitar a exigência anterior deve ainda ter capacidade de atingir velocidade maior ou igual a:

$$V = 7.16\Delta^{0.1667} \quad (4)$$

No qual V é a velocidade dada em knots e o Δ o valor do deslocamento total.

A embarcação escolhida para o projeto apresenta uma velocidade máxima em torno de 38 milhas. Mesmo que essa velocidade possa variar de acordo com a motorização escolhida para a embarcação, com o peso sendo transportado e com a condição do mar durante a navegação, essa velocidade pode ser levada em conta, pois a norma apenas nos informa que para ser classificada como de alta velocidade basta atingir pelo menos a velocidade dada pela equação acima.

O valor de referência da DNV utilizando $\Delta = 5,288t$ resulta em $V_{DNV} = 9,45$ knots. Convertendo as 38 milhas que a lancha é capaz de atingir para a unidade de knots temos o valor de $V = 33$ knots. Dessa forma a embarcação do projeto apresenta velocidade superior a velocidade de referência da DNV e, sendo assim, pode ser classificada como lancha leve e de alta velocidade.

2.3 Posicionamento dos Componentes Estruturais

A norma DNV GL define os principais componentes estruturais de uma embarcação, e são eles aqueles que normalmente servem de apoio para os chamados componentes estruturais secundários. Tipicamente os elementos estruturais principais (ou primários) são o próprio casco, o jazente, que é uma armação reforçada que serve como reforço estrutural (figura abaixo) e apresenta longarinas longitudinais e transversais, além também de anteparas que dividem por exemplo a casa de máquinas da cabine da embarcação.



Figura 3: Fotos do Molde do Jazente da Real 315.

A lancha deve apresentar pelo menos duas anteparas estanques transversais ao longo do seu casco, sendo elas a antepara de colisão e uma antepara em cada extremidade da casa de máquinas. As mesmas devem ainda estender-se até um ponto determinado.

A antepara de colisão, como o próprio nome diz, serve para evitar ou reduzir a entrada de água em um evento de colisão e conseqüentemente limitando o dano na parte da proa para frente e dessa forma costumam ser estruturas fortemente reforçadas.

A posição exata da antepara de colisão é também definida pela DNV GL, no qual a mesma deve estar com pelo menos uma distância mínima e máxima da perpendicular avante em metros de, respectivamente:

$$X_{c_{Mnimo}} = 0.05L_{pp} \quad X_{c_{Mximo}} = 3 + 0.05L_{pp} \quad (5)$$

3 Cargas Solicitadas por uma Embarcação

A norma DNV GL apresenta regras para as cargas impostas pelo oceano, pelo peso próprio da carga sendo transportada e dos passageiros. As cargas de projeto são então calculadas por modelos matemáticos existentes e devem apresentar valores de tensões permitidas para que projeto seja aceito pelo órgão certificador. A estrutura da embarcação deve ser capaz de resistir aos carregamentos estáticos e dinâmicos que podem atuar na embarcação em atividade.

Além disso a norma deixa claro que o projeto deve garantir que carregamentos cíclicos, incluindo os de vibração que possam vir a ocorrer na embarcação, não prejudiquem a integridade da estrutura durante sua vida útil e a funcionalidade dos equipamentos.

As principais cargas atuantes em uma embarcação em atividade são os carregamentos dinâmicos e estáticos, as cargas cíclicas referentes a flexão longitudinal e transversal do casco em navegação, as tensões cisalhantes nos cantos vivos, a forte vibração ocasionada pelo impacto das ondas no casco e que ocorrem em intervalos irregulares e também ocasionadas pela vibração dos motores e das hélices em funcionamento. As cargas ocasionadas por conta dessa vibração dos componentes de propulsão não serão abordadas e avaliadas no projeto.

3.1 Condições de Operação da Embarcação

O projetista deve especificar a condição de operação da embarcação em termos de velocidade e altura significativa das ondas. Dessa forma essa informação já deve ser conhecida de antemão. De qualquer forma a DNV

GL determina que para embarcações com $V_{max}/\sqrt{L_{pp}} \geq 3$, onde V_{max} é a velocidade máxima em knots, a altura significativa da onda não pode ser escolhida como menor que $H_s = 0,25m$ para barcos de recreio.

3.2 Aceleração Vertical (a_{cg})

A norma ainda determina valores para o qual as acelerações devem estar, sendo assim é necessário realizar o cálculo dessas grandezas para comparar com os valores determinados pela norma. A partir dos valores encontrados será possível então obter as pressões e por consequência as forças atuando na embarcação.

A fórmula para a aceleração vertical varia de acordo com a relação entre V_{max} e L_{pp} apresentada anteriormente. A relação para a embarcação do projeto vale 12,30 utilizando $V_{max} = 33$ knots e $L_{pp} = 7,20m$. Sendo assim, para $V_{max}/\sqrt{L_{pp}} \geq 10,86$ a aceleração vertical é dada por:

$$a_{cg_i} = \frac{8,38g_0k_\tau}{\left(\frac{L_{pp}}{\Delta^{1/3}}\right)^{0,35}} \left(\frac{H_{s_i}}{B_{WL2}} + 0,084\right) (50 - \beta_{cg}) Ln(F_{Nv}) V_i \sqrt{L_{pp}} \frac{B_{WL2}^2}{1000\Delta} \quad (m/s^2) \quad (6)$$

Com V_i dado em knots, Δ necessariamente em toneladas, H_{s_i} a altura significativa da onda determinada pelo projetista, β_{cg} o ângulo do "v" (figura 4) do casco medido na longitudinal do centro de gravidade e que necessariamente deve estar entre 10 e 30 graus, g_0 o valor da aceleração da gravidade ($9,81m/s^2$), B_{WL2} boca em metros na altura e na metade do comprimento da linha d'água, na situação de carga máxima e medido em $L_{pp}/2$ e, por fim, com:

$$k_\tau = 1,5 - 0,046 \frac{V_i}{\sqrt{L_{pp}}} \quad \text{necessariamente } \geq 0,5$$

$$F_{Nv} = 0,5144 \frac{V_i}{\sqrt{g_0 \Delta^{0,333}}} \quad (7)$$

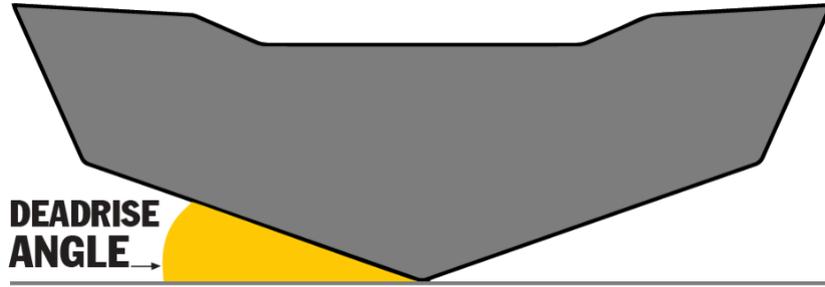


Figura 4: Representação do Ângulo "v" de uma embarcação.

Os valores encontrados para a aceleração vertical não podem ser menores que a aceleração da gravidade e maiores que seis vezes a mesma.

3.3 Pressões de Trabalho

A análise estrutural deve levar em conta as pressões internas e externas que atuam na embarcação, sendo elas as pressões estáticas e dinâmicas devido o mar, as pressões estáticas e dinâmicas devido os líquidos em um reservatório e as pressões devido a carga e os componentes da embarcação.

3.3.1 Pressão Devido Impactos no Fundo do casco

Para velocidades $V_{max}/\sqrt{L_{pp}} \geq 3$ a pressão de impacto do fundo do casco contra o oceano é dado pela seguinte equação:

$$p_{sl} = \frac{a_{cg}\Delta}{0,14A_{ref}} K_{red} K_l K_\beta \quad (\text{kN}/\text{m}^2) \quad (8)$$

No qual:

$$\begin{aligned} A_{ref} &= 0,7 \frac{\Delta}{T_{max}} \\ K_{red} &= 0,445 - 0,35 \left(\frac{u^{0,75} - 1,7}{u^{0,75} + 1,7} \right) \quad \text{com} \quad u = 100 \frac{nA}{A_{ref}} \\ K_\beta &= \frac{50 - \beta_x}{50 - \beta_{cg}} \end{aligned} \quad (9)$$

A_{ref} é a área de referência das cargas de impacto, K_{red} o fator de redução da área de carga, n o número de cascos da embarcação (no caso é um monocasco logo $n = 1$), A é a área de carga e K_β é o fator de correção para o

ângulo " ν " da posição analisada, com β_x o ângulo " ν " da seção transversal na posição analisada e β_{cg} o ângulo " ν " da seção transversal na posição do centro de gravidade. K_l é o fator de distribuição longitudinal e é obtido pela seguinte análise gráfica:

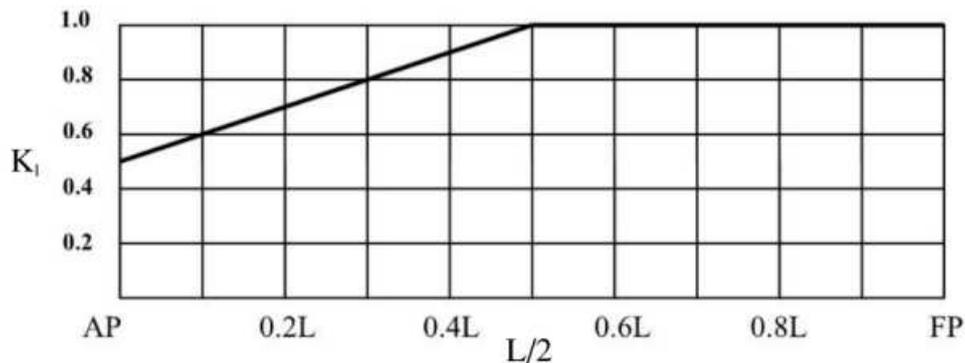


Figura 5: Fator de distribuição Longitudinal

Além da pressão de impacto em consequência da navegação nas ondas existe também a pressão gerada devido o balanço, movimento pendular da embarcação longitudinalmente. Uma embarcação apresenta três tipos de movimentos, o movimento de rolagem ("roll"), movimento rotação na direção transversal da embarcação (yaw) e movimento longitudinal (pitch). Abaixo é apresentada uma figura com a representação dos movimentos:

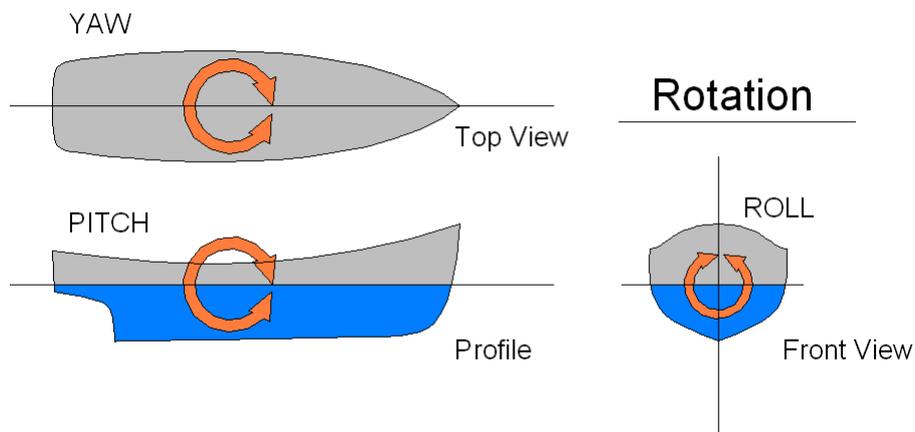


Figura 6: Possíveis movimentos de uma Embarcação.

A pressão do movimento pendular na longitudinal é abordada pela norma

e abaixo segue a formulação.

$$p_{sl_p} = \frac{21}{\tan\beta_x} k_a k_b C_W \left(1 - \frac{20T_{FP}}{L_{pp}}\right) \left(\frac{0,3}{A}\right)^{0,3} \quad (10)$$

Sendo $k_a = 1$ para os painéis de laminado e $k_a = 1, 1 - 20l_a/L_{pp}$ para os reforçadores (jazente), no qual l_a , por sua vez, é a extensão longitudinal dada em m da área considerada. Já $k_b = 1$ para os painéis e $k_b = (L/40)l + 0,5$ para os reforçadores e l sendo a largura do reforçador dada em metros. Por fim, T_{FP} é a medida vertical da perpendicular avante até a linha da quilha alongada, como apresentado na imagem abaixo.

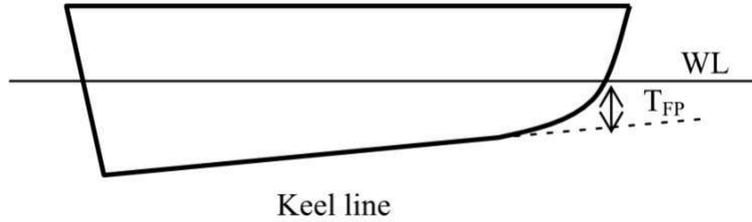


Figura 7: Representação da dimensão T_{FP} .

3.3.2 Pressão Devido Impactos nas Laterais da Embarcação

A pressão devido o impacto nas laterais da embarcação e na região de proa no momento da navegação é dada pela seguinte equação:

$$p_{sl_{LP}} = \frac{0,7L_{pp}C_L C_H}{A^{0,3}} \left(0,6 + 0,4 \frac{V}{\sqrt{L_{pp}}} \text{sen}(\gamma) \cos(90^\circ - \alpha) + \frac{2,1a_0}{C_B} \text{sen}(90^\circ - \alpha) \left(\frac{x}{L_{pp}} - 0,4\right) \sqrt{0,4 \frac{V}{L_{pp}} + 0,6}\right)^2 \quad (kN/m^2) \quad (11)$$

Sendo A novamente a área de carga, x a distância horizontal em metros a partir da perpendicular de ré até o ponto de interesse, C_B o coeficiente de bloco, C_L o fator de correção do comprimento da embarcação dado por:

$$C_L = \frac{250L_{pp} - L_{pp}^2}{15000} \quad (12)$$

C_H que é o fator de correção para a altura acima da linha d'água até o ponto da carga dado por:

$$C_H = 1 - \frac{0,5}{C_W} h_0 \quad (13)$$

No qual por sua vez h_0 é a distância vertical em metros da linha d'água no calado T_{max} até o ponto de carga de interesse e a_0 dado por:

$$a_0 = 3 \frac{C_W}{L_{pp}} + C_V \frac{V}{\sqrt{L_{pp}}} \quad (14)$$

Com $C_V = \frac{\sqrt{L_{pp}}}{50}$ e $C_W = 0,08 L_{pp} f_r$ para embarcações com menos de 100m de comprimento da linha d'água. No qual f_r varia de acordo com a notação de classe relacionada ao tipo de serviço da embarcação segundo a tabela abaixo:

<i>Class notation</i>	f_r
R0	1
R1	0.9
R2	0.8
R3	0.7
R4	0.6
R5	0.5
R6	0.4

Tabela 2: Valores de C_W de acordo com a notação de Classe da embarcação.

As restrições de serviço são dadas em milhas náuticas e refere-se a distância máxima permitida para aquela embarcação de um porto ou zonas de ancoragem. As restrições estão associadas às zonas, áreas e períodos sazonais como definido na "International Convention on Load Lines, 1966, Annex II". Abaixo são então apresentadas todas as restrições e características das mesmas.

Table B1 Service area restrictions			
<i>Service area notations</i>	<i>Seasonal zones (nautical miles)</i>		
	<i>Winter</i>	<i>Summer</i>	<i>Tropical</i>
R0	250	No restrictions	No restrictions
R1	100	200	300
R2	50	100	200
R3	20	50	100
R4	5	10	20
RE	Enclosed waters		

Tabela 3: Restrições de serviço para as embarcações.

Como a embarcação em questão trata-se de uma lancha de recreio, com operação em águas costeiras, grandes baías ou lagos a classe referente a ela é a R4 e dessa forma apresentando $\mathbf{f}_r = \mathbf{0, 6}$.

Por sua vez α é o ângulo a partir da lateral do casco e uma linha horizontal e medido no ponto de interesse. Já γ é o ângulo entre a linha tangente a curvatura lateral da embarcação e o eixo referente a linha de centro. Ambas as dimensões são abaixo apresentadas:

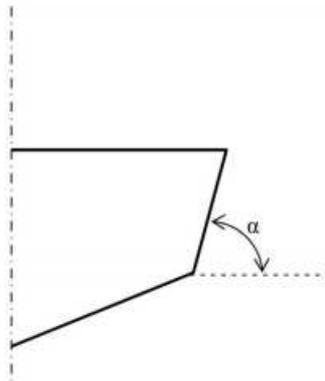


Figura 8: Ângulo α .

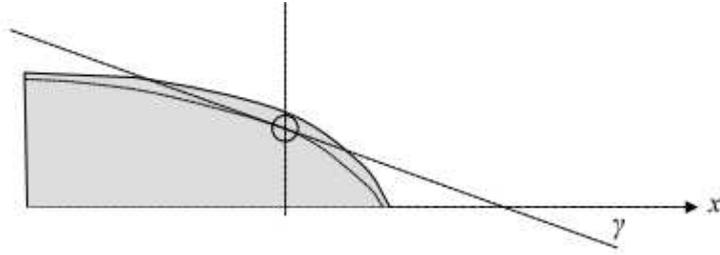


Figura 9: Ângulo γ com o eixo x a linha de centro da embarcação.

3.3.3 Pressão do Mar (Hidrostática)

A pressão do mar obviamente atua em todas as regiões da embarcação em contato com o mar, como a parte inferior e lateral do casco. A pressão afeta tanto pontos abaixo da linha d'água quanto acima da mesma, como o convés, e para cada caso uma formulação será utilizada.

A pressão da embarcação devido o mar em pontos abaixo da linha d'água é dada por:

$$p_{ab} = a \left(10h_0 + \left(k_s - 1,5 \frac{h_0}{T} \right) C_w \right) \quad kN/m^2 \quad (15)$$

Por outro lado, a pressão em ponto acima da linha d'água é dada por:

$$p_{ac} = ak_s(C_w - 0,67h_0) \quad kN/m^2 \quad (16)$$

Sendo h_0 a distância vertical dada em metros da linha d'água no calado T até o ponto de interesse, sempre considerando valor positivo.

O valor do fator de distribuição de carga do oceano k_s , por sua vez, vale 7,5 para pontos que estejam localizados do meio para a parte de trás da embarcação e valendo $5/C_B$ para pontos à frente da perpendicular avante. Para regiões entre a perpendicular avante e o meio da embarcação o valor de k_s varia linearmente entre os valores apresentados anteriormente. Para utilização de referência abaixo é apresentado um gráfico que demonstra essa variação para diferentes valores de C_B .

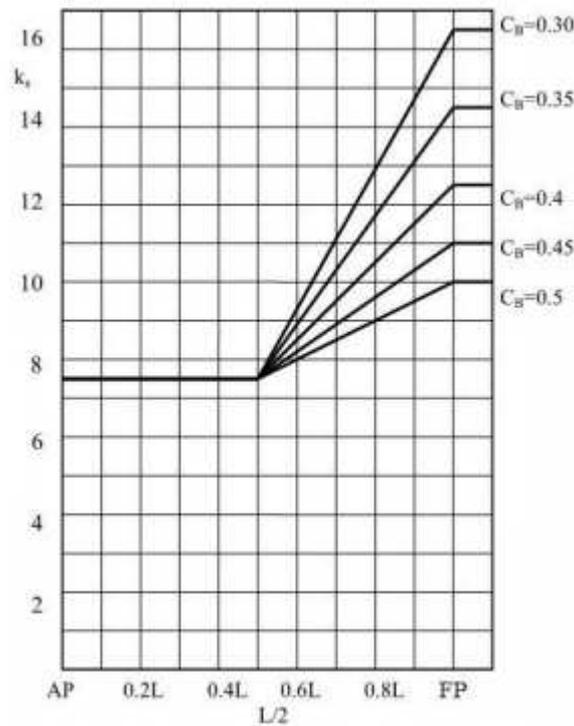


Figura 10: Variação do fator de distribuição de carga devido o oceano k_s .

A variável a é um fator de intensidade de carga que varia de acordo com a região do ponto de interesse segundo a seguinte tabela:

Location		General (all types of crafts)
Bottom, side and transom		1.0
Deck	Weather deck	1.0
	Weather deck higher than 0.1 L above WL	0.8
Deckhouse side		0.8
Front bulkhead	1st tier	2.0
	Other fronts	0.8
End bulkhead		0.8
*) See also Pt.5 Pt.5 Ch.1 for possible individual consideration for each special service and type of ship.		

Tabela 4: Valores do Fator de Intensidade de Carga a .

Dependendo da região da embarcação a DNV GL define valores mínimos para a pressão exercida pelo oceano na embarcação e os resultados não podem ser menores que esses de referência. Abaixo são apresentados esses valores.

Location		Service restriction notation		
		Unrestricted - R0	R1 - R3	R4 - R6
Bottom, side and transom		6.5	5.0	3.0
Deck	Weather deck	5.0	4.0	3.0
	Weather deck higher than 0.1 L above WL	3.0	3.0	3.0
Deckhouse side		5.0	4.0	3.0
Front bulkhead	1st tier	$5 + (5 + 0.05L) \sin \alpha$		5.0
	Other fronts	$5 + 0.025L \sin \alpha$		5.0
End bulkheads		5.0	4.0	3.0
Where α is the angle between the bulkhead and the deck.				

Tabela 5: Pressões Mínimas devido o Oceano.

A norma determina também que para o cálculo da pressão nas anteparas a mesma deve ser calculada da seguinte maneira:

$$p = 10h_b \quad (\text{kN/m}^2) \quad (17)$$

No qual h_b é a distância vertical em m do ponto em questão até o ponto mais alto da antepara ou então até a linha d'água se o ponto mais alto da antepara estiver abaixo da linha d'água.

4 Determinação do Casco e da Modelagem do Projeto

Nesse projeto será usada como embarcação base para análise de resistência ao avanço a lancha de passeio de nome comercial "Real 315" fabricada pelo estaleiro carioca "Real Power Boats". A forma do casco, disponibilizada pela empresa, foi simplificada, retirando varas d'água e outros detalhes a fim de preservar o patrimônio intelectual da empresa.

A modelagem do casco, do jazente e das anteparas foi realizada utilizando o software "Solidworks" e obtendo os valores de suas dimensões diretamente do molde utilizado para a laminação. Abaixo é apresentado o resultado final da modelagem 3D:

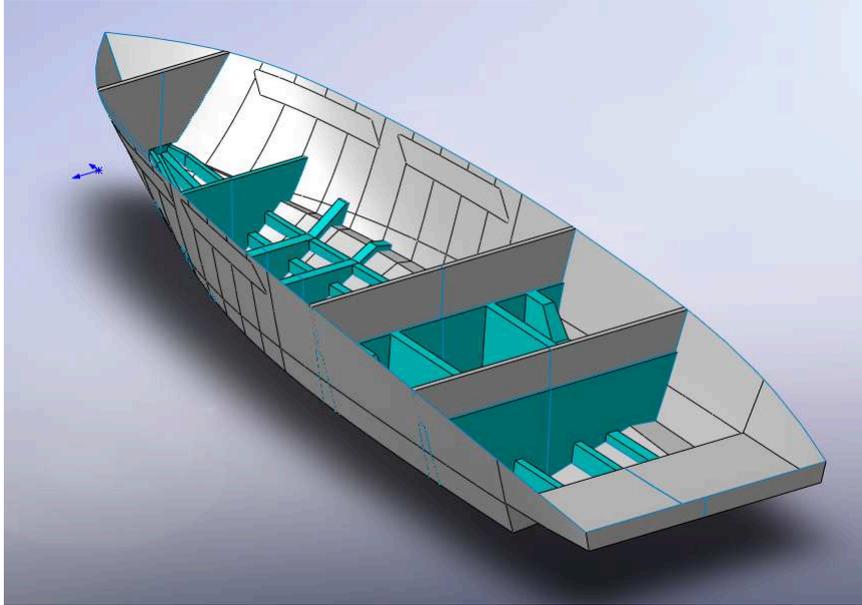


Figura 11: Modelagem 3D da embarcação escolhida .

4.1 Avaliação do posicionamento das Anteparas

Como foi apresentado na seção 2.3 a norma da DNV GL determina a região no qual a anteparada de colisão deve estar. Por meio da modelagem foi possível então avaliar se de fato a embarcação escolhida está de acordo com a norma.

A distância da anteparada de colisão do modelo em relação a perpendicular avante é de apenas $1,13m$. A norma determina que deve apresentar distância mínima e máxima como na equação 5, presente na seção 2.3. Dessa forma a distância mínima vale $X_{CMnimo} = 0,36m$ e $X_{Cmaxima} = 3,36m$. De fato a embarcação escolhida está de acordo com a norma como era de se esperar.

5 Cálculo das Pressões de Projeto

Segundo Mansour (2008), os esforços produzidos pelo efeito de slamming (pressão dinâmica) podem causar vibrações transitórias na embarcação, que por sua vez podem gerar danos estruturais na parte inferior do casco, mesmo em áreas afastadas da região que concentra o impacto, o que pode incluir deflexões nas chapas e estruturas internas da embarcação, podendo ocasionar a falha do material.

Conforme Bertran (2000), normalmente as cargas induzidas por slamming são mais elevadas do que cargas estáticas geradas pelas mudanças no campo de pressão, ocasionadas pela passagem de onda. De qualquer forma, apesar das pressões hidrostáticas não apresentarem valores elevados e consequentemente tão significativos para a modelagem estrutural a mesma ainda assim foi considerada e implementada no software de elementos finitos.

5.1 Determinação da Região de Atuação da Pressão de Slamming

O primeiro passo foi então determinar a região em que as pressões de slamming atuam.

5.1.1 Região do fundo do Casco

Com relação ao fundo da embarcação, segundo a norma, essa área é delimitada tendo uma altura que parte da região mais funda do casco e vai até o chine, ou seja, região com mudança brusca do ângulo β e estende-se por toda o comprimento da linha d'água em uma situação de carga máxima.

Dessa forma, com auxílio do software Solidworks foi possível determinar e representar a região referente ao fundo da embarcação do projeto.

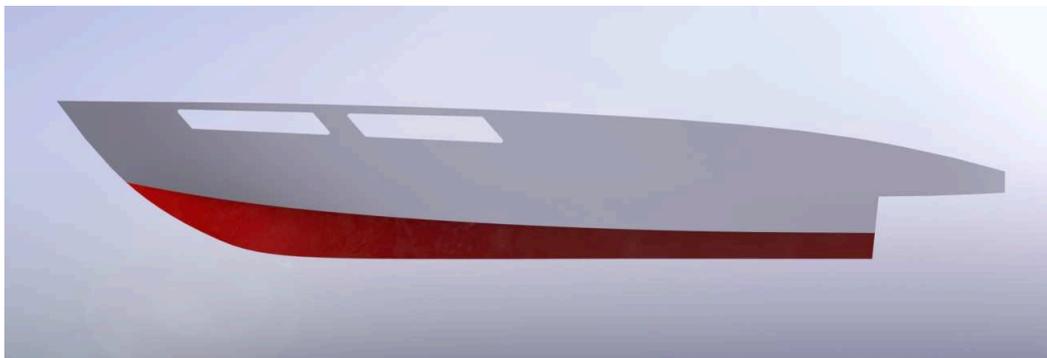


Figura 12: Região do fundo da embarcação em que atua a pressão de slamming (em vermelho).

Na porção do fundo do casco, referente à apresentada na figura acima, a pressão no laminado atinge seus valores mais altos para a pressão. Desse ponto até a popa a pressão tende a decrescer em até 65% do valor máximo dependendo da velocidade da embarcação.

5.1.2 Região Lateral do casco

Por sua vez, para a definição da porção lateral do casco que sofre influência da pressão a DNV GL determina que a mesma atua verticalmente desde a parte lateral logo após o chine até a parte mais alta do casco. Já horizontalmente a mesma atua a partir de uma distância de $0,4L_{pp}$, ou seja a uma distância de $2,88m$, da perpendicular a ré até a proa da embarcação.

Dessa forma foi possível obter a área de atuação tanto das pressões na região do fundo do casco como na região lateral. Tal distribuição de área é abaixo apresentada.

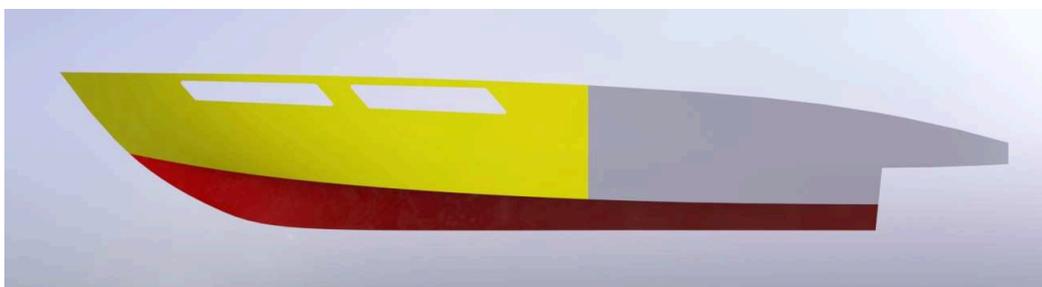


Figura 13: Área de atuação da pressão de slamming no fundo do casco (em vermelho) e nas laterais (em amarelo).

As regiões em cinza são as áreas que não sofrem influência dessas pressões.

5.2 Determinação das Pressões de Slamming no fundo da embarcação pela Norma DNVGL

Para o cálculo das pressões em diferentes pontos da embarcação dividiremos a mesma em painéis, no qual são diferentes conjuntos de laminados do casco da embarcação. Para a análise das pressões de slamming é comum então dividir o casco de acordo com esses painéis.

Para o presente trabalho o casco foi dividido em 6 painéis. São essas as áreas de carga que entrarão na formulação anteriormente apresentada. Abaixo é demonstrado a divisão dos painéis.

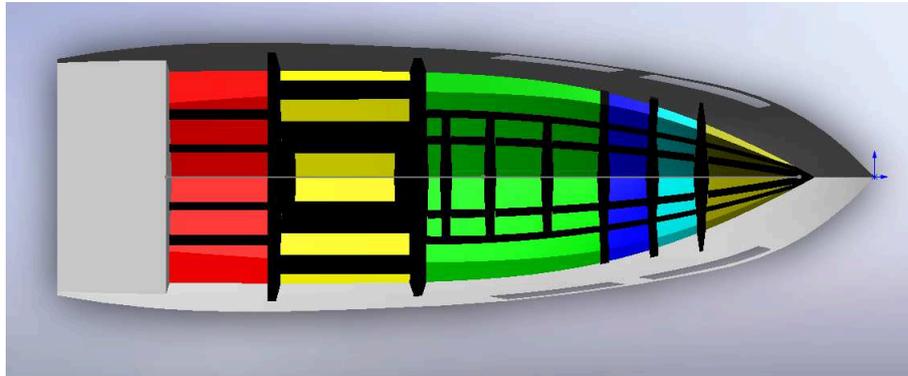


Figura 14: Determinação dos diferentes painéis de laminado que compõem o casco da embarcação.

Para a obtenção do valor da pressão de slamming no fundo da embarcação segundo a formulação da DNVGL é necessário obter o ângulo de deadrise para os diferentes pontos longitudinalmente definidos. A norma determina que os ângulos devem ser determinados no ponto central de cada painel. Por meio do software solidworks foi possível obter esses valores e assim tabelá-los em uma planilha Excel.

Abaixo são então apresentados os valores para o ângulo de deadrise assim como a posição longitudinal do ponto central de cada painel e todas as variáveis necessárias para o cálculo da pressão de slamming no fundo da embarcação.

Painel	Posição Longitudinal (m)	Área do Painel(m ²)	u	K_red	Ângulo de Deadrise (Graus)	Kl	K_beta
1	0,51	1,4	21,93231235	0,195551288	18,05	0,584722222	1,03801696
2	2,04	1,83	28,66866542	0,179459746	17,47	0,783333333	1,056855101
3	3,94	2,61	40,88809659	0,161593767	22,11	1	0,906107862
4	5,25	0,45	7,049671826	0,232464488	30	1	0,64977258
5	5,8	0,39	6,109715582	0,308028163	30	1	0,64977258
6	6,78	0,53	9,24290306	0,264976164	30	1	0,64977258

Tabela 6: Valores das variáveis de interesse para o cálculo da pressão de slamming no fundo da embarcação.

Por meio então da substituição dos valores na equação 8 é possível determinar a distribuição da pressão de slamming no fundo do casco da embarcação.

Assim, o primeiro passo foi determinar a aceleração vertical utilizando $g_0 = 9,81\text{m/s}^2$, $B_{WL2} = 2,48\text{m}$, $\beta_{cg} = 19,22^\circ$ e a área de atuação da pressão no fundo do casco sendo $A = 15,72\text{m}^2$ (com os dois últimos obtidos pelo software Solidworks).

Como o presente trabalho pretende obter a distribuição de tensões na situação de maior solicitação do casco, a velocidade utilizada na formulação da aceleração vertical foi a velocidade máxima, ou seja, $V_{\max} = 33\text{knots}$, assim como a maior altura significativa da onda, porém para essa variável é primeiro necessário definir o conceito de categoria de uma embarcação.

- Categoria A: refere-se a embarcações oceânicas, ou seja, categoria com padrões mais exigentes que abrange embarcações com mais de 40 pés, projetadas para serem autosuficientes para viagens prolongadas. Considerada como categoria adequada para mares de até 7 metros de altura significativa de onda.
- Categoria B: associada a embarcações offshore, estas embarcações são projetadas para ir ao mar com a capacidade de lidar com ventos de 8 a 40 nós e mares de 3,96 metros.
- Categoria C: Inshore, operam em águas costeiras, grandes baías ou lagos, com ventos de até 27 nós e altura significativa de onda de 2,44 metros.
- Categoria D: Interiores, são embarcações que navegam em águas costeiras interiores ou abrigadas, são tipicamente barcos de uso diurno, operando em portos protegidos pequenos lagos e rios com ventos até 16 nós e altura significativa de onda de 1,22 metros.

Sendo assim, a altura significativa da onda foi escolhida como sendo a maior altura permitida para a categoria da embarcação em questão, ou seja, categoria C com $H_{si} = 2,44\text{m}$.

Por outro lado, em uma situação de altura significativa de onda de $2,44\text{m}$, no caso real a embarcação com certeza não estaria navegando em sua velocidade máxima.

Sendo assim as pressões foram calculadas para diferentes velocidades para que possa ser possível avaliar a influência dessa variável na análise final. As pressões foram calculadas para três situações, para a velocidade de 10knots , 20knots e 33knots (velocidade máxima). Para as próximas seções serão apenas apresentados os resultados para o caso de velocidade máxima, mas para os outros casos será possível visualizar os resultados nos apêndices.

Com o auxílio de uma planilha Excel os valores das variáveis foram tabelados e pôde-se assim obter a aceleração vertical em m/s^2 . Abaixo é apresentada essa tabela.

g0 [m/s^2] =	9,81
V_max [knots] =	33
k_trim =	0,934274802
Deslocamento [t] =	5,289
F_Nv =	4,107132343
H_sl [m] =	2,44
B_WL2 =	2,48
Deadrise CG [graus] =	19,22
Aceleração Vertical (m/s^2) =	223,4960732
T_max [m] =	0,58
A_ref [m^2] =	6,383275862
A [m^2] =	7,86
u =	123,1342679
K_red =	0,12577763

Tabela 7: Tabela com as propriedades para a determinação da Aceleração Vertical e Pressão de Slamming no fundo da embarcação.

Após a obtenção da aceleração vertical foi possível então obter as pressões em diferentes pontos na direção longitudinal. Da mesma forma feita para a aceleração vertical foi realizada uma tabela com os valores das variáveis (apresentada na tabela 6) e o posterior cálculo da pressão de slamming no fundo da embarcação por meio da equação 8.

Painel	p_{sl} (Fundo do casco) [kN/m^2]
1	156,994465
2	196,5173594
3	193,6762284
4	251,3658846
5	264,7424725
6	227,7403604

Tabela 8: Tabela com a distribuição longitudinal da pressão de slamming no fundo do casco da embarcação.

Para melhor visualização do resultado foi feito um gráfico da pressão de slamming no fundo do casco pela posição longitudinal resultando na seguinte representação:

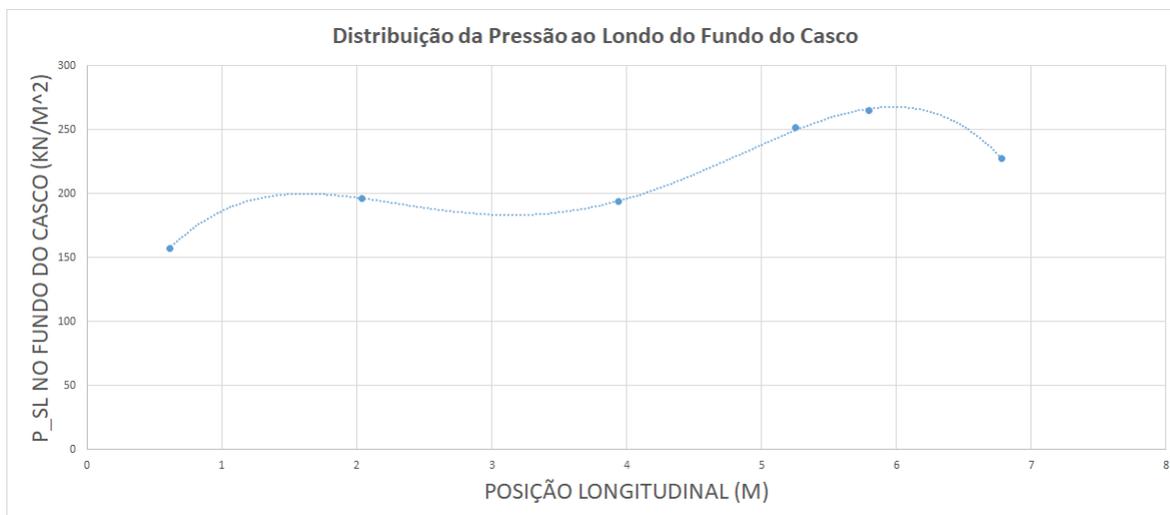


Figura 15: Pressão de Slamming para uma altura significativa de onda de $2,44m$ e uma velocidade de $33knots$.

5.3 Determinação das Pressões de Slamming na lateral da embarcação pela Norma DNVGL

Para o cálculo da pressão lateral foi primeiro necessário determinar os pontos em que a pressão será calculada para assim poder obter a distribuição. Optou-se por usar os pontos internos à região de atuação da pressão lateral, utilizando um espaçamento longitudinal e transversal que se mantivesse constante para esses pontos do interior, e também os pontos limites da região da pressão lateral. Dessa forma, abaixo é apresentada a espécie de malha de pontos nos quais as pressões foram determinadas.

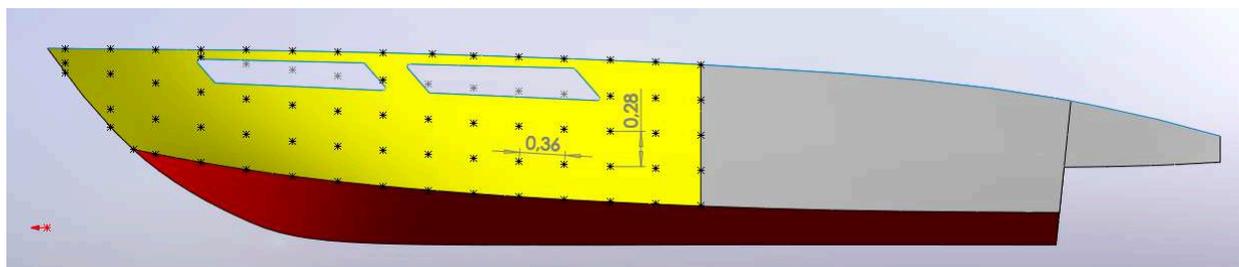


Figura 16: Distribuição dos pontos nos quais foram calculadas as pressões na lateral do casco da embarcação.

Os pontos em cinza são aqueles que estariam na distribuição caso não estivessem localizados nas vigias da embarcação.

Para todos os pontos escolhidos foram então obtidas as variáveis de interesse para o cálculo da pressão de impacto lateral, sendo elas a distância vertical em metros da linha d'água até o ponto de interesse (h_0), a distância longitudinal em metros a partir da perpendicular a ré até o ponto de interesse (x), o ângulo γ e o ângulo α .

Com essas variáveis determinadas foi possível então obter todos os outros valores de interesse para aplicar na fórmula da pressão de slamming na lateral do casco. Sendo assim, todos esses valores foram tabelados em uma planilha excel e na sequência os valores da pressão foram definidos.

Abaixo é apresentada uma tabela com as variáveis definidas e calculadas, assim como uma parte das variáveis retiradas diretamente do solidworks e a pressão calculada (a tabela completa está disponível no apêndice D).

C_L =	0,116544
C_W =	0,3456
f_r =	0,6
A [m^2] =	16,63
V_max [knots] =	33
a_0 =	0,804
C_V	0,053665631
C_B =	0,498

Tabela 9: Valores das variáveis de interesse para o cálculo da pressão lateral.

Posição Longitudinal (m) = x	h_0 (m)	C_H	Ângulo Gamma (graus)	Ângulo Alpha (graus)	p_sl (Lateral do casco) [kN/m ²]
2,88	0,29	0,580439815	1,74	74,83	1,863501289
2,88	0,01	0,985532407	2,62	74,83	0,564086743
2,88	0,27	0,609375	2,86	74,83	0,050729279
2,88	0,55	0,204282407	3,15	74,83	0,020851506
2,88	0,83	-0,200810185	3,47	74,83	-0,195471251
3,24	0,27	0,609375	3,48	75,01	0,618466435
3,24	0,0015	0,997829861	3,59	75,01	1,428669158
3,24	0,28	0,594907407	3,69	75,01	1,100500619
3,24	0,56	0,189814815	3,86	75,01	0,495083779
3,24	0,85	-0,22974537	4,07	75,01	-0,812346323
3,6	0,257	0,62818287	4,86	74,99	3,459201915
3,6	0,019	0,972511574	4,81	74,99	5,408319536
3,6	0,3	0,565972222	4,77	74,99	3,163182094
3,6	0,58	0,16087963	4,83	74,99	0,891596306
3,6	0,86	-0,244212963	4,92	74,99	-1,321883309
3,96	0,24	0,652777778	6,68	74,67	0,126106644
3,96	0,038	0,945023148	6,28	74,67	0,196612261
3,96	0,32	0,537037037	6,1	74,67	0,404155235
3,96	0,6	0,131944444	-	74,67	-
3,96	0,88	-0,273148148	6,02	74,67	-0,299299793
4,32	0,22	0,681712963	9,1	73,58	0,282036544
4,32	0,06	0,913194444	8,09	73,58	3,179973075
4,32	0,34	0,508101852	7,49	73,58	1,637718031
4,32	0,62	0,103009259	-	73,58	-
4,32	0,89	-0,287615741	7,08	73,58	-0,551440192
4,68	0,19	0,725115741	11,86	71,59	1,490741499
4,68	0,085	0,877025463	10,11	71,59	1,71284214
4,68	0,365	0,47193287	8,98	71,59	0,454807581
4,68	0,645	0,066840278	-	71,59	-
4,68	0,9	-0,302083333	7,84	71,59	-1,53819519
5,04	0,17	0,754050926	15,01	68,53	0,348260035
5,04	0,11	0,840856481	12,34	68,53	1,171047083
5,04	0,39	0,435763889	10,61	68,53	3,143949476
5,04	0,67	0,030671296	-	68,53	-
5,04	0,91	-0,316550926	8,63	68,53	-0,219114002
5,4	0,135	0,8046875	18,68	64,18	0,260906397
5,4	0,145	0,790219907	14,79	64,18	4,591728841
5,4	0,425	0,385127315	12,36	64,18	0,096390342
5,4	0,705	-0,019965278	10,68	64,18	-0,017091975
5,4	0,92	-0,331018519	9,65	64,18	-0,071599969

Tabela 10: Valores das variáveis retiradas com auxílio do software Solidworks e também das pressões de slamming na lateral do casco.

Da mesma forma que realizado para a pressão no fundo do casco, com a determinação da distribuição da pressão foi possível obter um gráfico que representa-se essa distribuição. Dessa vez, como a pressão na lateral do casco varia tanto com relação a direção longitudinal quanto na direção transversal, foi gerado um gráfico em três dimensões. Abaixo então é apresentada essa representação:

Pressão de Slamming na Lateral da Embarcação

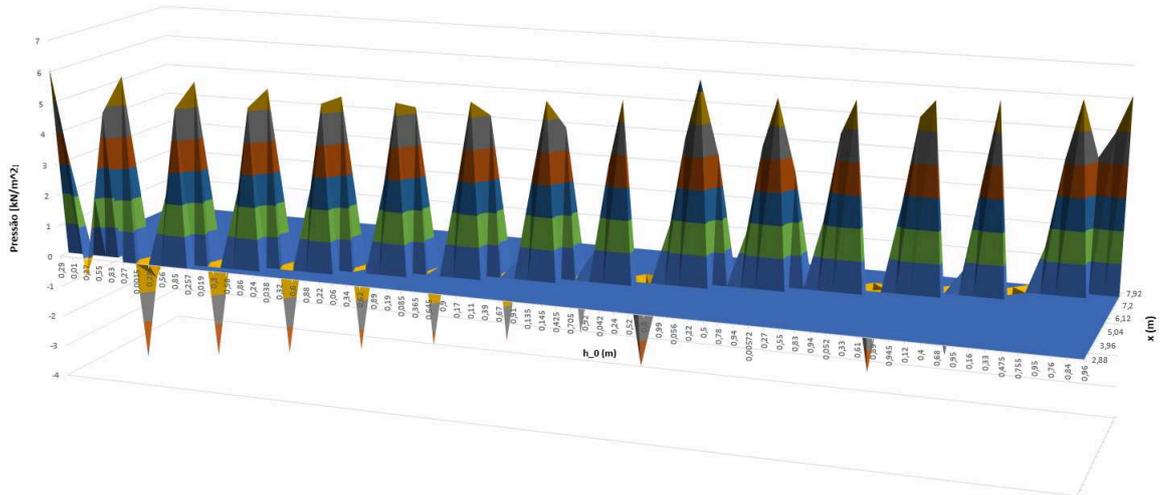


Figura 17: Valores das variáveis retiradas com auxílio do software Solidworks e também das pressões de slamming na lateral do casco.

Assim como para a pressão no fundo, para a pressão na lateral a mesma varia de acordo com a velocidade da embarcação. Os resultados foram então apresentados no apêndice D e E.

5.4 Determinação das Pressão Hidrostáticas no Casco da Embarcação

Como informado na seção 3.3.4 do presente projeto, a pressão hidrostática é calculada com diferentes formulações para pontos abaixo da linha d'água e pontos acima da mesma.

Para o casco utilizado para o projeto aproveitaram-se os pontos da pressão lateral já definidos anteriormente, por já terem sido tabeladas as alturas verticais desses pontos até a linha d'água, variável que entra na formulação, e ainda foram definidos novos pontos para serem distribuídos ao longo do casco. Abaixo é apresentada uma imagem que demonstra todos esses pontos para os cálculos da pressão hidrostática.

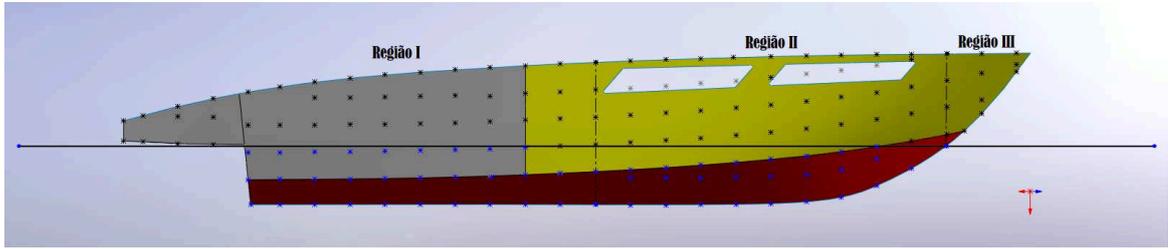


Figura 18: Distribuição dos pontos para o cálculo da pressão hidrostática.

A linha horizontal presente no desenho refere-se a linha d'água na situação de calado máximo. Os pontos em azul são aqueles que se encontram abaixo da linha d'água e os em preto os que se encontram acima da mesma.

Para todos esses pontos foram definidas as distâncias verticais h_0 até a linha d'água (sempre considerada positiva), o valor de carga do oceano k_s que vale 7,5 para pontos que estejam localizado do meio para a parte de trás da embarcação, valendo $5/C_B$ para pontos à frente da perpendicular avante e variando linearmente, como a imagem da figura 13 para um coeficiente de blocos (C_B) de 0,5, para pontos entre essas regiões.

Na região em que o valor de k_s não é constante e sim linear, com valor inicial 7,5 e final de 10, a sua função segue a seguinte equação:

$$k_s = \left(\frac{5}{L_{pp}} \right) x + 5 \quad (18)$$

No qual x é a posição longitudinal do ponto em questão e a equação só é válida para valores de x entre $0,5L_{pp}$ e L_{pp} .

Além disso para o caso em questão o valor de a vale 1,0, pois estamos calculando para pontos localizados no fundo, lateral ou popa da embarcação.

Sendo assim, a linha horizontal da figura acima refere-se à divisão das regiões em que o valor de k_s vale 7,5 (Região 1), região em que ele varia linearmente (Região 2) e a região em que vale 10 (Região 3).

Dessa forma, assim como para as outras pressões, foi feita uma tabela no excel com todas essas variáveis definidas e ainda com o cálculo das pressões hidrostáticas nesses pontos para que uma distribuição pudesse ser definida.

Abaixo são apresentados alguns dos valores das pressões calculadas. A tabela completa está disponibilizada no apêndice E. Para a pressão hidrostática

o seu valor independe da velocidade da embarcação.

Acima da Linha d'água			Abaixo da Linha d'água		
h ₀ (m)	h _c	p _{mar} [N/m ²]	h ₀ (m)	h _c	p _{mar} [N/m ²]
0,0548	7,5	2,31663	0,065	7,5	8,031303448
0,262	7,5	1,27545	0,345	7,5	10,64164138
0,0423	7,5	2,3784275	0,602	7,5	12,38133655
0,317	7,5	0,853075	0,063	7,5	8,073651034
0,0272	7,5	2,45532	0,343	7,5	10,62342897
0,307	7,5	1,043325	0,603	7,5	12,39104276
0,409	7,5	0,536775	0,0604	7,5	8,05004897
0,078	7,5	2,50165	0,34	7,5	10,5581034
0,258	7,5	1,05455	0,603	7,5	12,39104276
0,489	7,5	0,134775	0,0572	7,5	8,020875034
0,216	7,5	1,511625	0,337	7,5	10,56879172
0,557	7,5	-0,206325	0,603	7,5	12,39104276
0,217	7,5	1,501675	0,053	7,5	7,98262986
0,61	7,5	-0,47325	0,333	7,5	10,5323669
0,22	7,5	1,4865	0,603	7,5	12,39104276
0,5	7,5	0,0795	0,046	7,5	7,91888517
0,059	7,5	-0,719475	0,326	7,5	10,46862345
0,223	7,5	1,471425	0,602	7,5	12,38133655
0,503	7,5	0,064425	0,038	7,5	7,846036862
0,7	7,5	-0,3225	0,318	7,5	10,33577379
0,227	7,5	1,451325	0,601	7,5	12,3723034
0,507	7,5	0,044325	0,027	7,5	7,745867586
0,734	7,5	-1,03635	0,318	7,5	10,33577379
0,233	7,5	1,421175	0,6	7,5	12,36372414
0,514	7,5	0,00915	0,014	7,5	7,827486897
0,762	7,5	-1,23705	0,294	7,5	10,1722489
0,242	7,5	1,37895	0,601	7,5	12,37230304
0,522	7,5	-0,03105	0,279	7,5	10,04063172
0,787	7,5	-1,362675	0,602	7,5	12,38133655
0,253	7,5	1,320675	0,257	7,5	9,840235172
0,514	7,5	0,00915	0,603	7,5	12,39104276
0,809	7,5	-1,473225	0,243	7,75	9,962808276
0,266	7,5	1,28535	0,325	7,75	10,70951724
0,546	7,5	-0,15165	0,605	7,75	13,2525517
0,829	7,5	-1,573725	0,22	8	10,00338552
0,07049	7,5	2,584583	4,32	8	10,85041103
0,281	7,5	1,173975	4,32	8,04	13,50048997
0,561	7,5	-0,227025	4,68	8,195	10,02571034
0,847	7,5	-1,684175	4,68	8,322	11,18219862
0,0188	7,5	2,49753	4,68	8,602	13,71933655
0,289	7,5	1,088925	5,04	8,167	10,00073655
0,579	7,5	-0,317475	5,04	8,319	11,40488
0,863	7,5	-1,744575	5,04	8,593	13,35461793
3,96	7,75	0,67245	5,4	8,75	9,979337931
3,96	7,75	0,99405	5,4	8,75	11,53113655

Tabela 11: Tabela com os valores dos parâmetros de interesse e com as pressões hidrostáticas calculadas.

A parte em verde claro refere-se a região 1 definida anteriormente, já a parte em azul claro a região 2 e por fim a parte em cor de pele (apenas visível na tabela completa presente no apêndice E) a região 3.

Assim como para os outros casos foi feito também um gráfico que representasse a pressão hidrostática atuando no casco da embarcação. Foi gerado um gráfico para a pressão hidrostática para pontos abaixo da linha d'água e outro para pontos acima da linha d'água.

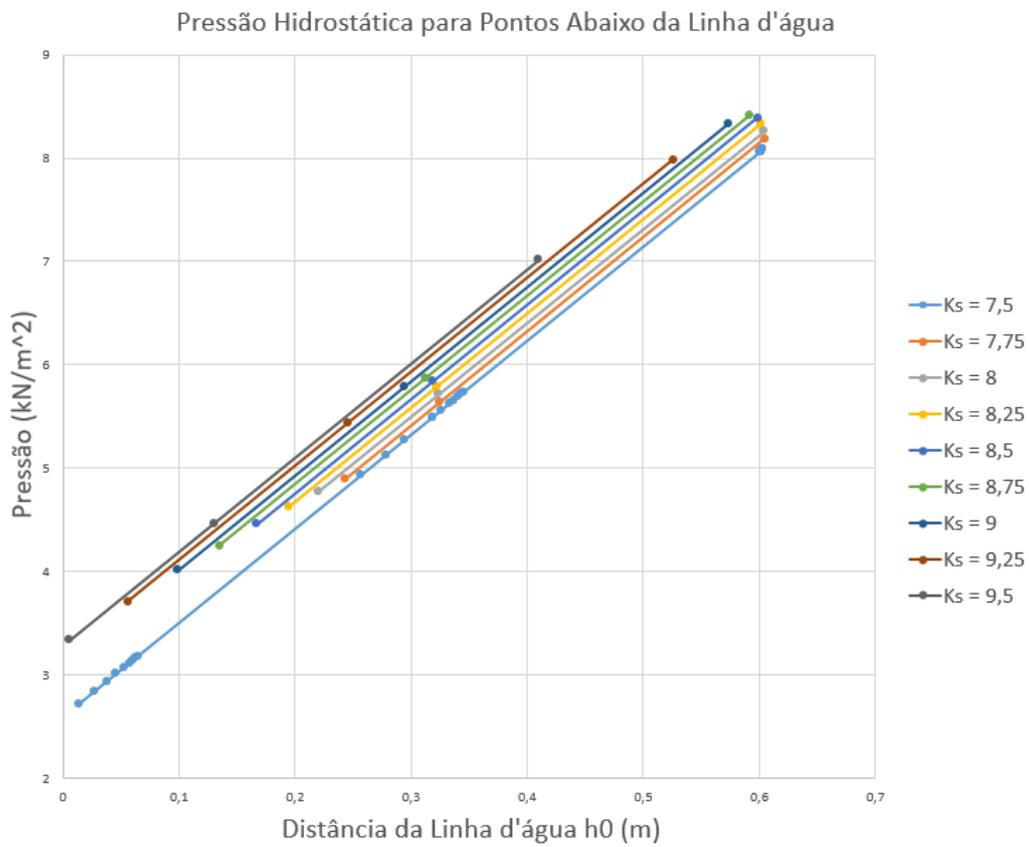


Figura 19: Distribuição da Pressão Hidrostática para pontos abaixo da Linha d'água de acordo com o valor de k_s .

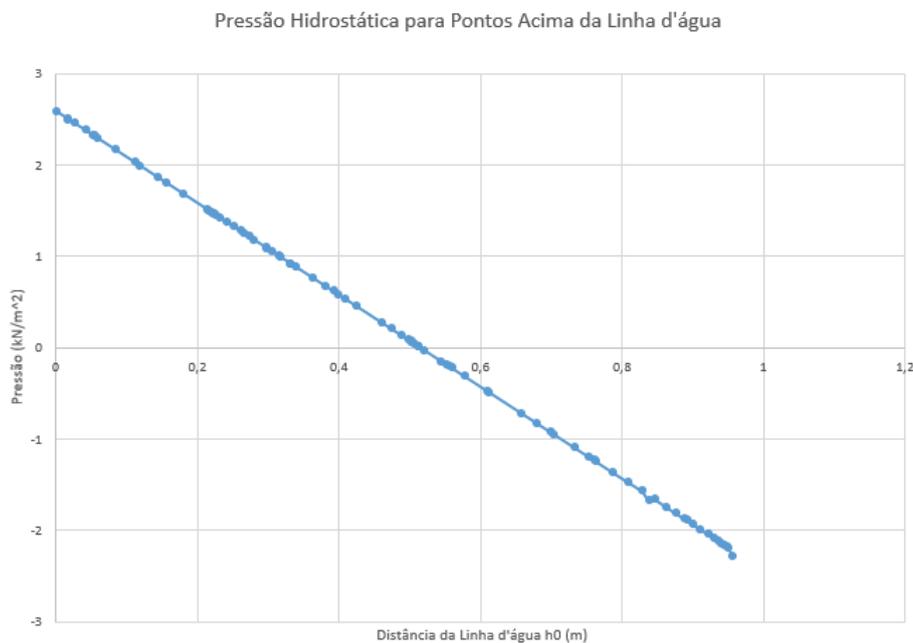


Figura 20: Distribuição da Pressão Hidrostática para pontos acima da Linha d'água.

Como era de se esperar, para pontos acima da linha d'água a interferência da pressão hidrostática é muito menor do que para pontos abaixo da linha d'água.

6 Teoria por trás do Método de Elementos Finitos

O método de elementos permite a solução de diversos problemas de engenharia e vem sendo amplamente utilizado por diversas empresas para a melhoria da qualidade dos produtos e projetos. Permite ainda realizar uma análise computacional sem mesmo ter um protótipo existente e dessa forma barateia e agiliza diversas fases da criação ou desenvolvimento de um produto.

A geometria submetida aos carregamentos e restrições é subdividida em pequenas partes, denominadas de elementos, os quais passam a representar o domínio contínuo do problema. A divisão da geometria em pequenos elementos permite resolver um problema complexo, subdividindo-o em problemas mais simples, o que possibilita ao computador realizar com eficiência estas tarefas (Mirlisenna G.,2016).

Os elementos finitos são conectados entre si por pontos, os quais são denominados de nós ou pontos nodais. Ao conjunto de todos esses elementos e nós dá-se o nome de malha. Em função dessas subdivisões da geometria, as equações matemáticas que regem o comportamento físico não serão resolvidas de maneira exata, mas de forma aproximada por este método numérico. A precisão do Método dos Elementos Finitos depende da quantidade de nós e elementos, do tamanho e dos tipos de elementos da malha. Ou seja, quanto menor for o tamanho e maior for o número deles em uma determinada malha, maior a precisão nos resultados da análise.

As divisões podem apresentar diferentes formas, tais como a triangular, quadrilateral, entre outras, em função do tipo e da dimensão do problema. Como são elementos de dimensões finitas, são chamados de “elementos finitos”, termo que nomeia o método. Para Filho (2008) a escolha da malha a ser aplicada não é óbvia, pois depende do conhecimento das propriedades do elemento visando a melhor representação do problema. Sendo assim, é importante realizar uma verificação da qualidade da resposta em função da malha utilizada na modelagem.

Uma vez definidos a geometria, tipo de elemento e tamanho da malha a ser utilizada na modelagem, deve-se definir as condições de carregamento a serem analisadas. O primeiro grupo de condições de carregamento refere-se as cargas externas atuantes na estrutura, as quais representam as pressões e forças decorrentes da condição de operação analisada. Enquanto que o segundo grupo, representa os vínculos, condições de contorno, existentes na estrutura.

Embarcações são consideradas vigas livre-livre, ou seja, operam desvinculadas com o solo. Nesse caso, a modelagem utilizando métodos numéricos torna-se complicada, uma vez que a discretização acaba por gerar um resíduo numérico que dificulta o equilíbrio das forças, induzindo o movimento de corpo rígido do modelo. Diversas soluções para tal problema já foram propostas por diversos autores e mais para frente será apresentada uma dessas soluções utilizadas para resolver o presente trabalho.

O método, que pode ser aplicado na resolução e diagnóstico de problemas de análise estrutural por meio da obtenção de deslocamentos, deformações e tensões, também permite representar diversos cenários e avaliar o desempenho de produtos com a aplicação de critérios de resistência, rigidez ou fadiga. Além disso, variações do Método dos Elementos Finitos viabilizam a análise térmica, acústica, dinâmica, eletromagnética e de fluídos para casos mais

simples de comportamento linear ou outros não lineares.

Com as tecnologias atuais é possível realizar integrações com os softwares utilizados no desenvolvimento de representação geométrica, conhecidos como CAD (Computer Aided Design), com os sistemas baseados no Método dos Elementos Finitos, denominados de CAE (Computer-Aided Engineerig). Essa integração permite alcançar melhores resultados com análises mais eficientes e ágeis.

7 Metodologia para a Análise

7.1 Seleção do Software à ser utilizado

Hoje em dia existem vários softwares que possibilitam realizar uma análise de elementos finitos para determinadas estruturas. O que varia bastante entre os softwares é a capacidade de determinar a malha e os elementos de interesse.

O "Solidworks", por exemplo, tem um pacote de extensão que permite realizar uma análise por elementos finitos, porém não permite tanta liberdade para a escolha dos elementos da malha assim como a definição das condições de contorno, apenas permitindo especificar se o usuário quer uma malha mais refinada ou não tanto.

Como sabe-se de antemão que elementos de casca são elementos que trazem uma resposta satisfatória e também facilita o tempo e processamento do computador em comparação com elementos tridimensionais, ao escolher um software optou-se por selecionar aquele que desse a liberdade para escolher o tipo de elemento.

Por conta de familiarização com o software "Ansys" e também por saber da possibilidade de variar de acordo com o interesse do usuário a malha e também as condições de contorno, tal software foi selecionado para a realização do presente trabalho.

7.2 Preparação da análise

Ao abrir o programa "Ansys" o primeiro passo é determinar o tipo de análise que será realizada. O software disponibiliza diversas possibilidades de sistemas (figura abaixo).



Figura 21: Possíveis sistemas de análise do Ansys.

A aplicação de forças e pressões em estruturas pode resultar em dois efeitos distintos. O primeiro ocorre quando a resultante de tais esforços não é nula. Neste caso, a resultante provoca o movimento do corpo, e o problema passa a ser um problema de dinâmica, o qual é fundamental para a análise de comportamento no mar, resistência ao avanço e manobra de uma embarcação mas pouco guarda relação com a análise estrutural do casco.

Já o segundo, refere-se às situações onde a resultante dos esforços atuantes na embarcação é nula, ou seja, auto-equilibrada. Neste caso, os esforços provocam a deformação dos elementos estruturais e, por consequência, as tensões sofridas pela estrutura.

Dessa forma, como o presente trabalho tem objetivo de fazer uma análise estrutural da embarcação optou-se por selecionar como sistema o caso de

análise estática, escolhendo assim a opção "Static Structural".

Ao selecionar o sistema, a própria interface do Ansys nos informa uma espécie de passo-a-passo a ser seguido. A figura abaixo representa a interface que aparece no software.



Figura 22: Passo-a-passo que deve ser seguido para uma análise de Elementos Finitos.

O primeiro passo então foi definir as características do material clicando na aba "Engineering Data". Ao abri-la criou-se um novo material e as propriedades do mesmo foram definidas.

7.2.1 Definição das Propriedades do Laminado

Para a definição do laminado a ser utilizado no problema sabe-se que a fibra de vidro do tipo E é utilizada em grande escala para a produção de embarcações de recreio, como é o caso da embarcação do projeto. Para a fabricação de embarcações leves e de alta velocidade os estaleiros costumam utilizar a resina poliéster em seu laminado. Dessa forma as propriedades mecânicas definidas foram propriedades de um laminado de fibra de vidro do tipo E e reforçado com resina do tipo poliéster.

Os materiais compósitos apresentam grandes vantagens em relação a materiais como aço e alumínio. Uma delas está associada à ortotropia, que significa que o material pode resistir de forma diferente quando submetido a cargas em diferentes direções. Dessa forma é possível construir uma embarcação mais leve e resistente colocando fibras apenas nas direções onde existam

forças atuando. Na maioria das vezes peças fabricadas com materiais compostos são produzidas com auxílio de moldes e assim permitindo obter várias formas complicadas (Nasseh, J., 2007).

A maior dificuldade do uso dos materiais compósitos está no fato da variedade de técnicas e combinações disponíveis para a obtenção das diferentes propriedades mecânicas. Um laminado pode ser submetido a ensaios mecânicos para assim determinar suas propriedades. Os estaleiros costumam apresentar planos de laminação para os diferentes componentes da embarcação. Nesse documento são apresentadas e descritas todas as etapas que devem ser seguidas no processo de laminação. O plano de laminação da embarcação em questão foi disponibilizado pela empresa, porém foi simplificado a fim de preservar o patrimônio intelectual da mesma. No apêndice F o mesmo está disponibilizado.

Seguindo o plano de laminação foi basicamente necessário definir as propriedades mecânicas de um tecido unidirecional que, para simplificação do problema, estaria associado a "tecido 600 geral" presente no plano de laminação e também as propriedades de uma manta de fibra de vidro que por sua vez está associada a "mão fina geral" e "mão normal geral". A própria norma da DNV GL será utilizada para a obtenção de tais propriedades. O órgão regulador apresenta formulação para os dois casos.

7.3 Determinação das Propriedades Mecânicas do Laminado

Para tecidos unidirecionais as propriedades mecânicas podem ser obtidas segundo as seguintes equações:

$$E_{11} = E_f \cdot v + E_m(1 - v) \quad [\text{MPa}] \quad (19)$$

$$E_{22} = \frac{E_m}{1 - \nu_m^2} \frac{1 + 0,85 \cdot v^2}{\left((1 - v)^{1,25} + v \frac{E_m}{E_f(1 - v^2)} \right)} \quad [\text{MPa}] \quad (20)$$

$$G_{12} = G_m \frac{1 - v^{0,8}}{(1 - v)^{1,25} + \frac{G_m \cdot v}{G_{f12}}} \quad [\text{MPa}] \quad (21)$$

$$\nu_{12} = \nu_{f12} \cdot v + \nu_m(1 - v) \quad (22)$$

$$G_{13} = G_{12} \quad [\text{MPa}] \quad (23)$$

$$G_{23} = \frac{E_{22}}{2(1 + \nu_m)} \quad [\text{MPa}] \quad (24)$$

No qual E_{11} e E_{22} são os módulos de elasticidade longitudinal e transversal dados em MPa, E_m e E_f os módulos de elasticidade da fibra e da matriz e v é a fração volumétrica do laminado. G_{12} , G_{13} e G_{23} são os módulos de cisalhamento em MPa associados aos planos 12, 13 e 23 respectivamente, G_m e G_{f12} são os módulos de cisalhamento da matriz e da fibra (no plano 12), ν_{f12} e ν_m são os coeficientes de Poisson da fibra (no plano 12) e da matriz e ν_{12} é o coeficiente de Poisson da lâmina no plano 12.

$$v = \frac{v_f}{v_f + ((1 - v_f)(\frac{\rho_f}{\rho_m}))} \quad (25)$$

Para a embarcação em questão a laminação é feita pelo método "spray-up" no qual por meio de uma pistola de pressão a fibra é lançada juntamente da resina e aplicada diretamente no molde. Nesses casos é possível obter laminados com frações volumétricas de fibra de até 40%, sendo assim foi considerado $v_f = 0,4$. Abaixo é apresentada uma tabela com a definição de todas essas variáveis para posteriormente calcular as propriedades mecânicas do tecido propriamente.

Volume de Reforço no Laminado =	0,239520958
Fração de Massa de Reforço =	0,4
Densidade da Fibra [g/m ³] =	2,54
Densidade da Resina [g/m ³] =	1,2
E_Fibra_Longitudinal [Mpa] =	73000
E_Fibra_Transversal [Mpa] =	73000
E_Resina [MPa] =	3000
Coeficiente de Poisson Fibra	0,18
Coeficiente de Poisson Resina	0,316
G_Fibra [MPa] =	30000
G_Resina [MPa] =	1140

Tabela 12: Variáveis de interesse para a obtenção das propriedades mecânicas do tecido unidirecional.

Por meio das equações anteriormente apresentadas os seguintes valores foram então calculados e tabelados.

Módulo de Elasticidade Longitudinal [Mpa] =	E_11	19766,46707
Módulo de Elasticidade Transversal [Mpa] =	E_22	4847,210483
Coefficiente_de_Poisson_12 =	v_12	0,28342515
Coefficiente_de_Poisson_21 =	v_21	0,069502625
Módulo de Cisalhamento [MPa] =	G_12	1989,132749
	G_13	1989,132749
	G_23	1841,64532

Tabela 13: Propriedades mecânicas calculadas do tecido unidirecional.

Para a manta as seguintes equações devem ser utilizadas:

$$E = \frac{3}{8}E_{11} + \frac{5}{8}E_{22} \quad [\text{MPa}] \quad (26)$$

$$G = \frac{1}{8}E_{11} + \frac{1}{4}E_{22} \quad [\text{MPa}] \quad (27)$$

$$\nu = \frac{E}{2G} - 1 \quad (28)$$

No qual E é o módulo de elasticidade da manta em MPa, G é o módulo de cisalhamento da mesma em MPa e ν é o coeficiente de Poisson. E_{11} e E_{22} são obtidos por meio das equações apresentadas anteriormente.

Os resultados para tais propriedades são abaixo apresentados:

Módulo de Elasticidade da Manta [MPa] =	10441,9317
Módulo de Cisalhamento da Manta [MPa] =	3682,611004
Coefficiente de Poisson da Manta =	0,417734821

Tabela 14: Propriedades mecânicas calculadas da manta.

7.4 Definição das propriedades Mecânicas no Ansys

As propriedades foram então definidas e inseridas manualmente na interface do Ansys como um novo material.

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Orthotropic Elasticity			<input type="checkbox"/>	
4	Young's Modulus X direction	19766	MPa	<input type="checkbox"/>	
5	Young's Modulus Y direction	4847,2	MPa	<input type="checkbox"/>	
6	Young's Modulus Z direction	4847,2	MPa	<input type="checkbox"/>	
7	Poisson's Ratio XY	0,28343		<input type="checkbox"/>	
8	Poisson's Ratio YZ	0,4		<input type="checkbox"/>	
9	Poisson's Ratio XZ	0,28343		<input type="checkbox"/>	
10	Shear Modulus XY	1989,1	MPa	<input type="checkbox"/>	
11	Shear Modulus YZ	1841,6	MPa	<input type="checkbox"/>	
12	Shear Modulus XZ	1989,1	MPa	<input type="checkbox"/>	

Tabela 15: Definição das propriedades mecânicas do tecido unidirecional no Ansys.

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Isotropic Elasticity			<input type="checkbox"/>	
4	Derive from	Young'...			
5	Young's Modulus	10442	MPa	<input type="checkbox"/>	
6	Poisson's Ratio	0,41773		<input type="checkbox"/>	
7	Bulk Modulus	2,1155E+10	Pa	<input type="checkbox"/>	
8	Shear Modulus	3,6826E+09	Pa	<input type="checkbox"/>	

Tabela 16: Definição das propriedades mecânicas da manta no Ansys.

7.4.1 Importando a Geometria

No Ansys, o segundo passo após definir as propriedades do Material é então definir a geometria para a análise. O próprio software tem um espaço para desenvolvimento do modelo, porém para o presente trabalho já havia um modelo desenvolvido no software Solidworks. Dessa forma bastou salvar a geometria no formato ".step" e assim importa-la diretamente no Ansys.

Abaixo é apresentada a interface com a geometria já importada e gerada no software:

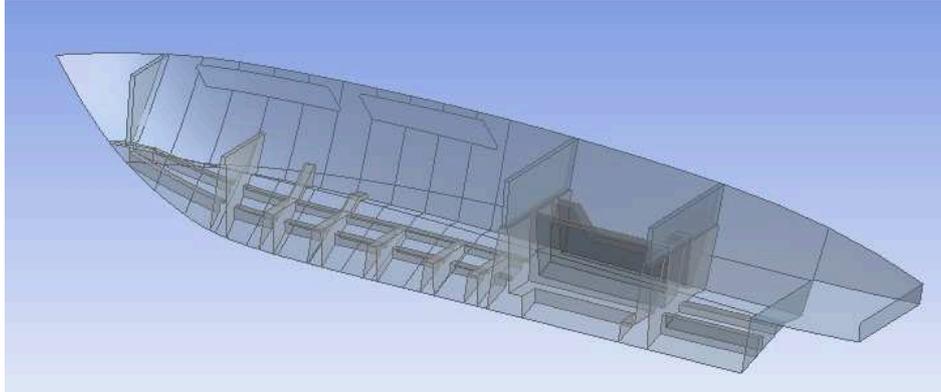


Figura 23: Interface do Ansys com a geometria importada e gerada no Software.

No modelo feito no solidworks haviam duas superfícies, a do casco propriamente e a outra do jazente. Para que a análise funcione corretamente é preciso especificar para o software que ambas as superfícies estão unidas e agirão em conjunto em resposta aos esforços. Dessa forma, por meio do comando "joint" é possível unir as duas superfícies.

Uma tática para facilitar o processamento do computador na análise de elementos finitos é, em caso de modelos simétricos, utilizar apenas uma das partes para assim reduzir o número de elementos e consequentemente nós e por sua vez a solicitação do processador para a análise de elementos finitos. Dessa forma foi utilizado apenas um bordo da embarcação.

Com o modelo importado, por se tratar apenas de superfícies e não sólidos, foi preciso ainda definir a espessura da geometria, no qual nada mais é do que a espessura do laminado da embarcação.

Como o presente projeto tem como objetivo considerar as situações mais críticas, optou-se por utilizar a espessura mínima definida por Lars Larsson e Rolf Eliasson em seu livro "Princípios do Design de Yachts". A fórmula é apresentada abaixo:

$$t_{min_{Fundado}} = f_1(3 + 0,5L + 0,06V_{max} + 0,2\Delta^{0,33}) \quad (\text{mm}) \quad (29)$$

$$t_{min_{Lateral}} = f_1(3 + 0,5L + 0,2\Delta^{0,33}) \quad (\text{mm}) \quad (30)$$

No qual f_1 é o fator de redução do material dado por $f_1 = \sqrt{130/\sigma_{uf}}$ e consequentemente σ_{uf} é a tensão máxima de flexão do material em MPa .

Sendo ainda Δ necessariamente em kg e V_{max} em knots.

Segundo Jorge Nasseh em seu livro de "métodos avançados de construção de compósitos", um laminado básico de uma embarcação de recreio costuma apresentar $\sigma_{uf} = 172,37MPa$. Aplicando então esse valor e os outros parâmetros de interesse temos:

$$t_{min_{Fundo}} = 10,11mm \quad t_{min_{Lateral}} = 9,58mm \quad (31)$$

Para facilitar a solução do problema optou-se por escolher uma espessura única para todo o modelo. Sendo assim, para garantir a espessura mínima tanto do fundo quanto da lateral da embarcação foi utilizado o valor de $t = 11,55mm$.

A espessura calculada refere-se a todo o laminado do casco. Como mencionado anteriormente seguiremos o plano de laminação simplificado da Real 315 e, sendo assim, para facilitar na modelagem, foi considerado que cada camada de manta e de tecido apresentam a mesma espessura. No Ansys é possível então especificar cada camada e adicionar o material a elas.

Seguindo o plano de laminação o laminado apresentará 7 camadas distribuídas e definidas da seguinte forma na interface do Ansys:

Layer	Material	Thickness (m)	Angle (°)
(+Z)			
7	Camada Única	0,0016143	0
6	Manta	0,0016143	0
5	Camada Única	0,0016143	0
4	Manta	0,0016143	0
3	Camada Única	0,0016143	0
2	Camada Única	0,0016143	0
1	Camada Única	0,0016143	0
(-Z)			

Figura 24: Divisão das camadas presentes no laminado da embarcação.

Como é possível perceber cada camada apresenta a mesma espessura, equivalente à espessura do laminado como um todo e dividido pelas 7 subcamadas.

7.4.2 Geração da Malha

Para a determinação da malha a ser utilizada o software permite que o usuário defina suas propriedades livremente. Para o elemento foi determi-

nado um tamanho de $0,05m$. Baseado na experiência de Kopetski (2017), que utilizou o mesmo programa, o mesmo tipo de elemento e um modelo bastante similar de arranjo estrutural, utilizou-se elementos de ordem quadrática.

Ao gerar a malha automaticamente o software nos apresenta as estatísticas da mesma com a quantidade de nós e elementos presentes na modelagem.

Statistics	
Nodes	17394
Elements	18049

Tabela 17: Quantidade de Nós e Elementos gerados na Malha.

A malha gerada é então apresentada abaixo:

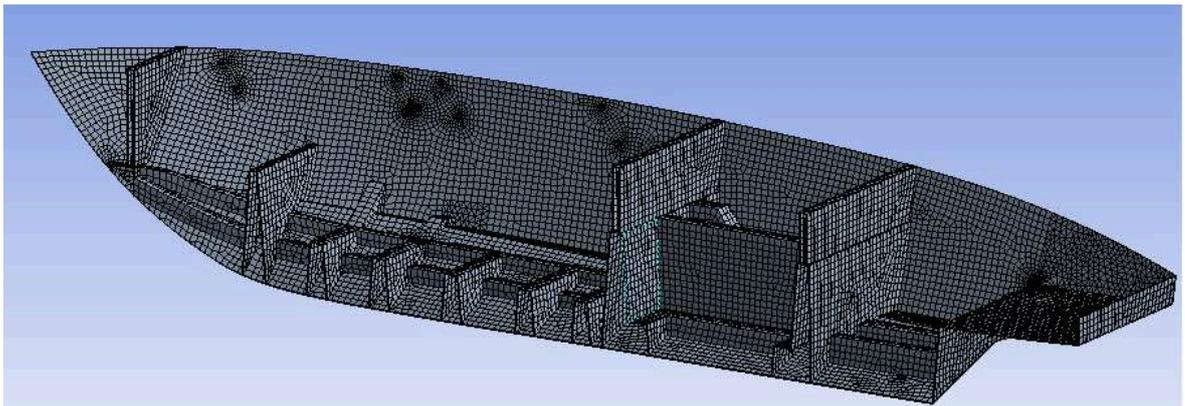


Figura 25: Malha gerada pelo Ansys.

7.4.3 Determinação dos Esforços atuantes na Embarcação

Para fazer a análise estrutural da embarcação é necessário adicionar todos os esforços atuantes no casco da embarcação. Os esforços que serão adicionados são as pressões que atuam no casco, posicionando-as nas respectivas regiões de atuação.

Para as pressões de impacto no fundo da embarcação na aba "static structural" do Ansys inserimos o carregamento de pressão. Após isso é necessário então determinar as regiões de atuação da mesma e também sua distribuição. A distribuição da pressão ao longo da direção longitudinal pode ser determinada aplicando valores conhecidos previamente em determinados pontos da

embarcação ou ainda por meio de uma equação que represente essa distribuição.

Optou-se por determinar a equação que representa a distribuição da pressão, aproximando então a curva de distribuição para o fundo do casco apresentada na seção 5.2, por meio de um polinômio de quarto grau por uma linha de tendência do excel. Dessa forma o seguinte polinômio foi gerado:

$$P(x) = -1,9016x^4 + 27,241x^3 - 127,71x^2 + 231,32x + 57,532 \quad (32)$$

No qual $P(x)$ é a pressão no ponto x e a coordenada x tem início na perpendicular a ré na altura da linha d'água no ponto em que corta o casco, e percorre longitudinalmente a embarcação. Dessa forma esse sistema de coordenadas teve que ser criado no software Ansys. Abaixo ele é apresentado:

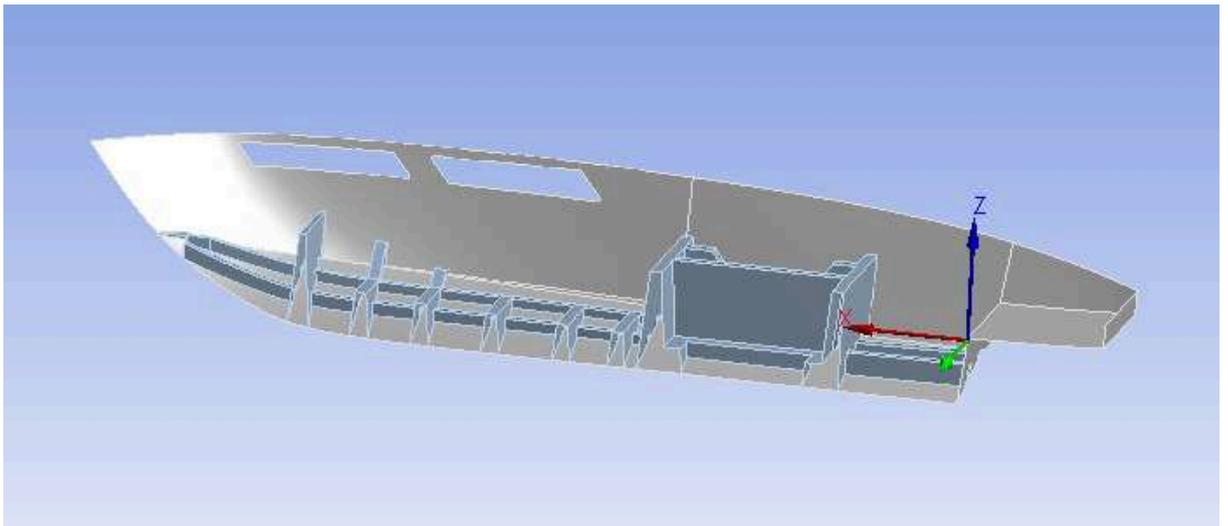


Figura 26: Sistema de coordenada utilizado para a determinação da distribuição no fundo da embarcação.

Vale lembrar que o polinômio acima é referente a uma velocidade de $33knots$. Para as outras velocidades os polnômios estão determinados no gráfico presente no apêndice B.

A região de atuação foi então definida como sendo toda a superfície do fundo do casco da embarcação e o próximo passo foi justamente determinar a distribuição por meio da equação apresentada acima.

Na interface do Ansys determina-se a magnitude da pressão digitando toda a equação e então selecionando o sistema de coordenadas que deve ser utilizado como referência para a equação.

Automaticamente o software gera um gráfico que demonstra essa distribuição e também uma imagem representativa dessa distribuição na superfície da embarcação com uma legenda de cor que representa a magnitude. Dessa forma foi possível analisar se o comportamento estava de acordo com o encontrado na planilha Excel.

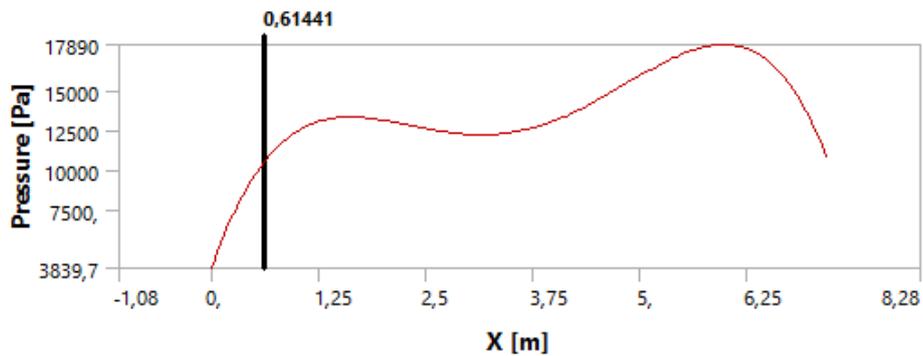


Figura 27: Representação gráfica gerada pelo Ansys para a distribuição da pressão.

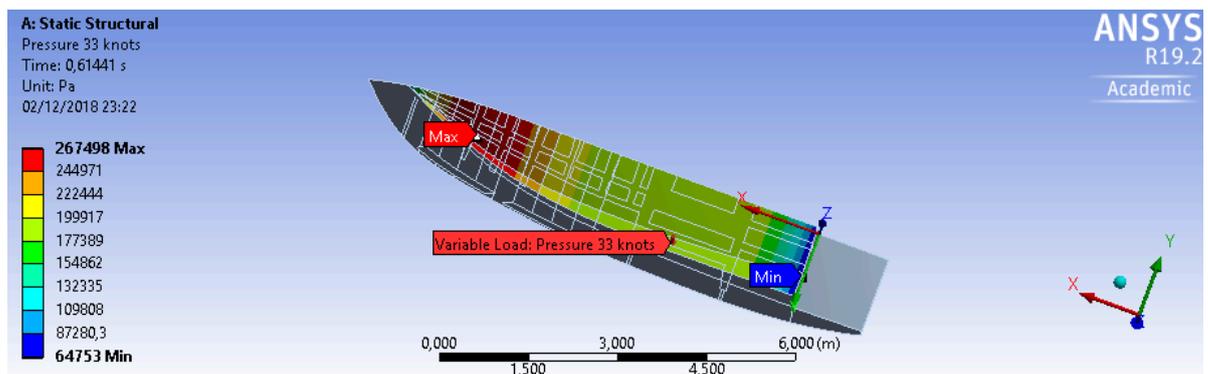


Figura 28: Imagem representativa da distribuição da pressão no fundo da embarcação.

Como é possível perceber o gráfico gerado pelo Ansys de fato condiz com o gerado no Excel.

Para as pressões na lateral da embarcação, como os valores resultantes são valores muito baixos em comparação com os valores calculados para a pressão de slamming no fundo da embarcação, como visto na tabela do excel na seção 5.3 em comparação com a tabela da seção 5.2, tais pressões não foram consideradas na análise de elementos finitos.

Como mencionado em outra seção, para as pressões hidrostáticas em pontos abaixo da linha d'água tivemos como resultado pressões ainda bem abaixo das pressões de slamming no fundo da embarcação mas ainda assim serão levadas em consideração. Já para pontos acima da linha d'água esses também foram desconsiderados e não entrarão na análise por apresentarem valores muito baixos.

Sendo assim, o próximo passo no Ansys foi aplicar a pressão hidrostática para pontos abaixo da linha d'água. Como a mesma é função tanto do fator k_s quanto da altura em relação a linha d'água h_0 , foi gerado um gráfico de Pressão x h_0 para diferentes valores de k_s . O resultado foi apresentado na figura 19, na seção 5.4.

Os valores de k_s variam ao longo da direção longitudinal da embarcação de acordo com o gráfico da figura 10 da seção 3.3.3. Sendo assim as pressões no Ansys foram aplicadas em seções correspondentes a cada valor de k_s . Até $0,5L_{pp}$ o valor de k_s é constante e vale 7,5, a partir desse ponto o casco foi dividido em 10 seções até atingirem o valor de $k_s = 10$.

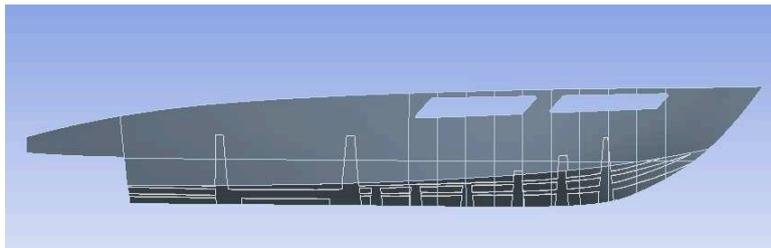


Figura 29: Regiões para aplicação das pressões hidrostática na embarcação.

Como mencionado anteriormente as pressões hidrostáticas consideradas foram apenas as associadas a pontos abaixo da linha d'água. A linha horizontal que "corta" a geometria da embarcação representa a linha d'água.

Para finalmente aplicar então as pressões nas respectivas seções bastou obter as equações para os valores da pressão hidrostática em relação a altura

h_0 do gráfico da figura 27 por meio do comando de linha de convergência do excel. Abaixo são apresentadas as equações para os diferentes valores de k_s .

- $k_s = 7,5 \longrightarrow P(h_0) = 9,1062x + 2,592;$
- $k_s = 7,75 \longrightarrow P(h_0) = 9,1062x + 2,6784;$
- $k_s = 8,0 \longrightarrow P(h_0) = 9,1062x + 2,7648;$
- $k_s = 8,25 \longrightarrow P(h_0) = 9,1062x + 2,8512;$
- $k_s = 8,50 \longrightarrow P(h_0) = 9,1062x + 2,9376;$
- $k_s = 8,75 \longrightarrow P(h_0) = 9,1062x + 3,024;$
- $k_s = 9,00 \longrightarrow P(h_0) = 9,1062x + 3,1104;$
- $k_s = 9,25 \longrightarrow P(h_0) = 9,1062x + 3,1968;$
- $k_s = 9,50 \longrightarrow P(h_0) = 9,1062x + 3,2832;$
- $k_s = 9,50 \longrightarrow P(h_0) = 9,1062x + 3,3696;$
- $k_s = 9,50 \longrightarrow P(h_0) = 9,1062x + 3,456;$

Pode-se perceber que conforme o k_s aumenta 0,25 a equação da pressão é alterada apenas no termo independente, no qual é acrescido em 0,0864 do valor do termo independente da equação anterior.

Com o conhecimento das funções podemos aplicar as pressões no Ansys em suas respectivas áreas de atuação, assim como foi feito para a pressão no fundo do casco. A única consideração a ser feita é levar em conta o eixo de coordenadas a ser utilizado. Ao usar o mesmo sistema de coordenadas apresentado na figura 35 porém agora com o eixo z apontando para baixo basta alterar a variável x para z nas equações acima e aplica-las no Ansys.

Deve-se lembrar que para todos os casos a coordenada de referência deve ser especificada e como a distância até a linha d'água (h_0) deve ser sempre considerada positiva optou-se por escolher o mesmo sistema de coordenadas do caso da pressão no fundo do casco porém com o eixo z apontando para baixo.

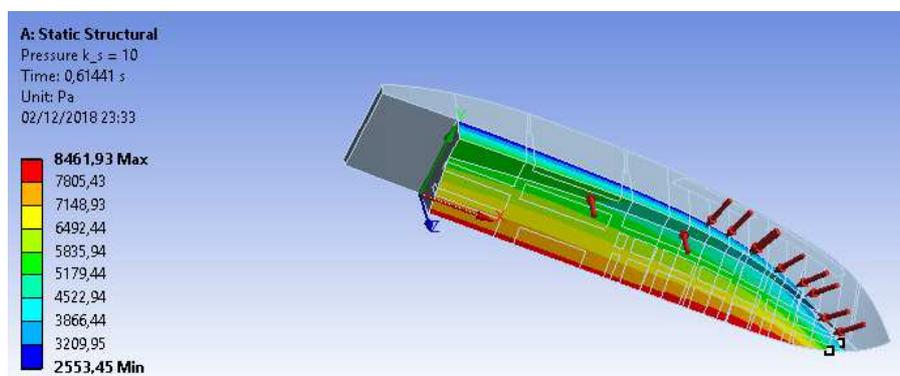


Figura 30: Aplicação da Pressão Hidrostática nas diferentes regiões do casco da embarcação.

A pressão hidrostática independe da velocidade da embarcação, sendo assim o mesmo valor é aplicado para as análises das diferentes velocidades.

7.4.4 Definição das Condições de Contorno

O objetivo da aplicação do método dos elementos finitos é justamente realizar a análise estrutural da embarcação. No entanto, o processo de discretização da geometria invariavelmente impede que se consiga um equilíbrio numérico dos esforços. Em análises envolvendo estruturas vinculadas ao solo, tal característica é de pouca importância, pois eventuais resíduos numéricos são absorvidos por variações infinitesimais das reações ocorridas nos vínculos.

Sendo assim, no caso de embarcações, a definição da condição de fixação é um fator primordial na simulação da estrutura, tendo em vista que a embarcação não deve possuir movimentação de corpo rígido (AMARAL, 2016), pois caso contrário o programa não conseguiria realizar os cálculos para solucionar as equações de equilíbrio.

Existem diversas estratégias que visam mitigar esse problema. Para este trabalho optou-se por seguir a metodologia estabelecida por Amaral (2016) e Kopetski (2017) que consiste em se utilizar elementos do tipo RBE3, os quais ligam os nós da malha dos reforçadores longitudinais e das cavernas (nós escravos) aos graus de liberdade de um ponto de referência (nó mestre) posicionado acima da embarcação.

Assim, os esforços do nó mestre, os quais representam a reação aos esforços externos aplicados à estrutura, são transferidos aos nós escravos de

maneira equilibrada. É importante observar que os elementos RBE3 têm característica de transmitir integralmente os esforços, em teoria, não afetando o resultado da análise. Para tal objetivo o Ansys apresenta uma opção chamada de "deslocamento remoto" que justamente determina um nó mestre em uma posição determinada pelo usuário.

Os nós escravos devem então ser selecionados e o comportamento do tipo "deformable" deve ser determinado para que corresponda a um elemento do tipo RBE3 como realizado por Amaral (2016) e Kopetski (2017). Abaixo são apresentadas duas imagens, a primeira com as regiões dos reforçadores utilizada como nós escravos e, na segunda, a interface do Ansys para a determinação dos parâmetros.

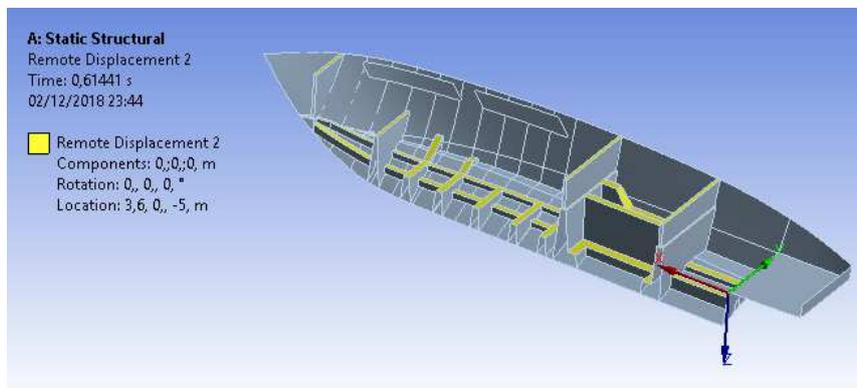


Figura 31: Faces dos reforçadores selecionadas para a determinação dos nós escravos.

<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> - Scope </div>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	41 Faces
Coordinate System	Coordinate System
<input type="checkbox"/> X Coordinate	3,6 m
<input type="checkbox"/> Y Coordinate	0, m
<input type="checkbox"/> Z Coordinate	-5, m
Location	Click to Change
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> - Definition </div>	
Type	Remote Displacement
<input type="checkbox"/> X Component	0, m (ramped)
<input type="checkbox"/> Y Component	0, m (ramped)
<input type="checkbox"/> Z Component	0, m (ramped)
<input type="checkbox"/> Rotation X	0, ° (ramped)
<input type="checkbox"/> Rotation Y	0, ° (ramped)
<input type="checkbox"/> Rotation Z	0, ° (ramped)
Suppressed	No
Behavior	Deformable
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> + Advanced </div>	

Figura 32: Interface do Ansys para a determinação das características do deslocamento remoto.

Por fim, os nós que encontram-se no plano longitudinal de simetria devem ter restringidos os graus de liberdade de deslocamento no eixo transversal, rotação em torno do eixo longitudinal e em torno do eixo vertical, para que a simulação represente de fato o comportamento de uma estrutura simétrica.

8 Resultados

Após todos os passos mencionados anteriormente selecionados as variáveis que estamos interessados para obter os resultados e assim resolvemos a simulação clicando em "solve".

Foram calculadas as tensões equivalentes, a deformação total e as tensões principais para assim determinar as regiões críticas. Abaixo são apresentados as representações gráficas em **escala real** para uma velocidade de 33 knots. Para as outras velocidades os resultados estão apresentados no apêndice G.

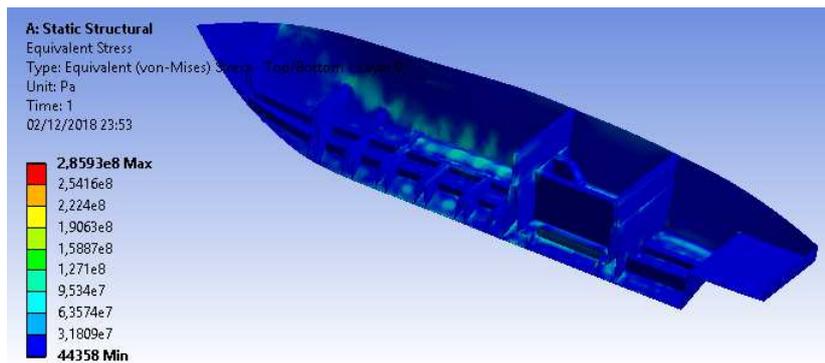


Figura 33: Tensões equivalentes geradas no casco da embarcação na velocidade de 33 knots.

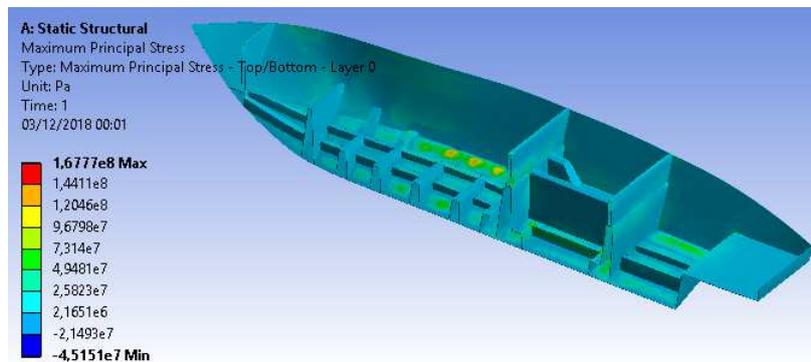


Figura 34: Tensões principais geradas no casco da embarcação na velocidade de 33 knots.

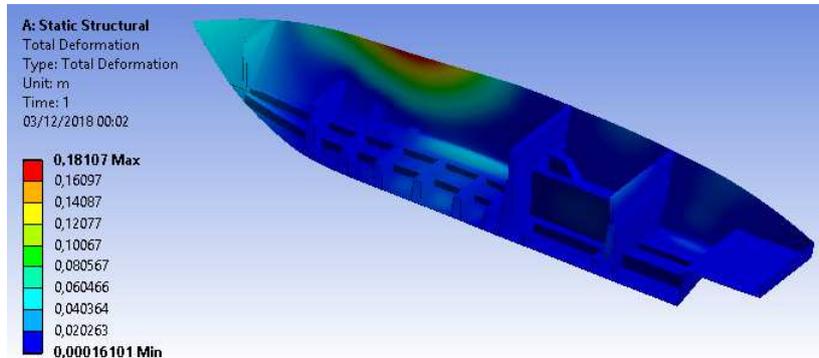


Figura 35: Deslocamento Total gerado no casco da embarcação na velocidade de 33 knots.

A partir dos resultados apresentados observou-se que as regiões de maior solicitação da embarcação são justamente onde não apresentam os reforçadores, porém especialmente no costado próximo da região da proa a solicitação foi a mais elevada e assim apresentou maiores valores de deformação total.

Os gráficos apresentaram algumas regiões locais com valores elevados de tensão. Tais regiões não condizem com a realidade e devem ser desconsiderados. Os esforços locais são consequência das aproximações já discutidas anteriormente referentes ao modelo de elementos finitos.

9 Conclusão

Para realizar os cálculos do projeto estrutural de acordo com a norma também foi necessário especificar a tensão máxima de projeto. A DNV determina que essa tensão deve ser igual a 30% da tensão de ruptura ou 30% da tensão crítica de flambagem do laminado (em caso de painel sanduíche). Por se tratar de painéis com diferentes camadas a tensão de referência vale:

$$\sigma_{max} = 0,3 \times 172,37 = 51,711 \text{ MPa} \quad (33)$$

Os resultados da simulação para a velocidade de 33 knots apresentaram valores elevados para a deformação e para as tensões, mas esse comportamento deve ser analisado de forma crítica. Em uma situação de altura significativa da onda máxima para a classe da embarcação não é de se esperar que a embarcação esteja navegando na sua velocidade máxima, porque, caso

contrário, de fato o casco será muito solicitado.

Os resultados para velocidades mais baixas apresentam deformações e tensões bem menores e estão de acordo com situações de navegação em mares turbulentos. Além disso é preciso lembrar que em uma situação normal uma embarcação é composta do convés chumbado ao casco. A própria presença do convés adiciona resistência mecânica à estrutura e auxilia numa melhor resposta nessas situações.

De qualquer forma, desconsiderando as regiões locais com valores elevados de tensão os casos de $10knots$ e $20knots$ estão apresentando valores de tensão menores que a tensão máxima determinada pela DNV e corroboram a ideia de que na situação considerada uma embarcação não estaria em uma velocidade de $33knots$.

De qualquer forma o objetivo do projeto de analisar o comportamento estrutural do casco de uma embarcação foi alcançado com sucesso e de fato condiz com a teoria. No livro de Larsson Lars e Rolf E. Eliasson é apresentada uma imagem que expressa os principais esforços gerados devido as cargas solicitadas por uma embarcação.

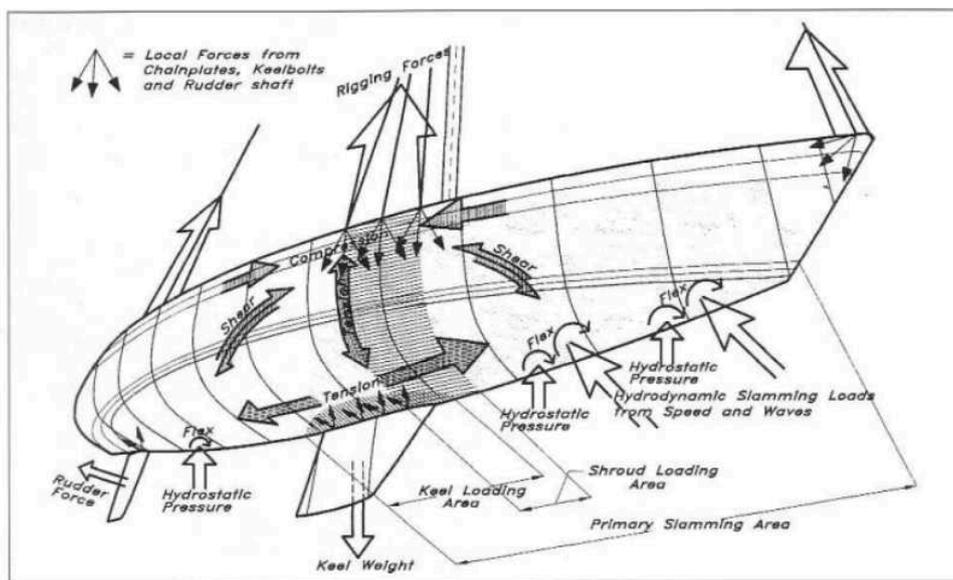


Figura 36: Deslocamento Total gerado no casco da embarcação na velocidade de $33knots$.

Apesar da figura referir-se a um veleiro, o comportamento estrutural de

um casco de uma embarcação de alta velocidade deve apresentar comportamento semelhante e o que a análise de elementos finitos nos mostra é exatamente isso.

Por meio do gráfico referente às tensões principais é possível visualizar a existência de tensões compressivas na região do costado que apresentou maiores deslocamentos e ainda tensões trativas na região do fundo da embarcação, como de fato é apresentado na figura anterior.

Por meio dos resultados apresentados na seção anterior, não é possível dizer que não haverá falha nas regiões nas quais a tensão não ultrapassou a tensão de projeto. Outros tipos de carregamento devem ser estudados, como por exemplo, esforços torcionais ou o caso em que uma onda atinge o casco. Contudo, esses resultados facilitam a visualização das regiões críticas no qual o plano de laminação deve ser feito com mais atenção e aqueles que não necessitam de tantas camadas de laminados. Permitindo assim uma melhor distribuição do material e das regiões que necessitam de mais reforço.

A DNV ainda determina que as fibras do laminado devem estar orientadas na direção dos esforços. Por meio de uma análise adicional seria ainda possível determinar as direções dos esforços e assim determinar como as fibras devem ser dispostas nas diferentes regiões do laminado em um processo de laminação.

10 Referências Bibliográficas

[1] AMARAL, J. R. Otimização do projeto estrutural de embarcações de alta velocidade produzidas em material compósito. 2016. 94 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Naval, Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2016.

[2] Barcos, Métodos Avançados de Construção em Composites, Jorge Nasseh.

[3] Bino Prince Raja D, Stanly Jones Retnam B, Mohini Shukla and Likhitha Thimmaraju Girijadevi, TENSILE, FLEXURAL AND IMPACT PROPERTIES OF GLASS FIBRE REINFORCED POLYMER MATRIX COMPOSITES, International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET), Volume 8, Issue 11, November 2017, pp. 467–475.

[4] D. Bajič, Lloyd's Register EMEA, Trieste, Italy J. Prpić-Oršić, A. Turk, BOWFLARE IMPACT LOADS ON CONTAINERSHIPS. Faculty of Engineering, University of Rijeka, Croatia.

[5] Erdem Akay, Cagatay Yilmaz, Esat S. Kocaman, Halit S. Turkmen and Mehmet Yildiz, Monitoring Poisson's Ratio Degradation of FRP Composites under Fatigue Loading Using Biaxially Embedded FBG Sensors, September 2016.

[6] Eric C. Trupper, Introduction to Naval Architecture, formerly Muckle's Naval Architecture for Marine Engineers, Fourth Edition

[7] ESSS website. Disponível em <https://www.esss.co/blog/metodo-dos-elementos-finitos-o-que-e/>. Acesso em Dezembro de 2018.

[8] <https://www.dci.com.br/industria/setor-nautico-espera-faturar-cerca-de-us-1-5-bilh-o-ate-2020-1.445036>. Acesso em Dezembro de 2018.

[9] <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/water-tight-bulkheads-on-ships-construction-and-arrangement/>. Acesso em Dezembro de 2018.

[10] <https://www.merriam-webster.com/dictionary/collision%20bulkhead>. Acesso em Dezembro de 2018.

[11] <http://www.weldcraftmarine.com/deadrise-defined/>. Acesso em De-

zembro de 2018.

[12] IERVOLINO, L. A. Estudo de resistência ao avanço de embarcação de planeio: Comparação entre método Savitsky e CFD. 2015. 45 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Naval, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015.

[13] KOPETSKI, J. F. Avaliação da deflexão da estrutura terciária no comportamento estrutural de uma embarcação de alta velocidade. p. 84 TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Naval, Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2017.

[14] Larsson Lars and Rolf E. Eliasson, Principles of Yatch Design, Second Edition.

[15] Manual de Construção de Barcos, 4ª edição, Jorge Nasseh.

[16] Mecânica dos Materiais, James M. Gere e Barry J. Goodno, Tradução da 7ª edição norte-americana.

[17] MEDEIROS, G. B. Pressões e Tensões em um Casco de Planeio Utilizando as Normas: ISO (2008), ABS (2018) E DNV (2012). TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Naval, Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018.

[18] Meggiolaro, M.A, Castro, J.T.P, Fadiga, Técnicas e Práticas de Dimensionamento Estrutural sob Cargas Reais de Serviço, Volume I - Iniciação de Trincas

[19] MOURA, M. F. S. F.; MORAIS, A. B.; MAGALHÃES, A. G. Materiais Compósitos: Materiais, Fabrico e Comportamento Mecânico. 2. ed. Porto: Publindústria, 2005.

[20] Real Power Boats Website. Disponível em <http://www.realpowerboats.com.br/>. Acesso em Dezembro de 2018.

[21] Salar Bagherpour, Islamic Azad University, Department of Materials Science and Engineering, Najafabad-Branch, Iran, Fibre Reinforced Polyester Composites, Chapter 6, Submitted: December 15th 2011; Reviewed: April 4th 2012; Published: September 26th 2012; DOI: 10.5772/48697.

[22] SAVITSKY, D. Planing craft. Naval Engineers Journal. v. 97, n. 2, p. 113-141,1985.

[23] Técnica e Prática de Laminação em Composites, Jorge Nasseh.

[24] Timoshenko e Goodier, Theory of Elasticity

Parte I

APÊNDICE A

Acelerações verticais e dados de entrada para as diferentes velocidades.

g0 [m/s ²] =	9,81
V_max [knots] =	10
k_trim =	1,328568122
Deslocamento [t] =	5,289
F_Nv =	1,244585558
H_si [m] =	2,44
B_WL2 =	2,48
Deadrise CG [graus] =	19,22
Aceleração Vertical (m/s²) =	14,91626046
T_max [m] =	0,58
A_ref [m ²] =	6,383275862
A [m ²] =	7,86
u =	123,1342679
K_red =	0,12577763

Tabela 18: Valores para a Aceleração Vertical e dados de interesse para o cálculo da pressão de slamming para a velocidade de 10 knots.

g0 [m/s ²] =	9,81
V_max [knots] =	20
k_trim =	1,157136243
Deslocamento [t] =	5,289
F_Nv =	2,489171117
H_si [m] =	2,44
B_WL2 =	2,48
Deadrise CG [graus] =	19,22
Aceleração Vertical (m/s²) =	108,295169
T_max [m] =	0,58
A_ref [m ²] =	6,383275862
A [m ²] =	7,86
u =	123,1342679
K_red =	0,12577763

Tabela 19: Valores para a Aceleração Vertical e dados de interesse para o cálculo da pressão de slamming para a velocidade de 20 knots.

Parte II

APÊNDICE B

Pressões de Slamming no fundo do casco para as diferentes velocidades.

Painel	p_sl (Fundo do casco) [kN/m ²]
1	10,4779037
2	13,11568511
3	12,92606634
4	16,77630821
5	17,66906962
6	15,19952671

Tabela 20: Valores para a Pressão de Slamming no fundo da embarcação para $V = 10$ knots.

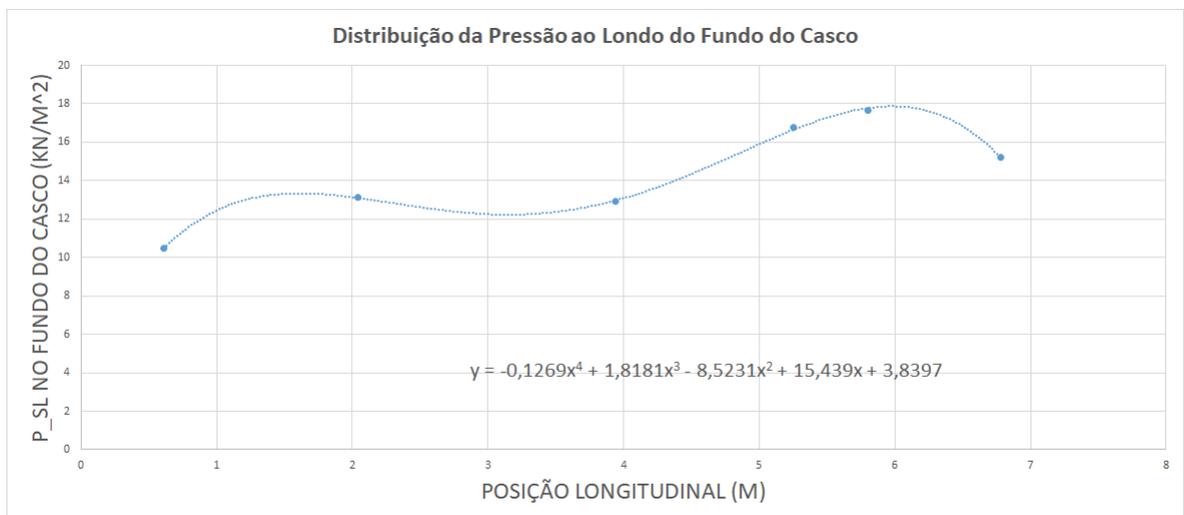


Tabela 21: Gráfico para a Pressão de Slamming no fundo da embarcação para $V = 10$ knots.

Painel	p_sl (Fundo do casco) [kN/m ²]
1	76,07177111
2	95,22261557
3	93,84594368
4	121,7995045
5	128,2811389
6	110,3517412

Tabela 22: Valores para a Pressão de Slamming no fundo da embarcação para V = 20 knots.

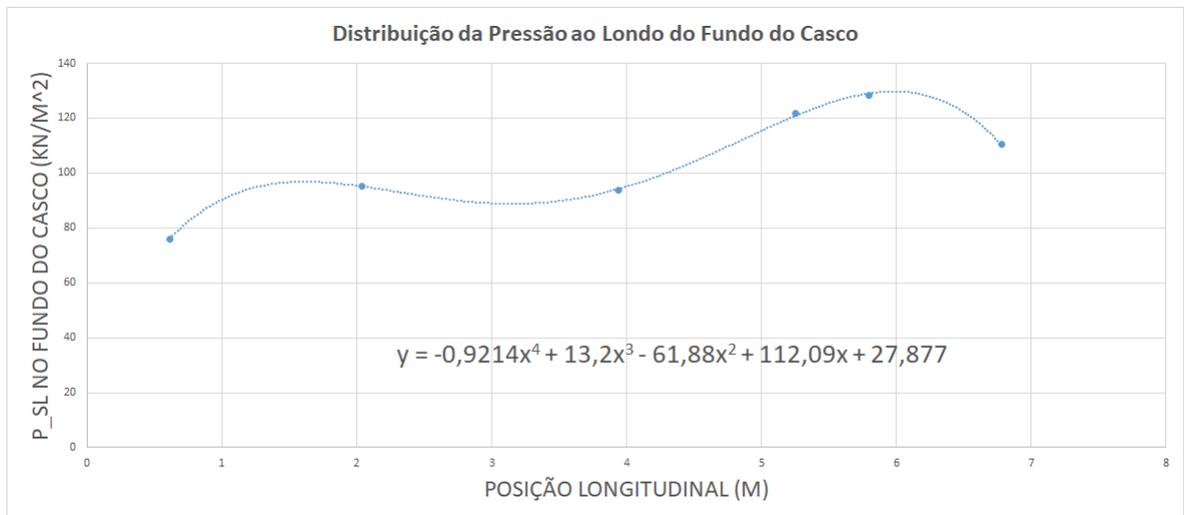


Tabela 23: Gráfico para a Pressão de Slamming no fundo da embarcação para V = 20 knots.

Parte III

APÊNDICE C

Valores das variáveis de interesse para o cálculo da pressão lateral para as diferentes velocidades.

C_L =	0,116544
C_W =	0,3456
f_r =	0,6
A [m^2] =	16,63
V_max [knots] =	10
a_0 =	0,344
C_V	0,053665631
C_B =	0,498
k_s =	10,04016064

Tabela 24: Valores das variáveis de interesse para o cálculo da pressão lateral para $V = 10$ knots.

C_L =	0,116544
C_W =	0,3456
f_r =	0,6
A [m^2] =	16,63
V_max [knots] =	20
a_0 =	0,544
C_V	0,053665631
C_B =	0,498
k_s =	10,04016064

Tabela 25: Valores das variáveis de interesse para o cálculo da pressão lateral para $V = 20$ knots.

Parte IV

APÊNDICE D

Valores das variáveis de interesse e também das pressões de slamming na lateral do casco para as diferentes velocidades.

Posição Longitudinal (m) = x	h_0 (m)	C_H	Ângulo Gamma (graus)	Ângulo Alpha (graus)	p_sl (Lateral do casco) [kN/m ²]	p_mar [kN/m ²]
2,88	0,29	0,580439815	1,74	74,83	0,064262809	6,110679518
2,88	0,01	0,985532407	2,62	74,83	0,000356865	3,560941587
2,88	0,27	0,609375	2,86	74,83	0,009188669	-0,629329819
2,88	0,55	0,204282407	3,15	74,83	0,019258772	2,095690633
2,88	0,83	-0,200810185	3,47	74,83	-0,052067674	4,820711085
3,24	0,27	0,609375	3,48	75,01	0,161493012	5,30255538
3,24	0,0015	0,997829861	3,59	75,01	0,32659883	-3,242429789
3,24	0,28	0,594907407	3,69	75,01	0,229911558	-0,53200766
3,24	0,56	0,189814815	3,86	75,01	0,092719502	2,193012792
3,24	0,85	-0,22974537	4,07	75,01	-0,139536006	5,015355403
3,6	0,257	0,62818287	4,86	74,99	0,531613937	5,81017469
3,6	0,019	0,972511574	4,81	74,99	0,829303617	-3,07211601
3,6	0,3	0,565972222	4,77	74,99	0,484492512	-0,337363342
3,6	0,58	0,16087963	4,83	74,99	0,138022966	2,38765711
3,6	0,86	-0,244212963	4,92	74,99	-0,203945394	5,112672562
3,96	0,24	0,652777778	6,68	74,67	0,003753984	5,655369173
3,96	0,038	0,945023148	6,28	74,67	0,113949318	-2,887203908
3,96	0,32	0,537037037	6,1	74,67	0,119594826	-0,142719024
3,96	0,6	0,131944444	-	74,67	-	2,582301428
3,96	0,88	-0,273148148	6,02	74,67	-0,075639423	5,30732188
4,32	0,22	0,681712963	9,1	73,58	0,000224814	5,473245035
4,32	0,06	0,913154444	8,09	73,58	0,13410279	-2,673095158
4,32	0,34	0,50801852	7,49	73,58	0,055657292	0,051925294
4,32	0,62	0,103009259	-	73,58	-	2,776945746
4,32	0,89	-0,287615741	7,08	73,58	-0,012267214	5,404644039
4,68	0,19	0,725115741	11,86	71,59	0,035720747	5,200058828
4,68	0,085	0,877025463	10,11	71,59	0,039024789	-2,429789761
4,68	0,365	0,47193287	8,98	71,59	0,122761496	0,295230691
4,68	0,645	0,066840278	-	71,59	-	3,020251143
4,68	0,9	-0,302003333	7,84	71,59	-0,242702475	5,501966398
5,04	0,17	0,754050926	15,01	68,53	8,1612E-07	5,01793469
5,04	0,11	0,840856481	12,34	68,53	0,268033951	-2,186484363
5,04	0,39	0,435763889	10,61	68,53	0,454155649	0,538536089
5,04	0,67	0,030671296	-	68,53	-	3,263556541
5,04	0,91	-0,316550926	8,63	68,53	-0,000644911	5,599288357
5,4	0,135	0,8046875	18,68	64,18	0,114944979	4,699217449
5,4	0,145	0,790219907	14,79	64,18	0,652107026	-1,848586807
5,4	0,425	0,385127315	12,36	64,18	0,049083338	0,879163645
5,4	0,705	-0,019965278	10,68	64,18	-0,000112247	5,604184098
5,4	0,92	-0,331018519	9,65	64,18	-0,039704085	5,696610516
5,76	0,042	0,939236111	22,77	58,43	0,027285743	-2,848275045
5,76	0,24	0,652777778	17,47	58,43	0,092916332	-0,921296296
5,76	0,52	0,247685185	14,21	58,43	0,293370509	1,803724156
5,76	0,8	-0,157407407	-	58,43	-	4,528744608
5,76	0,99	-0,432291687	10,7	58,43	-0,05561084	6,377865629
6,12	0,056	0,918981481	26,75	53,04	0,350148419	3,97827104
6,12	0,22	0,681712963	21,24	53,04	0,131312851	-1,115940614
6,12	0,5	0,27662037	16,58	53,04	0,035862293	1,609079838
6,12	0,78	-0,128472222	-	53,04	-	4,33410029
6,12	0,94	-0,359953704	11,82	53,04	-0,035053409	5,891254834
6,48	0,00572	0,991724537	30,39	49,23	0,930447991	3,521967022
6,48	0,27	0,609375	25,78	49,23	0,008987594	-0,629329819
6,48	0,55	0,204282407	21,36	49,23	0,002552447	2,095690633
6,48	0,83	-0,200810185	-	49,23	-	4,820711085
6,48	0,94	-0,359953704	15,52	49,23	-0,012944916	5,891254834
6,84	0,052	0,924768519	33,31	47,84	0,079279072	-2,750952886
6,84	0,33	0,522569444	30,86	47,84	0,000160735	-0,045396865
6,84	0,61	0,117476852	27,01	47,84	0,01013804	2,679623587
6,84	0,89	-0,287615741	22,9	47,84	-0,000279083	5,404644039
6,84	0,945	-0,3671875	22,1	47,84	-0,00336273	5,939915914
7,2	0,12	0,826388889	35,25	49,28	0,573762241	-2,089162204
7,2	0,4	0,41256296	35,47	49,28	0,377623201	0,633858248
7,2	0,68	0,016203704	33,5	49,28	0,001361079	3,3608787
7,2	0,95	-0,374421296	30,31	49,28	-0,392055229	5,988576993
7,38	0,16	0,768518519	35,73	51,5	0,022893924	-1,699873568
7,56	0,33	0,522569444	38,46	53,14	0,037468389	-0,045396865
7,56	0,475	0,312789352	39,18	53,14	0,055486902	1,36577444
7,56	0,755	-0,092303241	39,46	53,14	-0,015834522	4,090794893
7,56	0,95	-0,374421296	38,45	53,14	-0,026120531	5,388576993
7,92	0,76	-0,09957037	44,75	53,44	-4,38508E-05	4,139455972
7,92	0,84	-0,215277778	45,08	53,44	-0,001459741	4,918031244
7,92	0,96	-0,388888889	45,34	53,44	-0,00467932	6,085899152

Tabela 26: Valores das variáveis retiradas com auxílio do software Solidworks e também das pressões de slamming na lateral do casco para V = 10 knots.

Posição Longitudinal (m) = x	h_0 (m)	C_H	Ângulo Gamma (graus)	Ângulo Alpha (graus)	p_sl (Lateral do casco) [kN/m ²]	p_mar [kN/m ²]
2,88	0,29	0,580439815	1,74	74,83	0,542882335	6,110679518
2,88	0,01	0,985532407	2,62	74,83	0,113720031	3,560941587
2,88	0,27	0,609375	2,86	74,83	0,001913751	-0,629329819
2,88	0,55	0,204282407	3,15	74,83	0,019943491	2,095690633
2,88	0,83	-0,200810185	3,47	74,83	-0,103169372	4,820711085
3,24	0,27	0,609375	3,48	75,01	0,3211938	5,92855538
3,24	0,0015	0,997829861	3,59	75,01	-0,70313247	-3,24423789
3,24	0,28	0,594907407	3,69	75,01	0,525375246	-0,53200766
3,24	0,56	0,189814815	3,86	75,01	0,227274714	2,193012792
3,24	0,85	-0,22974537	4,07	75,01	-0,361895842	5,015355403
3,6	0,257	0,62818287	4,86	74,99	1,479018331	5,81017469
3,6	0,019	0,972511574	4,81	74,99	2,310722824	-3,07211601
3,6	0,3	0,565972222	4,77	74,99	1,350991223	-0,337363342
3,6	0,58	0,16087963	4,83	74,99	0,381033455	2,38765711
3,6	0,86	-0,244212963	4,92	74,99	-0,565898984	5,11267762
3,96	0,24	0,652777778	6,68	74,67	0,01533025	5,655369173
3,96	0,038	0,945023148	6,28	74,67	0,143423439	-2,887203908
3,96	0,32	0,537037037	6,1	74,67	0,219210808	-0,142719024
3,96	0,6	0,131944444	-	74,67	-	2,582301428
3,96	0,88	-0,273148148	6,02	74,67	-0,152641056	5,30732188
4,32	0,22	0,681712963	9,1	73,58	0,045223991	5,473245035
4,32	0,06	0,913194444	8,09	73,58	0,910815833	-2,678095158
4,32	0,34	0,503018152	7,49	73,58	0,464195936	0,051925294
4,32	0,62	0,103009259	-	73,58	-	2,776945746
4,32	0,89	-0,287615741	7,08	73,58	-0,143734763	5,406464039
4,68	0,19	0,725115741	11,86	71,59	0,396241811	5,200058828
4,68	0,085	0,877025463	10,11	71,59	0,451131182	-2,42789761
4,68	0,365	0,47193287	8,98	71,59	0,247871983	0,295230691
4,68	0,645	0,066840278	-	71,59	-	3,020251143
4,68	0,9	-0,302083333	7,84	71,59	-0,677297695	5,501966198
5,04	0,17	0,754050926	15,01	68,53	0,07172462	5,017929469
5,04	0,11	0,840856481	12,34	68,53	0,563598978	-2,18484363
5,04	0,39	0,435763889	10,61	68,53	1,306263705	0,538536089
5,04	0,67	0,030671296	-	68,53	-	3,26356541
5,04	0,91	-0,316550926	8,63	68,53	-0,050841531	5,599288357
5,4	0,135	0,8046875	18,68	64,18	0,15656357	4,699217449
5,4	0,145	0,790219907	14,79	64,18	1,915511058	-1,848586807
5,4	0,425	0,385127315	12,36	64,18	0,061372826	0,879164645
5,4	0,705	-0,019953278	10,68	64,18	-0,004312575	3,604184098
5,4	0,92	-0,331018519	9,65	64,18	-0,047262697	5,696610516
5,76	0,042	0,939236111	22,77	58,43	0,392151917	-2,848275045
5,76	0,24	0,652777778	17,47	58,43	0,733228316	-0,921296296
5,76	0,52	0,247685185	14,21	58,43	0,867404977	1,803724156
5,76	0,8	-0,157407407	-	58,43	-	4,528744608
5,76	0,99	-0,432291667	10,7	58,43	-0,452057636	6,377865629
6,12	0,056	0,918981481	26,75	53,04	0,830916958	3,979827104
6,12	0,22	0,681712963	21,24	53,04	0,24570052	-1,115940614
6,12	0,5	0,27662037	16,58	53,04	0,278714911	1,609079838
6,12	0,78	-0,128472222	-	53,04	-	4,33410029
6,12	0,94	-0,359953704	11,82	53,04	-0,296625532	5,891254834
6,48	0,00572	0,991724537	30,39	49,23	2,646241008	3,521967022
6,48	0,27	0,609375	25,78	49,23	0,1820751	-0,629329819
6,48	0,55	0,204282407	21,36	49,23	0,056796804	2,095690633
6,48	0,83	-0,200810185	-	49,23	-	4,820711085
6,48	0,94	-0,359953704	15,52	49,23	-0,002054539	5,891254834
6,84	0,052	0,924768519	33,31	47,84	0,677026152	-2,750952886
6,84	0,33	0,522569444	30,86	47,84	0,048649595	-0,045396865
6,84	0,61	0,117476852	27,01	47,84	0,08639611	2,679623587
6,84	0,89	-0,287615741	22,9	47,84	-0,012412465	5,404644039
6,84	0,945	-0,3671875	22,1	47,84	-0,07818315	5,939915914
7,2	0,12	0,826388889	35,25	49,28	1,529786881	-2,099162204
7,2	0,4	0,411296296	35,47	49,28	1,061861962	0,633553248
7,2	0,68	0,016203704	33,5	49,28	0,012707354	3,3608787
7,2	0,95	-0,374421296	30,31	49,28	-1,13442943	5,988576993
7,38	0,16	0,768518519	35,73	51,5	0,000220805	-1,699873568
7,56	0,33	0,522569444	38,46	53,14	0,036032168	-0,045396865
7,56	0,475	0,312789352	39,18	53,14	0,101415582	1,36577444
7,56	0,755	-0,092303241	39,46	53,14	-0,028474551	4,090794893
7,56	0,95	-0,374421296	38,45	53,14	-0,024404104	5,988576993
7,92	0,76	-0,095957037	44,75	53,44	-0,004903366	4,133455972
7,92	0,84	-0,215277778	45,08	53,44	-0,002120088	4,91803244
7,92	0,96	-0,388888889	45,34	53,44	-0,000771566	6,085899152

Tabela 27: Valores das variáveis retiradas com auxílio do software Solidworks e também das pressões de slamming na lateral do casco para V = 20 knots.

Posição Longitudinal (m) = x	h_0 (m)	C_H	Ângulo Gamma (graus)	Ângulo Alpha (graus)	p_sl (Lateral do casco) [kN/m ²]	p_mar [kN/m ²]
2,88	0,29	0,590429815	1,74	74,83	1,863501289	6,110679518
2,88	0,01	0,985523407	2,62	74,83	0,564086743	3,560941587
2,88	0,27	0,609375	2,86	74,83	0,050729279	-0,629329819
2,88	0,55	0,204282407	3,15	74,83	0,020851506	2,095690633
2,88	0,83	-0,200810185	3,47	74,83	-0,195471251	4,820711085
3,24	0,27	0,609375	3,48	75,01	0,618466435	5,92855538
3,24	0,0015	0,997829861	3,59	75,01	1,428669158	-3,242429789
3,24	0,28	0,594907407	3,69	75,01	1,100500619	-0,53200766
3,24	0,56	0,189814815	3,86	75,01	0,495083779	2,193012792
3,24	0,85	-0,22974537	4,07	75,01	-0,812346323	5,015255403
3,6	0,257	0,62818287	4,86	74,99	3,459201915	5,81017469
3,6	0,019	0,972511574	4,81	74,99	5,408319536	-3,07211601
3,6	0,3	0,565972222	4,77	74,99	3,163182094	-0,337363342
3,6	0,58	0,160687963	4,83	74,99	0,891596306	2,38765711
3,6	0,86	-0,244212963	4,92	74,99	-1,321883309	5,112677562
3,96	0,24	0,652777778	6,68	74,67	0,126106644	5,655369173
3,96	0,038	0,945023148	6,28	74,67	0,196612261	-2,887203908
3,96	0,32	0,537037037	6,1	74,67	0,404155235	-0,142719024
3,96	0,6	0,131944444	-	74,67	-	2,582301428
3,96	0,88	-0,273148148	6,02	74,67	-0,299299793	5,30732188
4,32	0,22	0,681712963	9,1	73,58	0,282036544	5,473245035
4,32	0,06	0,913194444	8,09	73,58	3,179973075	-2,673095158
4,32	0,34	0,508101852	7,49	73,58	1,637718031	0,051925294
4,32	0,62	0,103009259	-	73,58	-	2,776945746
4,32	0,89	-0,287615741	7,08	73,58	-0,551440192	5,404644039
4,68	0,19	0,725115741	11,86	71,59	1,490741499	5,200058828
4,68	0,085	0,877025463	10,11	71,59	1,71284214	-2,425789761
4,68	0,365	0,47193287	8,98	71,59	0,454807581	0,295230691
4,68	0,645	0,066840278	-	71,59	-	3,020251143
4,68	0,9	-0,302083333	7,84	71,59	-1,53819519	5,501966198
5,04	0,17	0,754050926	15,01	68,53	0,348260035	5,01793469
5,04	0,11	0,840856481	12,34	68,53	1,171047083	-2,186484363
5,04	0,39	0,435763889	10,61	68,53	3,143949476	0,538536089
5,04	0,67	0,030671296	-	68,53	-	3,263556541
5,04	0,91	-0,316550926	8,63	68,53	-0,219114002	5,599288357
5,4	0,135	0,8046875	18,68	64,18	0,260906397	4,699217449
5,4	0,145	0,790219907	14,79	64,18	4,591728841	-1,845856807
5,4	0,425	0,385127315	12,36	64,18	0,096390342	0,879163645
5,4	0,705	-0,019965278	10,68	64,18	-0,017091975	3,604184098
5,4	0,92	-0,331018519	9,65	64,18	-0,071599369	5,696610516
5,76	0,042	0,939236111	22,77	58,43	1,471810195	-2,848275045
5,76	0,24	0,652777778	17,47	58,43	2,442554098	-0,921296296
5,76	0,52	0,247685185	14,21	58,43	2,086082777	1,803724156
5,76	0,8	-0,157407407	-	58,43	-	4,528744608
5,76	0,99	-0,432291667	10,7	58,43	-1,516449785	6,377865629
6,12	0,056	0,918981481	26,75	53,04	1,604787864	3,979827104
6,12	0,22	0,681712963	21,24	53,04	0,376425761	-1,115940614
6,12	0,5	0,27662037	16,58	53,04	1,002515475	1,609079838
6,12	0,78	-0,128472222	-	53,04	-	4,33410029
6,12	0,94	-0,359953704	11,82	53,04	-1,096476122	5,891254834
6,48	0,00572	0,991724537	30,39	49,23	6,224123215	3,521967022
6,48	0,27	0,609375	25,78	49,23	0,726639377	-0,629329819
6,48	0,55	0,204282407	21,36	49,23	0,229571061	2,095690633
6,48	0,83	-0,200810185	-	49,23	-	4,820711085
6,48	0,94	-0,359953704	15,52	49,23	-0,001540105	5,891254834
6,84	0,052	0,924768519	33,31	47,84	2,666991722	-2,750952886
6,84	0,33	0,522569444	30,86	47,84	0,326032983	-0,045396865
6,84	0,61	0,117476852	27,01	47,84	0,340078003	2,679623587
6,84	0,89	-0,287615741	22,9	47,84	-0,11386651	5,404644039
6,84	0,945	-0,3671875	22,1	47,84	-0,403131676	5,939915914
7,2	0,12	0,826388889	35,25	49,28	3,510774167	-2,089162204
7,2	0,4	0,421296296	35,47	49,28	2,494549052	0,635858248
7,2	0,68	0,016203704	33,5	49,28	0,043846913	3,3608787
7,2	0,95	-0,374421296	30,31	49,28	-2,705822566	5,988576993
7,38	0,16	0,768518519	35,73	51,5	0,006500013	-1,699873568
7,56	0,33	0,522569444	38,46	53,14	0,012580807	-0,045396865
7,56	0,475	0,312789352	39,18	53,14	0,136838636	1,36577444
7,56	0,755	-0,092303241	39,46	53,14	-0,037610606	4,090794893
7,56	0,95	-0,374421296	38,45	53,14	-0,007671294	5,988576993
7,92	0,76	-0,099537037	44,75	53,44	-0,044700421	4,139455972
7,92	0,84	-0,215277778	45,08	53,44	-0,047082923	4,918033244
7,92	0,96	-0,388888889	45,34	53,44	-0,055394017	6,085899152

Tabela 28: Valores das variáveis retiradas com auxílio do software Solidworks e também das pressões de slamming na lateral do casco para $V = 33$ knots.

Parte V

APÊNDICE E

Acima da Linha d'água			Abaixo da Linha d'água		
h ₀ (m)	k _s	p _{mar} [kN/m ²]	h ₀ (m)	k _s	p _{mar} [kN/m ²]
0,0548	7,5	2,31663	0,065	7,5	3,183903448
0,262	7,5	1,27545	0,345	7,5	5,733641379
0,0429	7,5	2,3764275	0,602	7,5	8,073936552
0,317	7,5	0,999075	0,063	7,5	3,165691034
0,0272	7,5	2,45532	0,343	7,5	5,715428966
0,307	7,5	1,049325	0,603	7,5	8,083042759
0,409	7,5	0,536775	0,0604	7,5	3,142014897
0,018	7,5	2,50155	0,34	7,5	5,688110345
0,298	7,5	1,09455	0,603	7,5	8,083042759
0,489	7,5	0,134775	0,0572	7,5	3,112875034
0,215	7,5	1,511625	0,337	7,5	5,660791724
0,557	7,5	-0,206925	0,603	7,5	8,083042759
0,217	7,5	1,501575	0,053	7,5	3,074628966
0,61	7,5	-0,47325	0,333	7,5	5,624368897
0,22	7,5	1,4865	0,603	7,5	8,083042759
0,5	7,5	0,0795	0,046	7,5	3,010885517
0,659	7,5	-0,719475	0,326	7,5	5,560623448
0,223	7,5	1,474425	0,602	7,5	8,073936552
0,503	7,5	0,064425	0,038	7,5	2,938035862
0,7	7,5	-0,9255	0,318	7,5	5,48773793
0,227	7,5	1,451325	0,601	7,5	8,064830345
0,507	7,5	0,044325	0,027	7,5	2,837867586
0,734	7,5	-1,09655	0,318	7,5	5,48773793
0,233	7,5	1,421175	0,6	7,5	8,055724138
0,514	7,5	0,00915	0,014	7,5	2,719486897
0,762	7,5	-1,23705	0,294	7,5	5,269224828
0,242	7,5	1,37595	0,601	7,5	8,064830345
0,522	7,5	-0,03105	0,279	7,5	5,132631724
0,787	7,5	-1,362675	0,602	7,5	8,073936552
0,253	7,5	1,320675	0,257	7,5	4,532295172
0,514	7,5	0,00915	0,603	7,5	8,083042759
0,809	7,5	-1,473225	0,243	7,75	4,891208276
0,266	7,5	1,25535	0,325	7,75	5,637917241
0,546	7,5	-0,15165	0,605	7,75	8,187655172
0,829	7,5	-1,573725	0,22	8	4,768165517
0,00148	7,5	2,584563	4,32	8	5,715211034
0,281	7,5	1,179975	4,32	8	8,264948966
0,561	7,5	-0,227025	4,08	8,25	4,639510345
0,847	7,5	-1,664175	4,68	8,25	5,783398621
0,0188	7,5	2,49753	4,68	8,25	8,333136552
0,299	7,5	1,089525	5,04	8,5	4,458336552
0,579	7,5	-0,317475	5,04	8,5	5,84248
0,863	7,5	-1,744575	5,04	8,5	8,392217931
3,96	0,382	0,67245	5,4	8,75	4,253337931
3,96	0,318	0,99405	5,4	8,75	5,865136552
3,96	0,677	-1,814925	5,4	8,75	8,414874483
4,32	0,0602	2,289495	5,76	9	4,011514483
4,32	0,34	0,8835	5,76	9	5,787624828
4,32	0,89	-1,88025	5,76	9	8,337362759
4,68	0,085	2,164875	6,12	9,25	3,706747586
4,68	0,365	0,757875	6,12	9,25	5,436926897
4,68	0,902	-1,94095	6,12	9,25	7,986664828
5,04	0,113	2,034175	6,48	9,5	3,335287903
5,04	0,393	0,617175	6,48	9,5	4,467606897
5,04	0,912	-1,9908	6,48	9,5	7,016744828
5,4	0,145	1,863375	6,84	9,75	5,464027586
5,4	0,425	0,456375			
5,4	0,705	-0,950625			
5,4	0,923	-2,046075			
5,76	0,181	1,662475			
5,76	0,461	0,275475			
5,76	0,911	-2,086275			
6,12	0,224	1,4664			
6,12	0,504	0,0594			
6,12	0,938	-2,12145			
6,48	0,274	1,21515			
6,48	0,554	-0,19185			
6,48	0,942	-2,14155			
6,84	0,053	2,332675			
6,84	0,323	0,918675			
6,84	0,613	-0,488325			
6,84	0,893	-1,895325			
6,84	0,946	-2,16165			
10	0,12	1,989			
10	0,4	0,582			
10	0,68	-0,825			
10	0,949	-2,176725			
10	0,157	1,893075			
10	0,333	0,918675			
10	0,475	0,205125			
10	0,755	-1,201875			
10	0,952	-2,1918			
10	0,764	-1,2471			
10	0,839	-1,6781075			
10	0,957	-2,298225			

Tabela 29: Tabela completa com os valores dos parâmetros de interesse e com as pressões hidrostáticas calculadas.

Parte VI

APÊNDICE F

Plano de Laminação Casco da Real 315.

1. APLICAR MÃO FINA GERAL.
2. APLICAR UMA MÃO NORMAL GERAL.
3. APLICAR UMA MÃO NORMAL GERAL.
4. APLICAR UM TECIDO 600 GERAL.
5. APLICAR UMA MÃO NORMAL GERAL.
6. APLICAR UM TECIDO 600 GERAL.
7. APLICAR UMA MÃO NORMAL GERAL.

Figura 37: Plano de Laminação simplificado do casco da Real 315.

Parte VII

APÊNDICE G

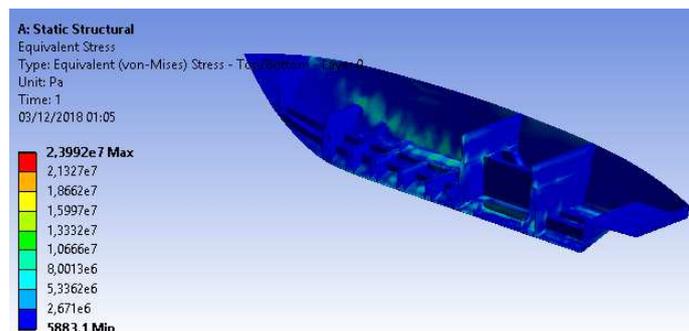


Figura 38: Tensões equivalentes geradas no casco da embarcação na velocidade de 10 knots.

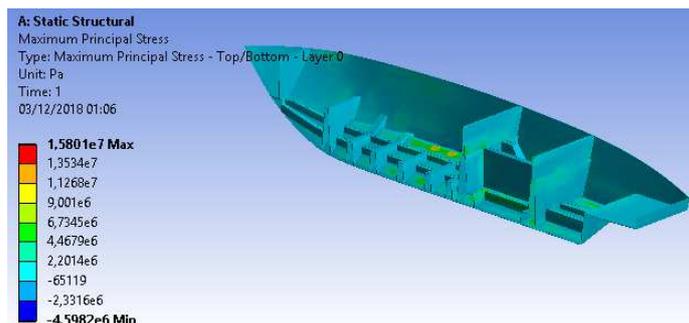


Figura 39: Tensões principais geradas no casco da embarcação na velocidade de 10 knots.

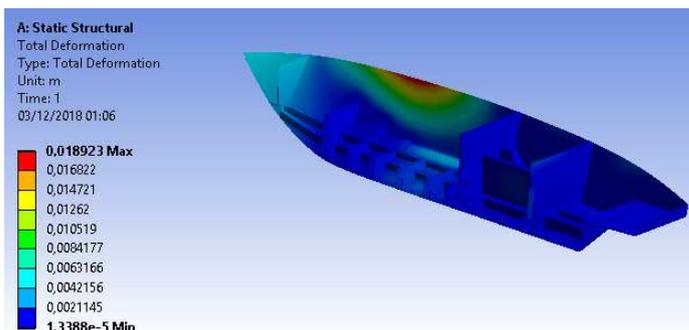


Figura 40: Deslocamento Total gerado no casco da embarcação na velocidade de 10 knots.

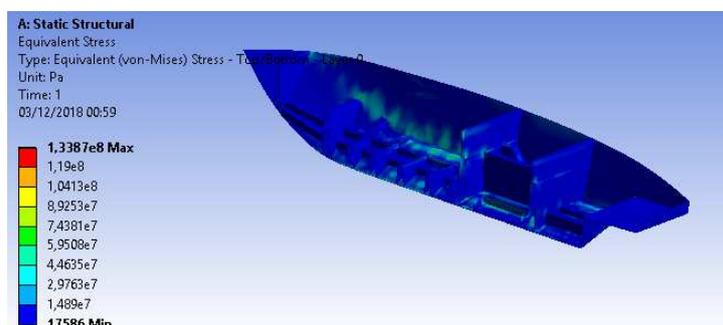


Figura 41: Tensões equivalentes geradas no casco da embarcação na velocidade de 20 knots.

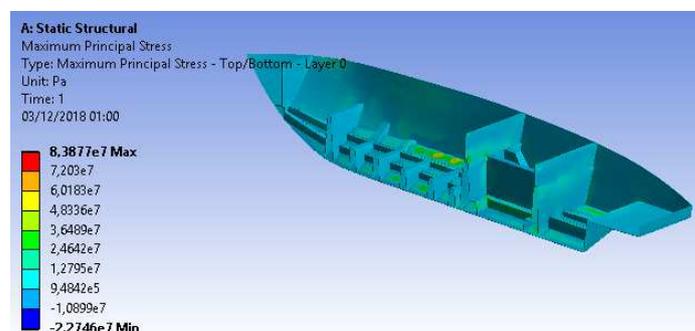


Figura 42: Tensões principais geradas no casco da embarcação na velocidade de 20 knots.

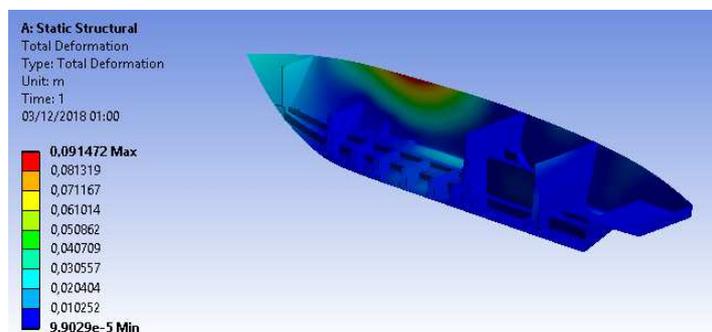


Figura 43: Deslocamento Total gerado no casco da embarcação na velocidade de 20 knots.