

# **Projeto e Dimensionamento de um Catamarã em Materiais Compósitos**

---

**Frederico Oliveira Fernandes**

Dissertação

**Engenharia e Arquitectura Naval**

Orientador / Supervisor: Prof. Yordan Garbatov

**Júri**

Presidente: Prof. Carlos Guedes Soares

Orientador / Supervisor: Prof./Dr. Yordan Garbatov

Vogais: Dr. Leigh Sutherland

**Julho de 2016**

## Agradecimentos

A realização desta dissertação de mestrado contou com importantes apoio e incentivos sem os quais não se teria tornado uma realidade e aos quais estarei eternamente grato.

Desde de já gostaria de agradecer ao professor Yordan Garbatov pela sua disponibilidade demonstrada para o esclarecimento de algumas dúvidas que me foram surgindo no decorrer deste estudo, assim como ao professor Carlos Guedes Soares pelo facto de me ter permitido realizar este estudo.

Não podendo esquecer de agradecer à administração dos Estaleiros Navais de Peniche (ENP) nas pessoas do D.º Jorge Brandão, pela permissão de utilizar uma das construções efetuadas nas suas instalações, assim como a cedência de todos os documentos necessários para a realização deste estudo.

Ao Eng.º Álvaro Oliveira que ao longo da minha vida profissional (10 anos) me foi ensinando e aconselhando nas boas práticas da construção naval. Sem o seu apoio e amizade não seria possível atingir os níveis de conhecimento até agora alcançados.

À minha mulher e aos meus filhos, que estiveram ao meu lado durante esta fase, pela compreensão, pela força e apoio em certos momentos e principalmente por fazerem parte de mais um sonho tornado realidade.

Por ultimo, tendo consciência que nada disto teria sido possível sem o apoio incondicional, dirijo um agradecimento especial aos meus pais, por serem modelos de coragem, de paciência e total colaboração/abdicação em tantos momentos difíceis. A eles dedico este trabalho!

## Resumos de tese

### Resumo

O presente estudo desenvolvido enquadra-se no âmbito da Dissertação– Mestrado de Bolonha em Engenharia e Arquitectura Naval, e tem como objectivo projectar e dimensionar uma embarcação de passageiros “Catamarã” em materiais compósitos.

Para realizar este projecto foi necessário recorrer numa primeira fase a um “Software” de modelação geométrica (*Rhinoceros*) de modo a transpor o desenho do Plano Geométrico para um modelo em 3D. Obtendo com o auxílio desta ferramenta uma melhor visualização da embarcação e com as noções da disciplina de Comportamento de Estruturas Navais, [1] procedeu-se à estimativa de pesos da embarcação.

Foi aprofundado um outro capítulo do Projecto Básico de um navio, que é o cálculo de arqueação que tem como base os volumes da mesma, valor esse que é de extrema importância tanto para seu registo, como para elaborações de custo nas reparações.

Sendo uma embarcação em compósitos é de extrema importância demonstrar o cálculo das características mecânicas para tal foi utilizada as Regras da BV[2]. Uma vez obtidas as características mecânicas e o modelo 3D obteve-se uma melhor modelação em elementos finitos. As intersecções sob a forma de “*keypoints*” foram numa fase inseridos num “Software” de elementos finitos [3] onde realizou-se a modelação e análise às deformações segundo um carregamento estático.

Os resultados obtidos foram exportados no final do estudo sob a forma de representações gráficas, e, são apresentados e devidamente comentados no final deste relatório, podendo-se afirmar que todos os resultados obtidos verificam o esperado, estão dentro dos limites de segurança e comparados com os valores reais (construção).

### Palavras-chave

Catamarã, Compósitos, Deslocamento, Arqueação, Projecto, Dimensionamento

## Abstract

The present developed study is fitted in the context of the Dissertation / project – Master's degree of Bologna in Naval Architecture and Engineering; it's proposing the project and design of a passenger vessel "Catamaran" in composite materials.

To carry out this project it was necessary to refer in the first instance to software of geometric modelling (Rhinoceros) in order to transpose the drawing of Geometric Plan for a model in 3D. With the help of this tool, we get a better visualization of the vessel in 3D and with the concepts of the discipline of Behaviour of Marine Structure[1], whereby an estimate of the vessel's weight.

With another chapter of the Basic Design of a vessel, which is the tonnage measurement of ship that has base the volumes of a vessel, a value that is of extreme importance to both a registration as for elaborations of repairs cost.

Being a boat in composite material it's of extreme importance to demonstrate the calculation of mechanical characteristics for such it was used the rules of BV[2]. Once obtained the mechanical characteristics and the 3D model obtained improved finite element modelling. The intersections in the form of key points were a phase inserted in finite element software (ANSYS[3]) where took place the modelling and analysis of deformations according to a static loading.

The results obtained were exported at the end of the study in the form of graphical representations, and are submitted and duly commented at the end of this report, and it can be stated that all the results obtained confirm the expected and are within the limits of safety and compared with the actual values (construction).

## Keywords

Catamaran, GRP, Displacement, Tonnage, Project, Design

## Conteúdo

Agradecimentos .....	1
Resumos de tese .....	2
Resumo .....	2
Palavras-chave .....	2
Abstract .....	3
Keywords .....	3
Lista de Tabelas .....	7
Lista de Figuras .....	8
Lista de Abreviações .....	10
Abreviaturas .....	10
Capítulo 1 – Introdução ( <i>Estado de Arte</i> ) .....	13
Capítulo 2 - Motivação e Descrição do Problema Resolver .....	17
Capítulo 3 - Descrição da Embarcação .....	19
Capítulo 4 – Projecto .....	23
4.1 Deslocamento Leve (LW) .....	26
4.2 Dead – Weight (DW) .....	28
4.3 Cálculo da Impulsão .....	29
4.4 Verificações .....	30
Capítulo 5 – Cálculo de Arqueação .....	32
5.1 Volumes .....	33
5.2 Cálculo da Arqueação .....	33
Capítulo 6 - Características Mecânicas .....	36
6.1 Processo de Produção .....	36
6.2 Características Mecânicas da laminagem .....	37
6.3 Características Físicas e Geométricas de cada camada .....	38
6.4 Coeficientes Elásticos de uma Cada individual .....	40
6.4.1 WovenRoving .....	40
6.4.2 Shopped Strand Mat .....	41
6.4.3 Fibras Combinadas ou Compostas .....	42
6.4.4 Tensão de Corte de uma camada .....	44
6.5 Estudo de uma Placa .....	45
6.5.1 Características básicas de uma Laminagem .....	45
6.5.2 Cálculos das Características Elásticas da Placa .....	48

Capítulo 7 – Dimensionamento Estrutural.....	49
7.1    Procedimentos e Simplificação efetuados na determinação das espessuras equivalentes .....	49
7.2    Casco .....	50
7.2.1    Secções .....	51
7.2.2    Casco .....	51
7.2.3    Anteparas Transversais .....	53
7.2.4    Reforços do Caso .....	54
7.2.5    Balizas Reforçadas .....	55
7.2.6    Tanque Estrutural.....	56
7.2.7    Convés Principal .....	56
7.3    Superestrutura .....	57
7.3.1    Painéis .....	57
7.3.2    Reforços da Superestrutura .....	58
7.3.3    Convés Superior .....	59
7.3.4    Ressaltos acima do Convés Principal.....	59
Capítulo 8 – Modelação e Análise da Estrutura recorrendo aos elementos finitos .....	60
8.1    Modelação da estrutura da embarcação .....	60
8.2    Execução do Malha .....	64
8.3    Condições de Fronteira .....	66
8.4    Carregamentos - Viga Simplesmente apoiada a sujeito a duas cargas pontuais.....	67
8.4.1    Descrição dos Cálculos .....	67
8.4.2    Deslocamento Carregado.....	71
8.4.3    Deslocamento Leve .....	72
8.5    Análise à Estrutura .....	73
8.5.1    Deslocamento Carregado.....	73
8.5.2    Deslocamento Leve .....	76
8.6    Momento Flector Máximo .....	79
9.    Discussão .....	81
10.   Conclusões.....	84
Referências bibliográficas .....	85
Anexos.....	86
Tabelas de Coeficientes para Calculo de Arqueação .....	87
Modelo Geométrico .....	88

Arranjo Geral ..... 89

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Características Principais .....	19
Tabela 2- Plano de Laminagem .....	25
Tabela 3 - Distribuição do Peso Leve.....	27
Tabela 4 - Verificação de equilíbrio entre o Deslocamento e a Impulsão da embarcação.....	30
Tabela 5 - Distribuição dos Pesos e Características .....	30
Tabela 6 -Volumes para Arqueação .....	33
Tabela 7 - Plano de Laminagem do Casco.....	37
Tabela 8 - Características da Fibra .....	38
Tabela 9 - Características da Resina .....	38
Tabela 10 - % de Fibra aplicadas numa layer .....	39
Tabela 11 - Propriedades físicas.....	39
Tabela 12 - Propriedades Mecânicas dos Mat's.....	44
Tabela 13 - Propriedades Mecânicas do WovenRoving's .....	44
Tabela 14 - Resultados das tensões de corte .....	44
Tabela 15 - Plano de laminagem .....	46
Tabela 16 - Propriedades dos Laminados .....	51
Tabela 17 - Espessuras e propriedades do casco .....	52
Tabela 18 - Espessura equivalente e massa específica das anteparas transversais da embarcação.....	54
Tabela 19 - Propriedades geométricas dos reforços do casco.....	55
Tabela 20 - Propriedades geométricas das Balizas reforçadas .....	55
Tabela 21 - Propriedades geométricas do tanque estrutural .....	56
Tabela 22 - Propriedades geométricas do Convés .....	56
Tabela 23 - Propriedades geométricas dos painéis.....	58
Tabela 24 - Propriedades geométricas dos reforços da Superestrutura .....	58
Tabela 25 - Propriedades geométricas do convés superior.....	59
Tabela 26 - Propriedades geométricas dos ressaltos acima do convés .....	59
Tabela 27 - Modulo de Young .....	62
Tabela 28 - Modulo de Corte .....	62
Tabela 29 - Coeficiente de Poisson .....	63
Tabela 30 - Elementos necessários para a modelação da estrutura.....	63
Tabela 31 - Lista dos componentes agrupados.....	63
Tabela 32 - SMRTSIZE - Valores dos Argumentos para h - elementos .....	65
Tabela 33 - Resultado dos momentos Flectores máximos.....	80
Tabela 34 - resultados dos Elementos Finitos.....	82



## Lista de Figuras

Figura 1 - Catamarã de New York.....	14
Figura 2 - Salão de Passageiros e Flyer Bridge .....	14
Figura 3 - Duplo caso em V.....	14
Figura 4 - Casa da Máquina de Bombordo.....	15
Figura 5 - Vista da popa da embarcação .....	16
Figura 6 - Catamarã de 18m .....	19
Figura 7 - Casco Duplo em V.....	19
Figura 8 - Arranjo Geral.....	21
Figura 9 - Algoritmo de Projecto .....	23
Figura 10 - Casco do Catamarã.....	24
Figura 11 - Secção Mestra .....	26
Figura 12 -Forma Trapezoidal e Uniforme de Demonstrar a Distribuição do Peso .....	27
Figura 13 - Estimativa do LCB.....	29
Figura 14 - Modelo 3D.....	33
Figura 15 - Handlayup .....	37
Figura 16 -Orientação das Fibras de um Estratificado .....	38
Figura 17 - Tecido do Woven Roving.....	40
Figura 18 - Nomenclatura de um estratificado de material compósito.....	45
Figura 19 - Posicionamento de cada Camada .....	45
Figura 20 - Orientação de cada Camada em relação às coordenadas globais.....	46
Figura 21 - Passagem de um painel com passagem de homem para um painel sem abertura..	49
Figura 22 - Passagem de um painel com passagem de homem para um painel sem abertura..	49
Figura 23 - Passagem de painéis em "sandwich" para painéis em monolítico .....	50
Figura 24 - Passagem dos perfis com núcleos em poliuretano para perfis viga em monolítico .	50
Figura 25 - Anteparas, Balizas e Reforços – Secções.....	51
Figura 26 – Casco.....	52
Figura 27 - Divisão do casco em zonas Distintas.....	52
Figura 28 - Esquema Ilustrativo das espessuras numa zona de transição de espessura .....	53
Figura 29 – Esquema Ilustrativo da simplificação efetuada das espessuras numa zona de transição de espessura.....	53
Figura 30 - Representação das quatro anteparas transversais da embarcação .....	54
Figura 31 - Reforços do Casco - Fixe do Motor, Longarinas e Escoas .....	55
Figura 32 - Balizas Reforçadas.....	55
Figura 33 - Convés Principal .....	56
Figura 34 – Superestrutura .....	57
Figura 35 - Painéis da Superestrutura .....	57
Figura 36 - Reforços da Superestrutura .....	58
Figura 37 - Convés Superior .....	59
Figura 38 - Ressaltos acima do convés superior .....	59
Figura 39 - Representação da modelação de metade da embarcação.....	60
Figura 40 - Elemento Casca - SHELL63 .....	61
Figura 41 - Representação esquemática da definição do vetor tensão.....	61

Figura 42 - Divisão de uma secção .....	62
Figura 43 - Definição de uma Antepara em Keypoints.....	63
Figura 44 - Diferentes níveis do comando “SmartSize” .....	64
Figura 45 - Representação da malha obtida pelo programa de elementos finitos ANSYS .....	65
Figura 46 - Análise aos elementos obtidos .....	65
Figura 47 - Viga Simplesmente Apoiada.....	66
Figura 48 - Condições de Fronteira .....	66
Figura 49 - Condições dos Carregamentos.....	67
Figura 50 - Viga Simplesmente Apoiada com Cargas Pontuais .....	67
Figura 51 - Deformação na condição de Deslocamento carregado .....	73
Figura 52 - Deformação na direcção x, na condição de Deslocamento carregado.....	74
Figura 53 - Deformação na direcção y, na condição de Deslocamento carregado.....	74
Figura 54 - Deformação na direcção z, na condição de Deslocamento carregado.....	74
Figura 55 Soma das forças, na condição de Deslocamento carregado.....	75
Figura 56 - Tensão em x, na condição de Deslocamento carregado.....	75
Figura 57 - Tensão de Von Mises, na condição de Deslocamento carregado.....	76
Figura 58 - Tensão corte em xz, na condição de Deslocamento carregado.....	76
Figura 59 - Deformação na condição de Deslocamento leve.....	76
Figura 60 - Deformação em x, na condição de Deslocamento leve.....	77
Figura 61 - Deformação em y, na condição de Deslocamento leve.....	77
Figura 62 - Deformação em z, na condição de Deslocamento leve .....	78
Figura 63 - Soma das forças, na condição de Deslocamento leve .....	78
Figura 64 - Tensão em x, na condição de Deslocamento leve .....	78
Figura 65 - Tensão de Von Mises, na condição de Deslocamento leve .....	79
Figura 66 - Tensão de corte em xz, na condição de Deslocamento leve .....	79

## Lista de Abreviações

### Abreviaturas

ENP	:	Estaleiros Navais de Peniche
IPTM	:	Instituto Portuário de Transporte Marítimo
DGRM	:	Direcção Geral Recursos Marítimos
DNV	:	Det Norske Veritas
BV	:	BureauVeritas
PRFV	:	Plástico Reforçado a Fibra de Vidro
ICTM	:	International Convention on Tonnage Measurement of Ships
OMI	:	Organização Marítima Internacional
t	:	Espessura do Laminado em mm
fg	:	% do peso do conteúdo de vidro aplicado em cada camada
c	:	peso do de vidro no composto de estratificado, dado em g/mm <sup>2</sup>
W	:	Peso total do reforço de fibra de vidro, dado em g/mm <sup>2</sup>
dl	:	Comprimento de cada estação (divisão da embarcação) para a estimativa de cálculo de pesos
P	:	Peso total
C1	:	Posição do centro de gravidade
LW	:	Light Weight
DW	:	DeadWeight
Δ	:	Deslocamento da embarcação, dado kg
∇	:	Volume imerso do casco, dado em m <sup>3</sup>
ρ	:	Massa específica da matéria, dado em kg/m <sup>3</sup>
LCB	:	Centro de Impulsão Longitudinal
LCG	:	Centro de Gravidade Longitudinal
a (x)	:	Área imersa
m (x)	:	Distribuição de pesos
g	:	Aceleração gravítica, dado em m/s <sup>2</sup>
TAB	:	Tonelagem de Arqueação Bruta
TAL	:	Tonelagem de Arqueação Líquida
AB	:	Arqueação Bruta
GT	:	GrossTonnage
AL	:	Arqueação líquida
NT	:	Net Tonnage
V	:	Volume de todos os espaços fechados da embarcação, dado em m <sup>3</sup>
K1 e k2	:	Coefficiente para o cálculo de Arqueação Bruta
Vc	:	Volume total dos espaços de carga
D	:	Pontal da embarcação a meio navio
d	:	Imersão média a meio navio
		Número de passageiros alojados em camarotes não tendo mais de 8
N1	:	Beliches;
N2	:	Números de passageiros não incluem dose m N1
E	:	Módulo de Young, dado em N/mm <sup>2</sup> ou MPa
v	:	Coefficiente de Poisson
G	:	Módulo de corte

SCM	:	ChoppedStrandMat
WR	:	WovenRoving
$E_{f0^\circ}$	:	Módulo de Young Longitudinal de uma fibra N/mm <sup>2</sup>
$E_{f90^\circ}$	:	Módulo de Young Transversal de uma fibra N/mm <sup>2</sup>
$E_r$	:	Módulo de Young da resina N/mm <sup>2</sup>
$G_f$	:	Módulo de Corte da fibra N/mm <sup>2</sup>
$G_r$	:	Módulo de Corte da resina N/mm <sup>2</sup>
$\nu_f$	:	Coefficiente de Poisson da fibra
$\nu_r$	:	Coefficiente de Poisson da resina
$M_f$	:	% da massa de fibra por camada
$M_r$	:	% da massa de resina por camada
$P_f$	:	Peso total do laminado seco em g/m <sup>2</sup>
$V_f$	:	% do volume de fibra por camada
$V_r$	:	% do volume de resina por camada
$\rho$	:	Densidade individual de cada camada
$\rho_f$	:	Densidade da resina
$\rho_r$	:	Densidade da fibra
$e$	:	Espessura individual de cada camada
em	:	Espessura individual de cada camada, calculada a través da massa
ev	:	Espessura individual de cada camada, calculada a través do volume
$C_{eq}$	:	Coefficiente de balanço do WovenRoving
$\sigma$	:	Tensão de corte
AP	:	Eixo mediano do laminado, localizado a meio do laminado da placa
th	:	Espessura do laminado, em mm
ek	:	Espessura individual de cada camada k, em mm
Zk	:	Distancia entre AP e a interface da camada k e k+1
Zk-1	:	Distancia AP e a interface da camada k e k-1
k	:	Cada camada da laminagem
R	:	Matriz de Rigidez
S	:	Matriz de flexibilidade
T e T'	:	Matriz de transferência
A	:	Matriz de rigidez Global
tequi	:	Espessuras equivalentes
A aber	:	Área da abertura
A equi	:	Área equivalente
tmon	:	Espessura equivalente do painel em monolítico
t	:	Espessura de uma face de laminado
h	:	Distância do eixo neutro do painel em "sandwich" até ao eixo neutro da face em laminado.
Maft	:	Peso da massa aplicado a ré da meia distância entre Maft e Mfore
Mfore	:	Peso da massa aplicado a vante da meia distância entre Maft e Mfore
g0	:	Aceleração gravítica
Laft	:	Distancia a ré da meia distância entre Maft e Mfore
Lfore	:	Distancia a vante da meia distância entre Maft e Mfore
daft	:	Distancia entre o apoio Fa e a meia distância entre Maft e Mfore
dfore	:	Distancia entre o apoio Fb e a meia distância entre Maft e Mfore
Fa e Fb	:	Forças nos apoios

Msw	:	Momento em águas tranquilas
L	:	Comprimento entre perpendiculares
Mtotsag	:	Momento flector em alquebramento
Cw	:	Coefficiente de onda
Btn	:	Boca no túnel, dado em m
BwL2	:	Para uma embarcação de casco duplo, considera-se a soma das bocas na linha de água.
K2 e K3	:	Factores empíricos segundo o efeito da estrutura imersa para o Alquebramento e o Contra – Alquebramento.

## Capítulo 1 – Introdução (*Estado de Arte*)

Actualmente, a concorrência económica torna a inovação de produtos – pesquisa, desenvolvimento e lançamento de novas embarcações – um meio essencial de conservação e conquista de faixas de mercado. Os mercados encontram-se cada vez mais saturados e a procura, conseqüentemente, acaba por incidir sobre aqueles catamarãs que apresentam diferenciais inovadores.

Evidentemente essas inovações são onerosas para os Estaleiros, pois necessitam de investigações cuidadas antes de desenvolver e lançar produtos no mercado. Ao mesmo tempo, a rapidez exigida é cada vez maior, pois a novidade de hoje torna-se obsoleta em pouco tempo. O ónus da inovação, portanto, justifica a seriedade com a qual devem actuar os departamentos de desenvolvimento de novos produtos, seguindo sempre uma metodologia projetual.

Para lançar novos produtos, é preciso a adopção de uma metodologia projetual, que consiste numa série de operações necessárias, dispostas por ordem lógica e ditadas pela experiência, sempre com o objectivo de atingir o melhor resultado, com o menor esforço.

Por vezes essa metodologia, além de indicar o conjunto das operações necessárias e a sua ordem lógica, chega a aconselhar operações mais específicas. Também no campo do “design” não se deve projectar sem um método, pois não se pode pensar de forma artística, procurando logo uma solução, sem antes fazer uma pesquisa para documentar acerca do que já foi feito de semelhante, sem definir o material mais adequado para a construção, nem tão pouco sem ter definida a utilização exacta do produto a ser criado.

Para Araújo (1995) a diferença entre o artesão e o projectista está justamente no facto de que “o artesão não desenha o seu trabalho e não apresenta razões para as decisões que toma a evolução de um produto artesanal pode também resultar em características discordantes, muitas vezes por razões funcionais”.

Para o projectista, o método projetual não é absoluto nem definitivo, uma vez que pode ser modificado caso se encontrem outros valores objectivos, que melhorem o processo. É a criatividade do projectista que pode descobrir algo novo para o processo, quando se aplica o método. Desta forma, podemos concluir que as regras do método não bloqueiam a criatividade do projectista, pelo contrário, o estimulam a descobrir coisas que poderão ser úteis aos outros em novas experiências.

O Representante do Armador (Estado da Nigéria), solicitou que efectua-se-mos um catamarã semelhante aos existentes em Nova Iorque. Cidade onde efectuou os seus estudos e vive.

Houve ajustes a efectuar, tal como:

- Alteração do Sistema Propulsor
  - Substituir a tradicional linha de veio por jatos de água, isto porque os rios onde a embarcação ira operar são de baixo calado.
- Aumento da capacidade de transporte de passageiros.

**Nota:** estas condicionantes implicarão um aumento no comprimento da embarcação.

Esta embarcação teve como projectista (apenas estrutural) o BMT Group da Nigel GEE que têm como sede o Reino Unido.



Figura 1 - Catamarã de New York

A embarcação em referência destina-se ao transporte de passageiros, em linha turística comercial diária, em águas interiores ou abrigadas (*“shelteredwaters”*).

Trata-se de um casco e superestrutura construídos em PRFV com dois pavimentos, para acomodação dos passageiros, um ao nível do convés principal sendo ele coberto e albergando 53 passageiros, um segundo convés encontra-se no *“Flyer Bridge”* tendo uma capacidade para sentar 17 passageiros.



Figura 2 - Salão de Passageiros e Flyer Bridge

A embarcação possui dois cascos simétricos, em V, conforme exigências das Sociedades Classificadoras para barcos de alta velocidade.



Figura 3 - Duplo caso em V

A ponte de comando encontra-se também no convés principal, integrada com o salão de passageiros, sendo a propulsão assegurada por dois motores Diesel de alto rendimento

sobrealimentados de 715 HP @ 2500 rpm, cada um acoplado a uma caixa inversora redutora com relação de redução adequada e jatos de água.



Figura 4 - Casa da Máquina de Bombordo

Os catamarãs por terem uma boca maior (espaço da extremidade de um casco à extremidade do outro) do que um navio convencional “monocasco” pode-se concluir que os catamarãs são mais estáveis e conseqüentemente, balançam muito menos, o que gera como consequência directa.

Os catamarãs inclinam-se, de uma maneira geral, no máximo apenas de 10º grau (os monocasco chegam a inclinar-se até 45º graus). Isso faz a navegação ser bem menos cansativa, pois toda a movimentação dá-se no nível normal ao qual o ser humano está acostumado a viver.

Desta forma, este tipo de casco é considerado mais seguro e confiável, reduzindo praticamente a zero a possibilidade de virar a embarcação (mesmo que, em hipótese, o catamarã vire, há a possibilidade de construí-lo com “flutuabilidade positiva”, garantindo que, mesmo cheio de água, a embarcação não se afunde, pois os compartimentos estanques cheios de ar e a espuma usas em sua construção fazem a flutuabilidade).

Os dois cascos fizeram os catamarãs abolirem aquelas quilhas enormes e pesadas - o que é insubstituível num monocasco. Com isso, o calado destas embarcações pode chegar a ser 5 vezes menor do que os navios monocasco. Pouco calado é uma condição fundamental para ter mais acesso a lugares fantásticos. Num monocasco, ao contrário, é necessário passar mais ao largo.

Não ter quilha faz com que a embarcação se torne mais leve. Isso faz com que qualquer catamarã navegue mais rápido, mas em águas tranquilas ou abrigadas, permitindo que percorra distâncias maiores durante o mesmo período de tempo. Além disso, dá uma sensação agradável de conseguir uma boa velocidade sobre o mar.

Uma das principais desvantagens dos catamarãs é o seu comportamento no mar ao nível do conforto a bordo, em particular quando as frequências de excitação das ondas entram em ressonância com as frequências naturais de balanço transversal e longitudinal.

Tais fenómenos de pouco conforto no mar, são visíveis em utilizações profissionais em que as embarcações tendem a operar em qualquer estado de mar e não apenas quando está bom tempo tal como se verifica na realidade pela fraca ou nula utilização para fins profissionais como fiscalização ou mesmo pesca profissional.

A alta velocidade em condições adversas, mesmo com tripulação experiente, existe o perigo de soçobramento de 180º, sem possibilidade de re-adriçamento.



Em organizações marítimas que já possuam monocasco, terão muitas dificuldades de gestão das guarnições existentes, com um aumento da probabilidade de diminuição de rendimento operacional.

O deslizamento lateral da embarcação, provocado por fortes ventos, normais em águas desprotegidas, em baixa velocidade, devido a um menor calado, dificulta bastante as manobras de atracação e abordagem.

As vantagens muitas vezes referidas de que com menor casco se podem diminuir as potências e aumentar as autonomias, é uma verdade “técnica”, mas com pequenas expressões operacional, uma vez que nem a diminuição dos consumos é de tal maneira acentuada que permita por si só uma opção, nem a área de operações das embarcações é tão vasta que as obrigue a afastar-se de pontos de reabastecimentos. Deve por outro lado ser salientado que a não existência de reserva de potência na máquina pode vir a ser a causa de algumas manobras falhadas, com perigo, em especial quando se tem menos calado e se torna necessário “agarrar” a embarcação.

Sabendo à partida que a embarcação iria navegar em águas abrigadas ou seja, em rios onde as condições de mar menos severas. A utilização de jatos de água, vem facilitar a manobras de atracação e abordagem, isto porque já é possível a embarcação atracar lateralmente e consegue rodar sobre si mesma num eixo imaginário.



Figura 5 - Vista da popa da embarcação

Após um estudo detalhado das vantagens e desvantagens de um Catamarãs e tendo em atenção onde a embarcação irá trabalhar, o armador decidiu que seria mais conveniente um navio multi - casco.

## Capítulo 2 - Motivação e Descrição do Problema Resolver

A motivação que levou a escolher este projecto, foi pelo facto de já ter participado na construção de 5 embarcações deste tipo em 2007 e, em 2009 quando dei entrada ao processo da dissertação, estar a construir dois catamarãs e sendo desta vez eu o coordenador da produção.

E assim tendo como objectivo comparar os métodos científicos adquiridos ao longo dos anos académicos, com os resultados reais.

E sem dúvida que é de uma extrema motivação estarmos a construir uma embarcação e ao mesmo tempo estarmos a estudar numa área mais científica (estrutural), isto porque o meu trabalho na empresa do ENP é mais como Gestor de Obra (Coordenador).

O trabalho de coordenador de obra baseia-se mais em gerir todos os passos e resolver os problemas que possam decorrer na evolução da construção. Todo este processo começa com a nomeação de um gestor de obra, esta nomeação é efetuada pelo chefe do departamento técnico, que ao nomear um coordenador entrega os seguintes elementos (contracto, especificação técnica e o Arranjo Geral) e neste caso com tem um projectista que nos entrega o Projecto básico (desenhos estruturais e o plano de laminagem).

A partir deste momento dá-se à aquisição de materiais e equipamentos assim como a solicitação de uma autorização à Capitania para a construção de uma embarcação e posteriormente a solicitação de aprovação às Autoridades Marítimas Nacionais.

A partir daqui é de extrema importância o cálculo de propulsão e da escolha dos motores como dos jatos de água, isto porque, por vezes os motores têm quase tanto tempo de entrega como a respectiva construção, por vezes até mais. Um exemplo de um Catamarã destes tem um prazo de construção de aproximadamente 8 (oito) meses e os motores da CATERPILLAR actualmente têm um prazo de entrega variável entre 6 (seis) a 12 (doze) meses.

Após o cálculo de propulsão estar concluído passamos para os seguintes cálculos que influenciaram na aquisição de Material:

- Cálculo do diâmetro das tubagens e caudal mínimo das Bombas de esgoto.
  - Este cálculo influenciará todos os tubos e bombas a serem adquiridas para o sistema de esgoto, baldeação incêndio.
- Cálculo do numeral
  - Que define os ferros, as amarras (diâmetro e comprimento), cabos de amarração e o cabo de reboque,
- Cálculo de Arqueação
  - Informação Essencial para o registo da Embarcação
- Cálculo do Balanço eléctrico
  - Dado importante para se poder obter cotações para a instalação eléctrica

Contudo ainda será necessário efectuar alguns desenhos importantes para submeter à aprovação das autoridades, sejam elas as autoridades marítimas nacionais ou uma sociedade classificadora.

São os seguintes desenhos:

- Desenhos de Sistemas;
- Desenho do Arranjo da Casa da Máquina
- Desenho do Arranjo do Salão
- Plano de Faróis conforme as Regras da COLREG

- Caderno de Provas.

O coordenador da construção tem ainda como responsabilidade coordenar todas as compras para a embarcação assim como gerir a mão-de-obra e todos os trabalhos, sejam eles internos ou de subempreitadas. Por fim semanalmente tem de efectuar uma avaliação de custos tanto me materiais como em mão de obra e comparar com o orçamentado.

E se ainda não se chega tem de efectuar um plano de inspecções a seco, ao cais e no mar, sendo ele o responsável e representante dos ENP.

O projecto da tese consistem em demonstrar que os cálculos matemáticos não ficam muito longe da realidade, dando o exemplo dos carregamentos e distribuição de pesos, assim como a elaboração de um dos cálculos importantes de uma construção, calculo esse que é o calculo de arqueação, que tem varias utilização, como por exemplo:

- Numa construção nova, serve para o registo da embarcação,
- No cedo de uma reparação, servira para a defini cação do custo de alagem e de estadia.

Demonstra-se como se calcula das espessuras das diferentes zonas da embarcação, com o apoio às regras da ABS[4], espessura essas que mais tarde serão utilizadas para a simplificação das mesmas e para que se possa aplicar na programação em ANSYS[3].

Este projecto, demonstra como se efectua o cálculo das características elásticas de um plano de laminagem, que neste estudo foi o plano de laminagem do costado da embarcação. Para estes cálculos usou-se as Regras da BV[2], isto porque é a sociedade classificadora que melhor explica compôs calculara as propriedade de um material compósito.

Nos passos seguintes demonstra-se como se elaborou modelação do casco em ANSYS, onde se estuda os seguintes carregamentos:

- Deslocamento Carregado;
- Deslocamento Leve;

Carregamentos que advém dos cálculos anteriormente calculados, para que se utiliza-se estes carregamentos e estudando a embarcação como uma viga simplesmente apoiada foi necessário, efectuar o desdobramento de algumas equações como por exemplo, Somatório de forças, cálculo do momento em águas tranquilas e com tudo isso estimar quais as forças a serem aplicadas.

Como finalização do trabalho efectuou-se o cálculo do momento flector máximo utilizando as regras da DNV[5].

### Capítulo 3 - Descrição da Embarcação

Com vista à participação directa na construção do Catamarã nas instalações dos Estaleiros Navais de Peniche (ENP).



Figura 6 - Catamarã de 18m

A estrutura da embarcação será longitudinal, construção em Plástico Reforçado a Fibra de Vidro (PRFV) com uma massa específica igual  $\rho = 1500[\text{Kg}/\text{m}^3]$ , Executada segundo as técnicas mais modernas e obedecendo às normas impostas pela sociedade classificadora DNV [5] e pelas Autoridades Nacionais.

A embarcação possui dois cascos simétricos, em V, construídos em PRVF, conforme exigências das Sociedades Classificadoras para barcos de alta velocidade.

Projectado de acordo com o regulamento do DNV[5] .



Figura 7 - Casco Duplo em V

DNV teve um papel muito importante na construção destas embarcações, isto porque toda a sua estrutura foi classificada.

Tabela 1 - Características Principais

Comprimento fora a fora	:	18,50 [m]
Comprimento entre perpendiculares	:	16,30 [m]
Boca máxima	:	5,70 [m]
Imersão	:	0,90 [m]

Deslocamento	:	37,70 [ton]
Passageiros - Cabine	:	53
Passageiros –“flyerbridge”	:	17
Tanques de combustível	:	2 x 1,46 [ton]
Tanque de água doce	:	0,40 [ton]
Tanque de águas negras	:	0,40 [ton]

A embarcação possui cinco anteparas estanques, descritas de ré (*Fr.0*) para vante e situadas a uma distância da perpendicular a ré:

- A antepara que delimita a casa da máquina a 5.4 [m];
- A antepara que separa o compartimento dos tanques do espaço vazio a 9.0 [m];
- A antepara que delimita os compartimentos vazios a 12.6 [m];
- A antepara que delimita o pique vante a 15,0 [m]

Estas anteparas limitam entre si de vante para ré os seguintes espaços:

- Casa da Máquina;
- Compartimento dos Tanques;
- Compartimentos Vazios;
- Pique de Vante.

O acesso a estes espaços será efetuado da seguinte forma (sendo esta embarcação um Catamarã, logo adquire uma forma peculiar, neste caso dois cascos simétricos assim sendo os acessos aos compartimentos também são simétricos):

Ao pique de vante será efetuado através de uma escotilha situada à proa da embarcação, este espaço servirá de paiol da Amarra.

Compartimento vazio através de uma escotilha que se encontra a vante dentro do salão dos passageiros.

Compartimento dos tanques será através de uma escotilha que se encontra a meio do salão de passageiros, lá dentro encontram-se dois tanques de combustível (*um diário e um de armazenamento com as seguintes capacidades, 400lits e 1200 lits*) e a Bombordo um tanque de águas negras e a Estibordo um tanque de água doce e ambos com uma capacidade para 400 lits.

A casa da máquina é executada através de duas escotilhas uma popa da embarcação sobre o convés a outra encontra-se ligeiramente mais vante mas sobre o ressalto do espaço do motor.

Sob o convés superior existirão os seguintes compartimentos:

- Um Salão para 53 passageiros;
- Um WC para senhoras;
- Um WC para Senhores;
- Uma Ponte de Comando.

Sobre o convés superior situa se o “Flyer Bridge”:

- Um espaço para 17 passageiros.

O acesso a este espaço é efetuado pelas escadas que se encontram à popa da embarcação.

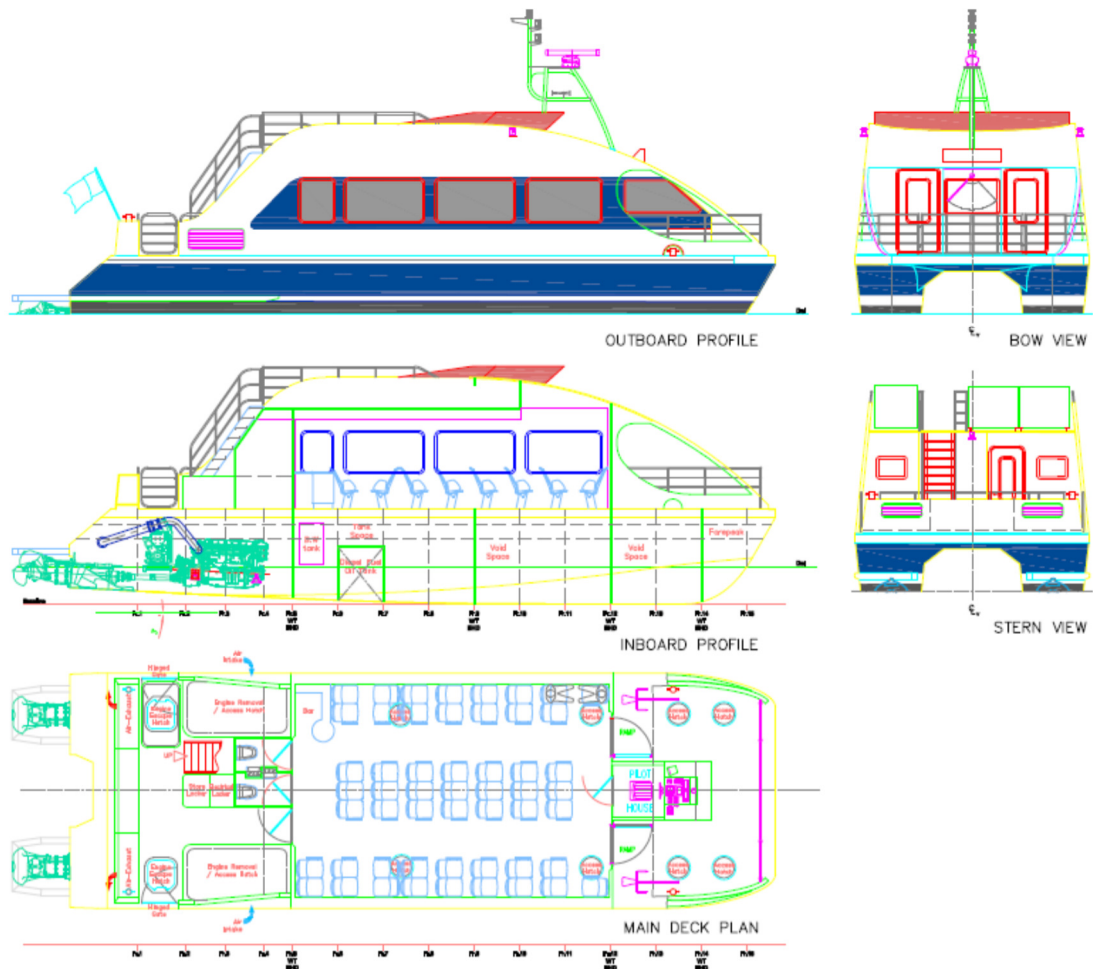


Figura 8 - Arranjo Geral

O Construtor teve que garantir que a embarcação iria estar de acordo com os desenhos e que teria uma capacidade para 70 passageiros, uma velocidade de 20 nós e que irá ser aprovada pelas Autoridades Marítimas Portuguesas - Instituto Portuário de Transporte Marítimo (IPTM) actualmente (DGRM – Direcção Geral Recursos Marítimos).

Esta velocidade foi demonstrada na prova de mar realizada na costa marítima de Peniche, com um peso equivalente a bordo a 70 passageiros, utilizando uma média integrada de 75 kg por pessoa e com metade da carga de combustível e de água. Esta velocidade sob carga e as condições identificado é conhecido como o "Intended Trial Speed". Este número de passageiros é conhecido como o "Intended Passenger Capacity".

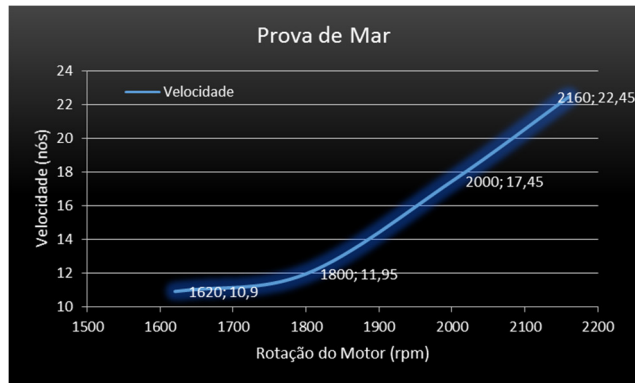


Gráfico 1 - Relação entre Velocidade e rpm

O gráfico acima apresentado é um pertence ao relatório da Prova de Mar que se efectuou com uma das embarcações.

O construtor teve que garantir que a embarcação estava a ser construída em conformidade com as especificações, excepto para quaisquer que fossem as alterações, teriam que ser aprovadas e especificamente acordadas por escrito.

O Construtor teve que garantir que a embarcação seria entregue em plena conformidade com os requisitos da DGRM.

## Capítulo 4 – Projecto

Para proceder ao início de um Projecto Básico é de extrema importância ter alguns elementos de entrada que advêm dos elementos contratuais (Contracto, Memória Descritiva, Arranjo Geral, Requisitos Legais e estatutários):

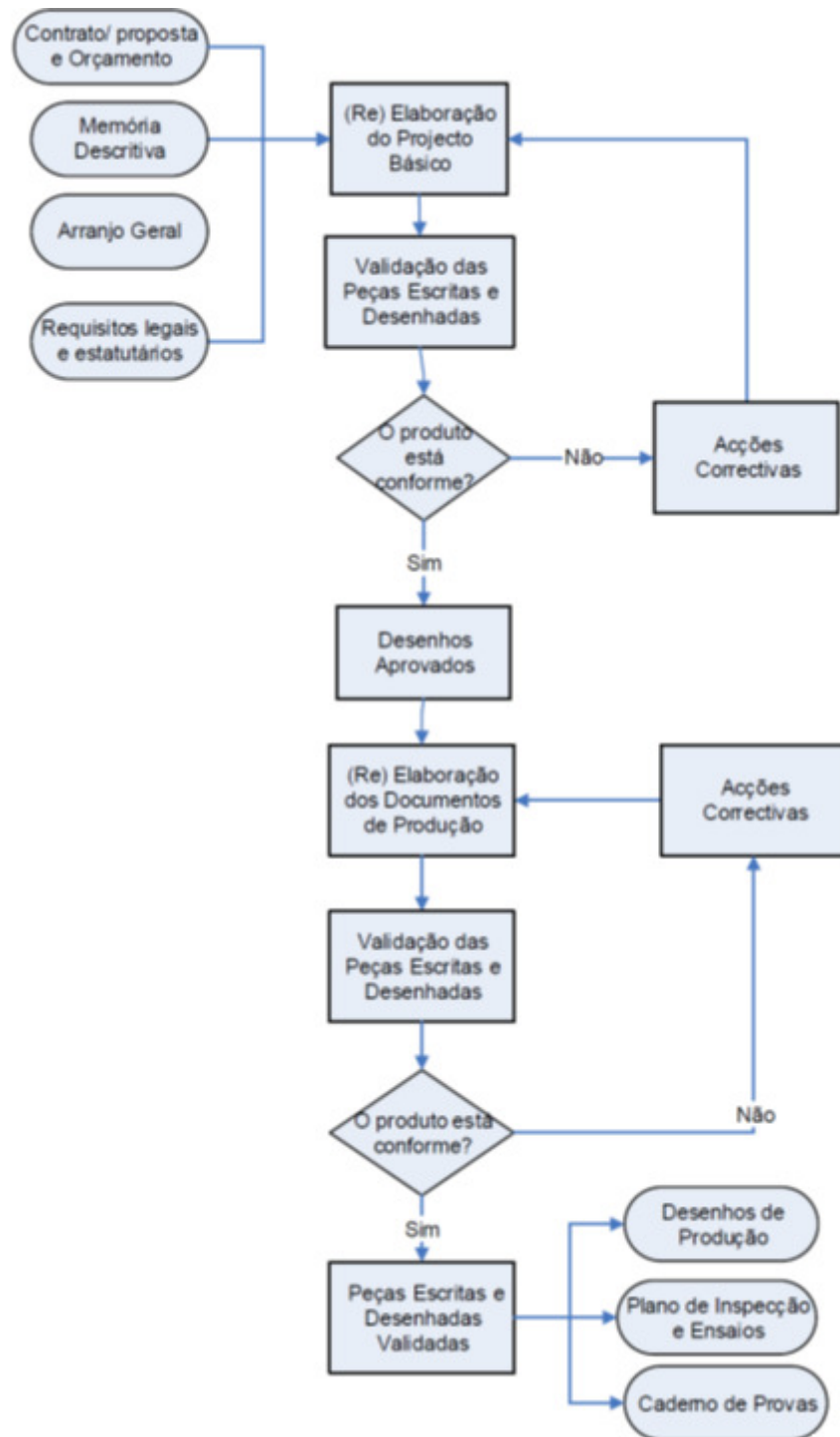


Figura 9 - Algoritmo de Projecto

Sabendo à posteriori, que a querena desta embarcação surge a partir de um navio já construído as instalações dos Estaleiros Navais de Peniche (**ENP**), foi efetuado um modelo 3D com base no *Plano Geométrico* e no *Arranjo Geral* que podemos observar em Anexo.



A embarcação tem um comprimento inferior a 24 m o que faz com que não esteja sujeito às regras da IMO.

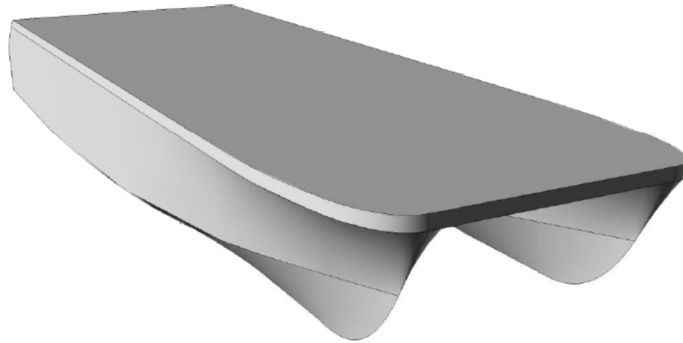


Figura 10 - Casco do Catamarã

Para definição da secção mestra da embarcação, foi utilizada as regras do ABS[6]. Para tal foi necessário criar uma folha de Excel e proceder a alguns cálculos e assim resultar o dimensionamento do casco.

Um desses cálculos é espessura do respectivo plano de laminagem utilizar, que se recorre à seguinte forma:

$$t = \frac{W \cdot k}{c} \cdot \left( \frac{305}{f_g} - 2,69 \right), mm \quad (1)$$

onde:

- $k$  = 0,35mm
- $f_g$  = Conteúdo de vidro, em percentagem por peso de uma camada de Mat ou de Wovenroving
- $c$  = Conteúdo de vidro no composto de um estratificado básico com fibra de vidro =1272 g/m<sup>2</sup>
- $W$  = Peso total do reforço de fibra de vidro do laminado em g/m<sup>2</sup>, da espessura do laminado  $t$

As constantes acima apresentadas advêm das regras da ABS[6], mais propriamente (Part 2, capítulo 2, secção 1). Quanto ao peso da fibra de Vidro é estrado da fibra a utilizar, exemplo fibra (MAT 300) implica que tem um peso de 300g/m<sup>2</sup>, composto (WR 800/300) implica que tem 1.100 g/m<sup>2</sup>.

É importante alimentar que neste caso o projecto estrutural foi contractado ao BMT Group da Nigel GEE, como já tinha sido anteriormente informado. Assim sendo, todos os desenhos de produção já vem com o plano de laminagem e estes calculoa apenas serviram para ter noção das esperaras que cada parte ou placa irá possuir e teremos de ter em conta que esta formula é para uma laminagem "Handlay-up".

Assim sendo, passa-se a demonstrar o calculo das espessuras da embarcação em estudo, onde se pode ver os diferentes planos de laminagem as espessuras.

Tabela 2- Plano de Laminagem

Ref.	Designação	Dimensões (mm)	Observações	Espessura (mm)	Composição do Laminado						W Fibra gr/m <sup>2</sup>
					MAT	MAT	MAT	MAT	ROV / MAT	ROV / MAT	
					150	300	450	600	800 / 300	1200 / 300	
	Anteparas (Bulkhead)		Pele Exterior	3			1	1	1		2150
			PVC 25mm	25	PVC 25mm						
			Pele Interior	3			1	1	1		2150
	Balizas (Tansverse Frames)		Pele Exterior	5				2	2		3400
			PVC 25mm	25	PVC 25mm						
			Pele Interior	5				2	2		3400
CASCO (HULL)	Casco (Basic Hull Shell)		Pele	8	1		1	1	4		5600
	Costado acima 1300 (Hull Shell Above 1300)		Pele	9	1		1	2	4		6200
	Convés Molhado (Wet Deck)		Pele Exterior	4	1		1		2		2800
			PVC 25mm	25	PVC 25mm						
			Pele Interior	2				1	1		1700
	Quilha (Keel)		Pele	15	1		1	1	8		10000
Quinado (Chine)		Pele	16	2		2	2	8		11200	
	Convés (Deck)		Pele Exterior	3	1		2		1		2150
			PVC 25mm	25	PVC 25mm						
			Pele Interior	2			1		1		1550
SUPERESTRUTURA (SUPERSTRUCTURE)	Lateral Superestrutura (Superestrutre Side)		Pele Exterior	2	1					1	1650
			PVC 25mm	25	PVC 25mm						
			Pele Interior	2						1	1500
		vidros	Pele	9	1					4	6150
	Antepara de vante Superestrutua		Pele	7	1		2	3	2		5050
	Antepara de Ré Superestrutua		Pele Exterior	2	1		1		1		1700
			PVC 25mm	25	PVC 25mm						
			Pele Interior	3		1	1		1		1850
		vidros	Pele	7	1		2	3	2		5050
	Convés Superior (Roof Deck)		Pele Exterior	3	1	1	1		1		2000
		PVC 30mm	25	PVC 30mm							
		Pele Interior	2			1		1		1550	
Pala dda Superestrutura (Deck Cover)		Pele Exterior	2	1		1		1		1700	
		PVC 30mm	25	PVC 30mm							
		Pele Interior	2		1			1		1400	
Ponte de Comando (Pilot House)		Pele Exterior	2	1		1		1		1700	
		PVC 25mm	25	PVC 25mm							
		Pele Interior	3		1	1		1		1850	
	vidros	Pele	7	1		2	4	2		5650	
Anteparas do WC (toilet Bulkheads)		Pele Exterior	2	1		1		1		1700	
		PVC 25mm	25	PVC 25mm							
		Pele Interior	3		1	1		1		1850	
Resalto da CM (Machinery space box)		Pele Exterior	2	1		1		1		1700	
		PVC 25mm	25	PVC 25mm							
		Pele Interior	3		1	1		1		1850	
Caixa de Ré - Ventilação (After deck boox)	A1		Pele Exterior	2	1		1		1		1700
			PVC 25mm	25	PVC 25mm						
			Pele Interior	2		1			1		1400
	A2		Pele Exterior	5				2	2		3400
			PVC 25mm	25	PVC 25mm						
	Pele Interior	5				2	2		3400		

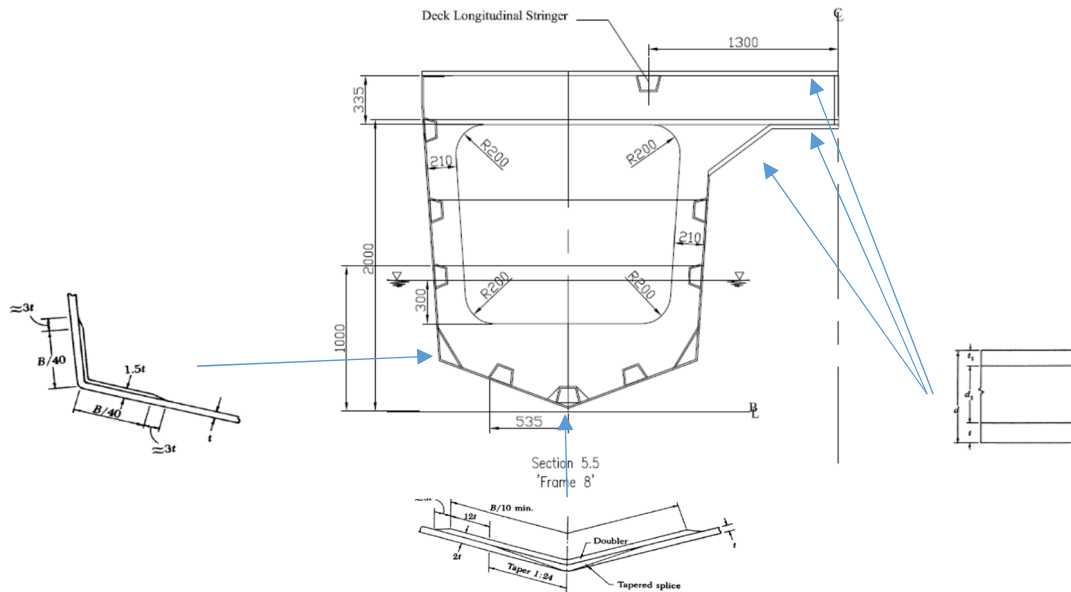


Figura 11 - Secção Mestra

A figura acima, surge para demonstrar onde se altera as diferentes espessuras, isto porque são zonas onde se encontra a maior concentração de esforços, como por exemplo na Quilha no Quinado.

Os pesos de um navio dividem-se em duas categorias: naquelas em que o peso não altera, tais como o peso da estrutura e nos pesos que vão variar ao longo da viagem, tais como o combustível e os mantimentos e lastro. O primeiro grupo constitui "light-weight" (LW) da embarcação, surge quando não existe carga (*Passageiros*). O segundo grupo chama-se "dead-weight" (DW). O DW varia consoante as diferentes condições de carga (*Passageiros*) e existem algumas condições de carga que necessitam de ser investigadas. As duas condições mais comuns são, a embarcação com passageiros e sem passageiros.

#### 4.1 Deslocamento Leve (LW)

Nesta fase do projecto vai-se considerar que as distribuições de carregamento são trapezoidais. É claro que isto é apenas uma aproximação inicial obtida através de dados estatísticos. Assim sendo existe um primeiro erro associado a esta mesma aproximação. Contudo é ainda necessário aproximar este mesmo tipo de carregamento trapezoidal a um carregamento linear. Isto deve-se ao facto de simplificar os cálculos e permite uma visualização gráfica dos carregamentos envolvidos em cada secção. Este será um segundo erro associado.

O cálculo da distribuição do deslocamento leve surge através de uma estimativa e simplificação de distribuição dos pesos, para tal foi necessário subdividir a embarcação por partes e calcular independentemente os peso e respectivos centros de gravidade, como pode-se observar na tabela 4.

Alguns dos pesos principais, como o Casco e Superestrutura surgiram através de cálculos que foram explicados no capítulo 4.2 **Dimensionamento da secção mestra**.

Quanto aos restantes pesos foram estimados através de alguns dados anteriores com se poderá observar nas folhas de cálculo que iram em Anexo.

Tabela 3 - Distribuição do Peso Leve

	Weight (kg)	LCG (m)	VCG (m)	TCG (m)
Hull Structure	13.62	8.36	1.85	0.01
Propulsão	7.56	3.47	1.58	0.00
Sistemas eléctricos	2.17	4.55	2.13	-0.11
Sistemas Electronicos	0.07	13.43	3.17	0.00
Sistemas Auxiliares	1.43	5.58	2.59	0.33
Outfir e Mobiliario	2.90	8.96	3.59	0.06
	<b>27.74</b>	<b>6.66</b>	<b>2.02</b>	<b>0.02</b>

Para um comprimento trapezoidal,  $dL$  a relevante informação será especificada pela massa total  $P$ , com a especificação da posição do centro de gravidade  $C_1$ . A transformação trapezoidal numa distribuição uniforme é mostrada em baixo.

Para o cálculo da distribuição dos pesos, começou-se por subdividir o navio em 20 partes iguais onde começamos por obter o seguinte coeficiente de variação:

$$dl = \frac{L}{20} = \frac{17,276}{20} = 0,864 [m] \quad (2)$$

Para a estimativa de distribuição dos pesos utilizou se as formulas e toda a sua estrutura de estudo já adquirido no 3º ano, na disciplina de Comportamento de Estruturas Navais, formula essas que podemos observar nas folhas da respectiva disciplina.

Estima-se uma distribuição trapezoidal com um dado comprimento  $dl$  com informação relevante da massa total  $P$ , tendo também o respectivo centro de gravidade  $C_1$ . Transformando o trapézio numa distribuição uniforme como é demonstrada na ilustração 5.

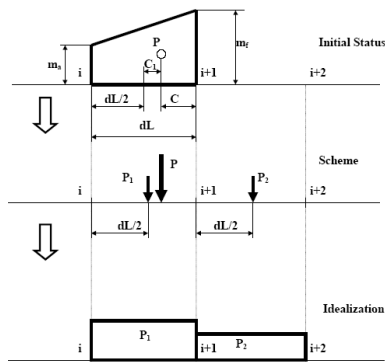


Figura 12 -Forma Trapezoidal e Uniforme de Demonstrar a Distribuição do Peso

Formulas para converter numa distribuição uniforme:

$$P = \frac{dl \cdot (m_f + m_a)}{2} \quad (3)$$

$$C_1 = \frac{dl}{6} \cdot \left( \frac{m_f - m_a}{m_f + m_a} \right) \quad (4)$$

$$C = \frac{dl}{2} - C_1 \quad (5)$$

$$P_1 = P \cdot \left( \frac{1}{2} + \frac{C}{dl} \right) \quad (6)$$

$$P_2 = P \cdot \left( \frac{1}{2} - \frac{C}{dl} \right) \quad (7)$$

$$P = P_1 + P_2 \quad (8)$$

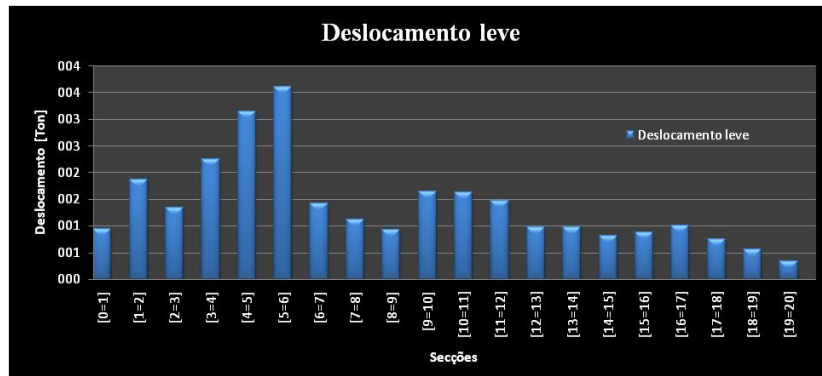


Gráfico 2 - Deslocamento Leve

O valor obtido através dos cálculos de estimativa foi aproximadamente de 27 toneladas, que corresponderá a toda a estrutura da embarcação mais todos os equipamentos e aprestamento nela inseridos. E como se pode observar no gráfico acima apresentado a maior concentração de peso dá-se na casa da Máquina, isto porque é aqui que se encontram os motores propulsores, gerador, os jatos de água e os sistemas de encanamentos.

#### 4.2 Dead – Weight (DW)

Uma característica básica de qualquer navio é a capacidade de carga que o navio pode adquirir num navio totalmente carregado ou a carga do DW. Num navio mercante o D.W. é diferente o deslocamento quando totalmente carregado  $\Delta$  e carregamento leve ou LW:

$$DW = \Delta - LW \quad (9)$$

$$\Delta = \rho \cdot \nabla \quad (10)$$

Onde o volume  $\nabla$  em  $m^3$  do carregamento e a densidade de massa do líquido  $\rho$   $kg/m^3$ , para se assuma que o navio ira flutuar. A carga catualDW será calculada através de uma dedução do peso do combustível, dos mantimentos e dos Passageiros, da água doce e lastro das quais o navio terá de carregar.

$$DW = P_{FW} + P_{BW} + P_{foc} + P_c \quad (11)$$

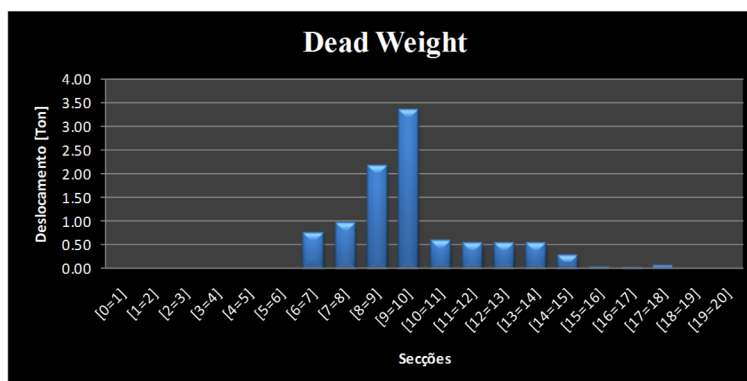


Gráfico 3 – pesos variáveis

O gráfico acima apresentado corresponde aos pesos variáveis onde se obteve-se aproximadamente 10 toneladas, que correspondem aos passageiros, ao combustível a água doces. E assim juntamente com a figura 8 "Arranjo Geral" pode-se confirmar que a estimativa se encontra correta.

### 4.3 Cálculo da Impulsão

Para o cálculo da distribuição de impulsão a posição de um navio em águas tranquilas tem de ser determinada satisfazendo os requerimentos de equilíbrio. Também é necessário definir a distribuição de pesos  $m(x)$  ou o deslocamento do navio  $\Delta$  e a localização do centro de gravidade. A linha de água tem de ser especificada num navio, a impulsão em águas tranquilas é fixa e calculada, e o navio carregado em águas tranquilas, tal como a tensão de corte e o momento-flector dependem da distribuição de pesos.

Um equilíbrio estático requer que o total da força de impulsão seja igual ao deslocamento do navio e que estas duas forças verticais coincidam, tal que o centro de impulsão longitudinal (LCB) tem de coincidir com centro de gravidade longitudinal (LCG). Usando esta anotação, o primeiro requerimento será:

$$\rho \cdot g \cdot \int_0^L a(x) dx = g \cdot \int_0^L m(m) dx = g \cdot \Delta \quad (12)$$

onde,  $a(x)$  é a área imersa,  $m(x)$  é a distribuição de massa,  $\rho$  é a densidade de massa da água do mar,  $g$  é aceleração gravitacional e o  $\Delta$  é o deslocamento do navio.

O equilíbrio de momentos requer:

$$\rho \cdot g \cdot \int_0^L x \cdot a(x) dx = g \cdot \int_0^L x \cdot m(m) dx = g \cdot \Delta \cdot l_G \quad (13)$$

Onde  $l_G$  é a distância da origem até ao LCG.

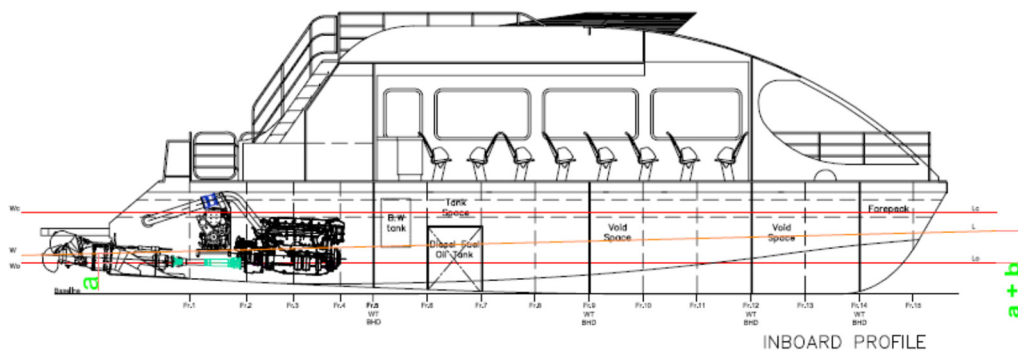


Figura 13 - Estimativa do LCB

Tendo a informação para a posição da linha de água e da distribuição da impulsão e o centro de impulsão poderá ser calculado, como podemos observar na tabela e ilustrações abaixo referentes à situação de navio carregado:

Tabela 4 - Verificação de equilíbrio entre o Deslocamento e a Impulsão da embarcação

Verification of equilibrium	
$\Delta$ [t]	37.57
Xb [m]	-2.47
Xp [m]	-2.47
P [t]	37.57

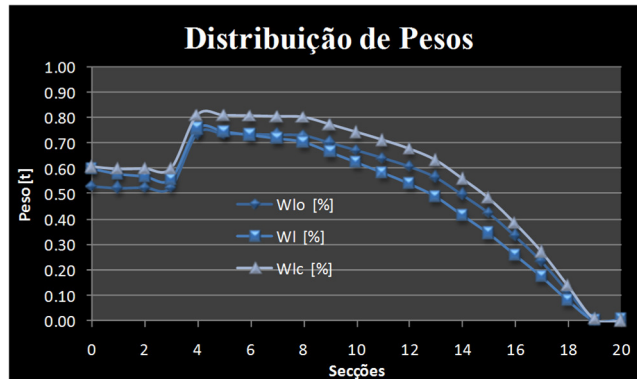


Gráfico 4 - Distribuição dos Pesos nas respectivas variações de Imersões

#### 4.4 Verificações

Após análise dos valores obtidos teoricamente e caderno de estabilidade final das embarcações concluímos que apenas houve uma diferença de 3% entre o valor teórico de 27.72ton e o valor real 28.49 ton.

Quanto ao valor do Deslocamento Carregado, verificamos uma diferença de 0.2% entre o valor real de 37.65 ton e o valor estimado de 37.53ton.

Os Valores Reais, surgem do caderno de estabilidade. Estabilidade essa que foi elaborada através da medição de calados de uma proava de inclinação, e assim surgiram os valores abaixo representados.

Tabela 5 - Distribuição dos Pesos e Características

	Weight (kg)	LCG (m)	VCG (m)	TCG (m)	ITLMMOMENT	ITVMMOMENT	ITMMOMENT
Hull Structure	13,615	8,362	1,848	0,007	113,85	25,16	0,10
Propulsão	7,561	3,467	1,578	0,000	26,21	11,94	0,00
Sistemas eléctricos	2,166	4,545	2,134	-0,106	9,84	4,62	-0,23
Sistemas Electronicos	0,069	13,427	3,170	0,000	0,93	0,22	0,00
Sistemas Auxiliares	1,428	5,578	2,594	0,335	7,96	3,70	0,48
Outfir e Mobiliario	2,897	8,957	3,586	0,061	25,95	10,39	0,18
<b>LW</b>	<b>27,736</b>	<b>6,661</b>	<b>2,020</b>	<b>0,019</b>	<b>185</b>	<b>56</b>	<b>1</b>
	Weight (kg)	LCG (m)	VCG (m)	TCG (m)	ITLMMOMENT	ITVMMOMENT	ITMMOMENT
Passangers	5,5923	8,986	3,652	0,130	50,25	20,42	0,72
Water	0,4	5,890	1,470	1,970	2,36	0,59	0,79
Black Water	0,4	5,89	1,47	-1,97	2,36	0,59	-0,79
Fuel	3,46	6,794	0,802	0,000	23,51	2,77	0,00
<b>DW</b>	<b>9,852</b>	<b>7,965</b>	<b>2,474</b>	<b>0,074</b>	<b>78,47</b>	<b>24,37</b>	<b>0,72</b>
	Weight (kg)	LCG (m)	VCG (m)	TCG (m)	ITLMMOMENT	ITVMMOMENT	ITMMOMENT
LW	27,721	6,661	2,020	0,019	184,65	56,00	0,52
DW	9,852	7,965	2,474	0,074	78,47	24,37	0,72
	<b>37,573</b>	<b>7,003</b>	<b>2,139</b>	<b>0,033</b>	<b>263,12</b>	<b>80,37</b>	<b>1,24</b>

No qual poderemos assumir a seguintes distribuição de pesos.

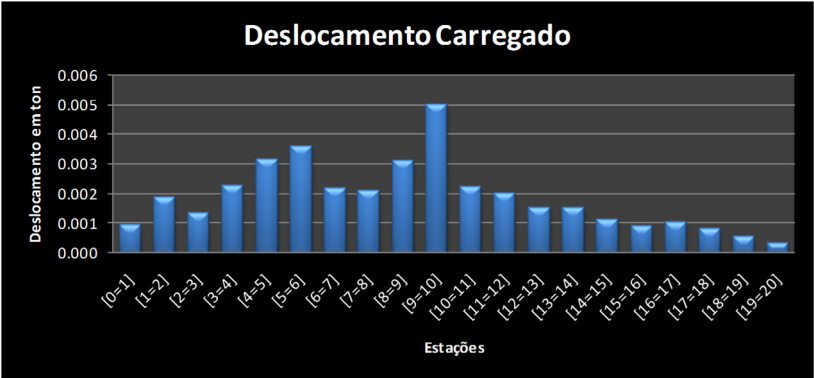


Gráfico 5 - Distribuição de Pesos (Deslocamento Carregado)



## Capítulo 5 – Cálculo de Arqueação

A *Convenção Internacional sobre a Arqueação de Navios, 1969* (ICTM 1969) foi adoptada no mesmo ano pela Organização Marítima Internacional (OMI), entrando em vigor a 18 de Julho de 1982. A ICTM 1969 determinou que as antigas medidas da tonelagem de arqueação bruta (TAB) e tonelagem de arqueação líquida (TAL) fossem substituídas, respectivamente, pela arqueação bruta (AB ou **GT** em inglês *gross tonnage*) e pela arqueação líquida (AL ou **NT** em Inglês *net tonnage*). Foi a primeira tentativa com sucesso para introduzir um sistema universal de medição da arqueação.

Anteriormente, eram utilizados vários métodos para calcular a arqueação dos navios mercantes, mas diferiam significativamente entre si, fazendo-se sentir a necessidade de um sistema internacional uniforme. Um dos métodos mais utilizados era o do Sistema Moorson, desenvolvido na Inglaterra em 1849.

As regras para a determinação da arqueação passaram a aplicar-se a todos os navios construídos depois de 18 de Julho de 1982. Aos navios construídos antes dessa data foi dado um período transitório de 12 anos para passarem do uso da TAB ao da AB e AL. Este período terminou a 18 de Julho de 1994. O período de transição serviu para dar tempo os navios de se ajustarem economicamente, uma vez que a arqueação constitui a base para o cumprimento das regras de governo, manobra e segurança. A arqueação é também a base de cálculo dos emolumentos cobrados para registo e de cálculo das taxas portuárias. Um dos objectivos da ICTM 1969 era o de assegurar que as novas arqueações calculadas não diferiam substancialmente das tradicionais TAB e TAL.

Tanto a AB como a AL são obtidas pela medição do volume do navio, seguida da aplicação de uma fórmula matemática. A AB baseia-se no volume moldado de todos os espaços fechados do navio enquanto a AL se baseia no volume moldado de todos os espaços para transporte de carga do navio. Além disso, existe a obrigação da arqueação Líquida de um navio não ser inferior a 30 % da sua arqueação bruta.

As regras da ICTM 1969 não se aplicam a navios de guerra, a navios de comprimento inferior a 24 metros e a navios que naveguem exclusivamente nos Grandes Lagos da América do Norte, nas partes interiores do rio São Lourenço, no mar Cáspio e nas partes interiores dos rios da Prata, Uruguai e Paraná.

Os navios cujas arqueações brutas e líquidas tenham sido determinadas de acordo com as disposições da ICTM 1969 recebem um *Certificado Internacional de Arqueação (1969)*, normalmente emitido pelos governos dos estados cujas bandeiras arvoram.

O Cálculo de Arqueação de um Catamarã de 18mts, que pertence à elaboração de um projeto e dimensionamento de um catamarã que já fora construído pelos ENP – Estaleiros Navais de Peniche, tomado em conta o Anexo I da “*Convenção Internacional de Arqueação de 1969*” e a seguinte circular IMO: TM.5/Circ.6 - “*Unified Interpretations Relating to the International Convention on Tonnage Measurement of Ships, 1969*”.

## 5.1 Volumes

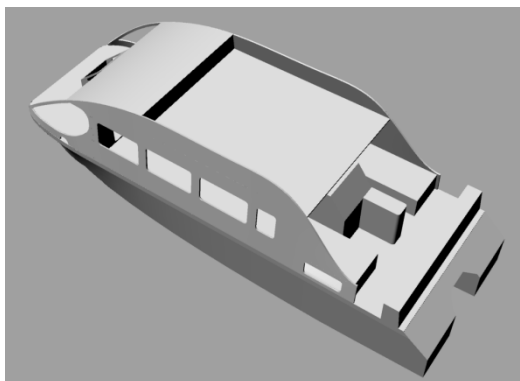


Figura 14 - Modelo 3D

Na Figura acima demonstra-se todos os volumes fechados utilizado para o cálculo de arqueação. E assim demonstra-se que não é só o volume do casco, mas também os restantes volumes fechados como se podem observar na tabela abaixo. Mas não se pode do caso não haja um modelo 3D, também se pode retirar os volumes através dos seguintes desenhos:

- Modelo Geométrico
- Arranjo geral

Tabela 6 -Volumes para Arqueação

NOME DO ESPAÇO	LOCALIZAÇÃO	COMPRIMENTO (m)	VOLUME (m <sup>3</sup> )
Casco	----	17.20	127.523
Superestrutura	FR.5-12	7.30	85.878
Escotilhas de Acesso aos Motores	FR.2-5	2.66	5.817
Quadro Elétrico	FR.2-3	1.30	1.001
WC	FR.3-5	1.36	4.747
Ponte de Comando	FR.12-14	2.30	5.942
Volume Total do Espaços Fechados – V =			230.908

## 5.2 Cálculo da Arqueação

A **arqueação bruta** (AB ou GT, em inglês: *gross tonnage*) é a função do volume de todos os espaços fechados de um navio, medidos desde a quilha até ao rufo pelo exterior do cavername.

A ABS consiste, portanto, numa espécie de índice de capacidade, usado para classificar um navio com os objectivos de determinar as suas regras de governo, de segurança e outras obrigações legais, sendo um valor a dimensional, apesar a sua derivação estar ligada à capacidade volumétrica expressa em metros cúbicos.

A medida do GT está regulada da ICTM 1969, que a define como "a função do volume moldado de todos os espaços fechados do navio".

É calculada usando a seguinte fórmula matemática:

$$GT = K_1 \cdot V \quad (14)$$

Sendo:  $V$  = volume total em  $m^3$ ,  $K_1$  = um valor entre 0,22 e 0,32, dependente do tamanho do navio e calculado da seguinte forma:

$$K_1 = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} V \quad (15)$$

Nota:  $K_1$  pode ser também obtido directamente por meio da tabela dada no Anexo

Conclui-se:

$$GT = K_1 \cdot V$$

$$K_1 = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} V \Rightarrow K_1 = 0,2472$$

$$GT = 57$$

A **arqueação líquida** (AL ou NT, em inglês *nettonnage*) é calculada com base no volume de todos os espaços do navio destinados ao transporte de carga ou de passageiros. Indica o espaço rentável de um navio e é uma função do volume moldado de todos os seus espaços de carga e passageiros.

É calculada usando a seguinte fórmula matemática:

$$NT = k_2 \cdot V_c \cdot \left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D}\right)^2 + K_3 \cdot \left(N_1 + \frac{N_2}{10}\right) \quad (16)$$

Sendo:

- (a) O factor  $\left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D}\right)^2$  não será tomado com valor superior a 1;
- (b) O termo  $k_2 \cdot V_c \cdot \left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D}\right)^2$  não será tomado com valor inferior a  $0,25 \cdot GT$ ; e
- (c) NT não deverá ser tomado com valor inferior a  $0,30 \cdot GT$ , e onde:

$V_c$  = volume total dos espaços para carga, expresso em metros cúbicos;

Como esta embarcação não possuiu nenhum espaço para transporte de carga, conclui-se que  $V_c = 0$ .

$K_2 = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} V_c$  ( $K_2$  pode ser também obtido directamente por meio da tabela em anexo)

$$K_3 = 1,25 \cdot \frac{GT + 10.000}{10.000} \quad (17)$$

$D$  = Pontal de construção a meio do navio, expresso em metros;

$d$  = Imersão medida a meio do navio, expressa em metros;

$N_1$  = Número de passageiros alojados em camarotes não tendo mais de 8 beliches;

$N_2$  = Número de passageiros não incluído em  $N_1$ ,

$N_1 + N_2$  =Número total de passageiros que o navio está autorizado a transportar de acordo com as indicações que figuram no certificado para navios de passageiros; quando  $N_1 + N_2$  for inferior a 13 considera-se que  $N_1$  e  $N_2$  são iguais a zero.

$GT$  =Arqueação bruta do navio, acima calculada.

“Para os navios de passageiros, a imersão correspondente à linha de carga de compartimentação mais elevada que é atribuída de acordo com a Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar em vigor ou, se for caso disso, com qualquer outro acordo internacional”

Conclui-se:

$$V_c = 0$$

$$N_1 = 0$$

$$N_2 = 70$$

$$K_3 = 1,25 \cdot \frac{GT + 10.000}{10.000} = 1,2571$$

$$K_3 \cdot \left( N_1 + \frac{N_2}{10} \right) = 8,80$$

Condição “c”

$$NT \geq 0,30 \cdot GT$$

$$NT \geq 17$$

Verifica-se os seguintes

$$ARQUEAÇÃO BRUTA (GT) = 57$$

$$ARQUEAÇÃO LIQUIDA (NT) = 17$$

## Capítulo 6 - Características Mecânicas

Neste capítulo demonstra-se o cálculo das Propriedades Mecânicas dos materiais compósitos utilizados para a manufactura do casco. Como tal é de extrema importância ter o conhecimento como todo o processo de manufacturação do casco.

Os materiais compósitos são considerados como um material anisotrópico e necessitam de caracterização para cada um dos processos de obtenção e aplicação específica. Enquanto os estudos elaborados pelas sociedades classificadoras definem que os Mat' (CSM) e os compostos (Woven Roving) como materiais Isotrópicos que é quando um dos planos principais é um plano de isotropia, isto é, todo ponto no plano têm a mesmas propriedades mecânicas em todas as direcções. O que faz com que os materiais compósitos sejam ainda hoje um material complexo, porque vai depender das suas aplicações e se são monólitos (material isotrópico) ou sandwiches (material isotrópico + Ortotropico) e ao estudar placa a placa poderá ser um estudo Isotrópico ou Anisotrópico .

Estas propriedades são nomeadamente:

- O **módulo de Young** ( $E$ ) ou **módulo de elasticidade** é um parâmetro mecânico que proporciona uma medida da rigidez de um material sólido. É uma propriedade intrínseca dos materiais, depende da composição química, microestrutura e defeitos (poros e trincas), que pode ser obtida da razão entre a tensão exercida e a deformação sofrida pelo material.  $E$  é o módulo de elasticidade ou modulo Young, medido em unidades de pressão (pascal  $Pa$  ou  $\frac{N}{m^2}$ ). As unidades praticadas são em megapascal ( $MPa$  ou  $\frac{kN}{mm^2}$ ).
- O **coeficiente de Poisson** ( $\nu$ ), mede a deformação transversal em relação à direcção longitudinal de aplicação da carga de um material homogêneo e isotrópico.
- O **módulo de Corte** ( $G$ ), também conhecido por **módulo de rigidez** ou **módulo de torção**, é definido como a razão entre a tensão de cisalhamento aplicada ao corpo e sua deformação específica.
- A **massa específica** da matéria ( $\rho$ ) é a razão entre a massa ( $m$ ) e de uma quantidade da substância e o volume ( $V$ ). Uma unidade muito usal para a massa específica é o ( $\frac{g}{cm^3}$ ), mas no SI (Sistema Internacional) a unidade é o ( $\frac{kg}{m^3}$ ).

### 6.1 Processo de Produção

A construção do casco do Catamarã tem como base um molde e como tal existem alguns passos que tem que se cumprir, tais como:

- o primeiro passo é a preparação das placas interiores do molde (lixagem e aplicação de desmoldante ou cera);
- segundo passo, após o molde estar preparado iniciou-se a aplicação de Gel coat (controlo de qualidade mínimo 600microns – espessura húmida).
- terceiro passo é aplicação da Resina (resina pré- acelerada, tixotrópica, isoftálica e poliéster) e os tecidos aplicados neste caso foram Mat (CSM – Chopped Strand MMat) e os Woven Roving (WR), considerado E-Glass,

Quanto processo utilizado para a laminagem do casco é “Handlay-up”, laminagem à mão como se pode ver na figura abaixo.

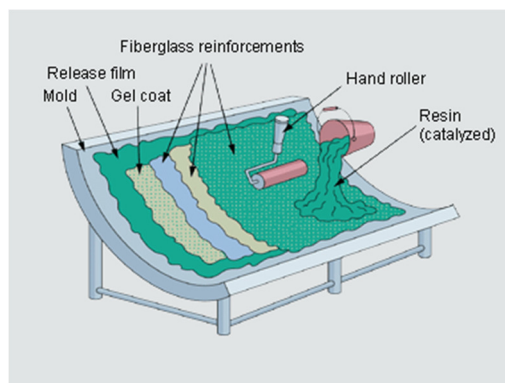


Figura 15 - Handlayup

Todo este processo é sujeito a um controlo muito rigoroso, controlo esse que passa pelo controlo da temperatura e humidade. Segundo as Regras da DNV[7] mais propriamente na parte 3, capítulo 4, secção 2 -B. Armazenamento e Aplicação do Material, a temperatura dentro do molde não poderá variar mais de  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  e nunca a baixo  $18^{\circ}\text{C}$ , a humidade relativa deverá tentar-se manter constante e não poderá exceder os 80%.

Caso humidade relativa se encontre acima dos 80% deve-se desumidificar o espaço onde se irá laminar ou aquecer para que a humidade baixe. O problema que advém de uma humidade excessiva é a OSMOSE, formação de bolhas (*Ela ocorre porque o gelcoat externo de um barco possui um determinado grau de permeabilidade, que após algum tempo de uso, pode perder suas propriedades e deixar passar água. Ou seja, com o passar do tempo e dependendo da qualidade da laminação é quase inevitável a formação de bolhas no casco*).

## 6.2 Características Mecânicas da laminação

Para o cálculo das propriedades mecânicas, utiliza-se as regras de BV[2]. Isto porque é das sociedades classificadoras que melhor e mais facilmente se compreende demonstra o cálculo. A BV também possui um software gratuito para o cálculo das propriedades dos laminados e efectua o estudo em placas, programa esse que se chama “composeIT”.

Neste capítulo apenas vai se utilizar o plano de laminação do casco, como se pode ver na tabela abaixo apresentada. Assim como todos os cálculos e formulas das regras da BV [2].

Tabela 7 - Plano de Laminação do Casco

N.º tecidos	Qts	Tecidos
1	1	Mat 150
2	1	Mat 450
3	1	Mat 600
4	4	WR 800/300

Salienta-se ainda o facto de o material utilizado para o casco ser laminado em fibra de vidro implicando assim a necessidade de se definir o módulo de Young,  $E_x$  e  $E_y$  e o módulo de corte  $G_{xy}$ .

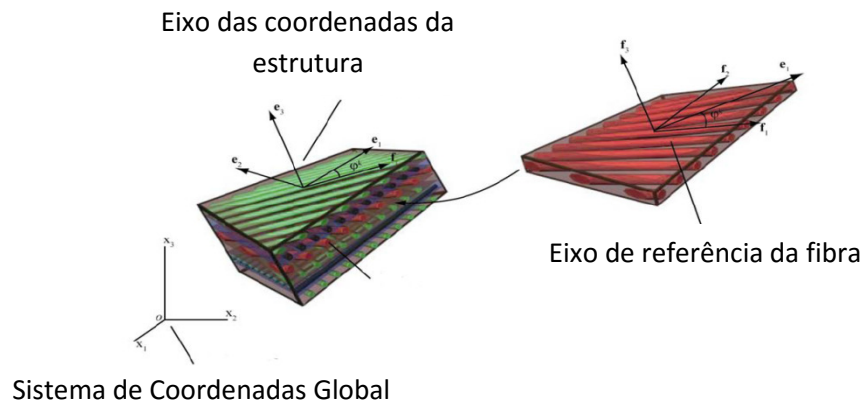


Figura 16 -Orientação das Fibras de um Estratificado

Tabela 8 - Características da Fibra

	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Ef0	Ef90	G	v
<b>E Glass</b>	2,570	73,100 MPa	73,100 MPa	30 MPa	0,24

A fibra de Vidro “E-Glass” é considerado um material isotrópico porque as suas propriedades são idênticas nas duas direções.

Tabela 9 - Características da Resina

	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	E	G	v	σ	τ
<b>Resina polyester</b>	1,200	3,550 MPa	1,350 MPa	0,38	55 MPa	50 MPa

Tantos as características da fibra como da resina, foram retiradas do documento da BV [2].

### 6.3 Características Físicas e Geométricas de cada camada

Neste subcapítulo como os demais, passa se a demonstra como se calcula as propriedades dos materiais compósitos, tendo sempre em mente que se está a estudar uma placa com o plano de laminagem apresentado na tabela 7. Estes cálculos que se passam a descrever, resultam do documento da BV acima indicado.

As razões entre a fibra/resina poderão ser expressas pela massa, volume que poderão ser deduzidas através das seguintes fórmula:

$$V_f = \frac{M_f / \rho_f}{M_f / \rho_f + 1 \cdot (1 - M_f) / \rho_r} \quad (18)$$

$$V_r = 1 - V_f \quad (19)$$

$$M_f = \frac{M_f \cdot \rho_f}{M_f \cdot \rho_f + (1 - V_f) \cdot \rho_r} \quad (20)$$

$$M_r = 1 - M_f \quad (21)$$

Tabela 10 - % de Fibra aplicadas numa layer

Processo de laminagem		$V_f$		$M_f$	
		Regras	Reais	Regras	Reais
Handlay-up	CSM	15% a 20%	19%	25% a 35%	33%
	WR	25% a 40%	28%	40% a 60%	46%

Estes valores reais, apresentados na tabela acima, resultam da vaga experiência dos ENP (Estaleiros Navais de Peniche), no que diz respeito à construção em embarcações de Fibra de Vidro. Estes valores são retirados diariamente para uma folha de controlo de produção, são valores médios isto porque depende sempre da pessoa que se encontra a laminar, basta que uma pessoa não espalhar a resina com a mesma pressão para a razão de entre a resina e a fibra se altere.

A espessura individual de cada camada, em mm, poderá ser expressa pelas seguintes formulas, através da massa ou do volume:

$$e_m = \frac{P_f \cdot \left( \frac{1}{\rho_f} + \frac{1-M_f}{M_f \cdot \rho_r} \right)}{1000} \quad (22)$$

$$e_v = \frac{P_f \cdot \left( \frac{1}{V_f \cdot \rho_r} \right)}{1000} \quad (23)$$

Segundo ao plano de laminagem em estudo (figura 7 – Plano de laminagem do Casco) pode-se concluir que irá possuir a seguinte espessura:

$$\sum e_{m,i} = 9.37mm$$

Através das fórmulas acima apresentadas conclui-se as seguintes propriedades físicas:

Tabela 11 - Propriedades físicas

Tipo de Tecidos	$m_f$	$P_f$	$e_m$	$\rho$
<b>Mat 150</b>	150 g/m <sup>2</sup>	455 g/m <sup>2</sup>	0,31 mm	1,456 kg/m <sup>3</sup>
<b>Mat 300</b>	300 g/m <sup>2</sup>	909 g/m <sup>2</sup>	0,62 mm	
<b>Mat 450</b>	450 g/m <sup>2</sup>	1,364 g/m <sup>2</sup>	0,94mm	
<b>Mat 600</b>	600 g/m <sup>2</sup>	1,818 g/m <sup>2</sup>	1,25mm	
<b>WR 800</b>	800 g/m <sup>2</sup>	1,739 g/m <sup>2</sup>	1,09mm	1,590 kg/m <sup>3</sup>
<b>Combinado</b>				
<b>Rov 800/300</b>	1,100 g/m <sup>2</sup>	2,648g/m <sup>2</sup>	1,72 mm	3,046 kg/m <sup>3</sup>

Nota: o  $P_f$  é o peso total de cada camada (resina + fibra)

Densidade de individual de cada camada á calculada através da seguinte fórmula:

$$\rho = \rho_f \cdot V_f + \rho_r \cdot (1 - V_f) \quad (24)$$

Como podemos observar na tabela acima os, MAT's tem sempre a mesma densidade 1.456 kg/m<sup>3</sup>.



## 6.4 Coeficientes Elásticos de uma Cada individual

### 6.4.1 WovenRoving

Neste estudo apenas se utiliza o WovenRoving 800 (800g/m<sup>2</sup>). No caso em que se laminam os cascos o tecido é aplicado na vertical, isto porque os laminadores desenrolam o tecido na vertical aplicam a resina com pistola de pressão depois passam com os rolos até retirem os excessos de resina.

O que implica que a direcção dos tecidos WR serão sempre de zero graus, também podemos concluir que os tecidos de WR terão sempre um coeficiente balanço de 50%, o que indica que o tecido terá sempre 400g/m<sup>2</sup> no sentido de 90° e de 400g/m<sup>2</sup> no sentido de 0°.

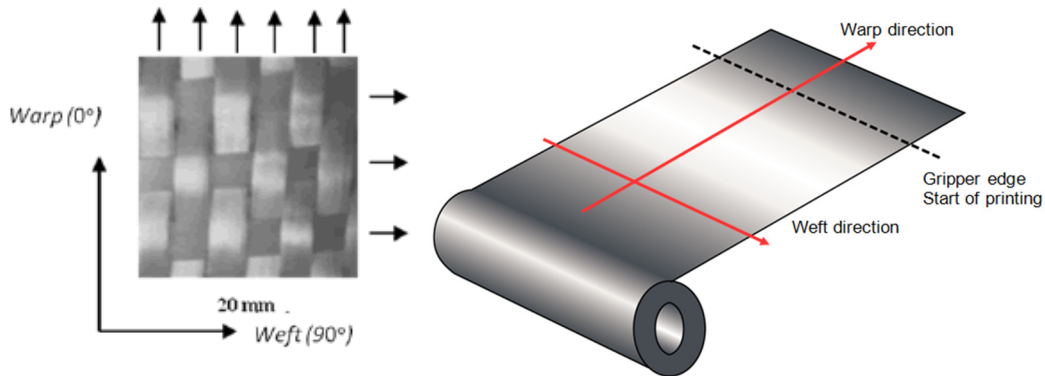


Figura 17 - Tecido do WovenRoving

Os coeficientes de elasticidade para o tecido (fibra) WovenRoving, para uma camada individual poderá ser estimada através das seguintes formas:

Matriz Q

$$Q = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{21} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{33} \end{bmatrix}$$

$$Q_{11} = \frac{E_{UD1}}{1 - \nu_{UD12} \cdot \nu_{UD21}} \quad (25)$$

$$Q_{22} = \frac{E_{UD2}}{1 - \nu_{UD12} \cdot \nu_{UD21}} \quad (26)$$

$$Q_{12} = \frac{\nu_{UD21} \cdot E_{UD1}}{1 - \nu_{UD12} \cdot \nu_{UD21}} \quad (27)$$

$$Q_{33} = G_{UD12} \quad (28)$$

Conclui-se

$$Q = \begin{bmatrix} 23.976 & 7.340 & 0 \\ 7.340 & 6.774 & 0 \\ 0 & 0 & 2.069 \end{bmatrix}$$

Matriz A

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & 0 \\ A_{21} & A_{22} & 0 \\ 0 & 0 & A_{33} \end{bmatrix}$$

$$A_{11} = e \cdot [C_{eq} \cdot Q_{11} + (1 - C_{eq}) \cdot Q_{22}] \quad (29)$$

$$A_{22} = e \cdot [C_{eq} \cdot Q_{22} + (1 - C_{eq}) \cdot Q_{11}] \quad (30)$$

$$A_{12} = e \cdot Q_{12} \quad (31)$$

$$A_{33} = e \cdot Q_{33} \quad (32)$$

Conclui-se

$$A = \begin{bmatrix} 16.819 & 8.029 & 0 \\ 8.029 & 6.819 & 0 \\ 0 & 0 & 2.263 \end{bmatrix}$$

Os coeficientes de elasticidade para os “WovenRoving” como uma camada individual são estimados através das seguintes formulas:

Modulo de Elasticidade 0° (warpdirection) $E_{T1}$ , em N/mm<sup>2</sup>

$$E_{T1} = \frac{1}{e} \cdot \left( A_{22} - \frac{A_{12}^2}{A_{11}} \right) = 11.871 \text{ N/mm}^2 \quad (33)$$

Módulo de Elasticidade 90° (weftdirection) $E_{T2}$ , em N/mm<sup>2</sup>

$$E_{T2} = \frac{1}{e} \cdot \left( A_{11} - \frac{A_{12}^2}{A_{22}} \right) = 11.871 \text{ N/mm}^2 \quad (34)$$

Modulo de Elasticidade “Out-of-palme”, em N/mm<sup>2</sup>

$$E_{T3} = E_{UD3} = 6.594 \text{ N/mm}^2 \quad (35)$$

Modulo de Corte

$$G_{T12} = \frac{1}{e} \cdot A_{33} = 2.069 \text{ N/mm}^2 \quad (36)$$

$$G_{T13} = G_{T23} = 0,9 \cdot G_{T12} = 1.862 \text{ N/mm}^2 \quad (37)$$

Coefficientes de Poisson

$$\nu_{T12} = \frac{A_{12}}{A_{22}} = 0.48 \quad (38)$$

$$\nu_{T21} = \nu_{T12} \cdot \frac{E_{T2}}{E_{T1}} = 0.48 \quad (39)$$

$$\nu_{T32} = \nu_{T31} = \frac{\nu_{UD32} + \nu_{UD31}}{2} = 0.20 \quad (40)$$

$$\nu_{T31} = \frac{\nu_{UD23} + \nu_{UD13}}{2} = 0.31 \quad (41)$$

#### 6.4.2 Shopped Strand Mat

Os Mat's são considerados materiais isotrópicos. Assim sendo pode-se definir os coeficientes de elasticidade segundo as seguintes fórmulas:

YoungModulus, em N/mm<sup>2</sup>

$$E_{mat1} = E_{mat2} = \frac{3}{8} \cdot E_{UD1} + \frac{5}{8} \cdot E_{UD2} = 8.937 \text{ N/mm}^2 \quad (42)$$

$$E_{mat3} = E_{UD3} = 4.367 \text{ N/mm}^2 \quad (43)$$

ShearModulus em N/mm<sup>2</sup>

$$G_{mat12} = \frac{E_{mat1}}{2 \cdot (1 + \nu_{mat21})} = 3.437 \text{ N/mm}^2 \quad (44)$$

$$G_{mat23} = G_{mat31} = 0.7 \cdot G_{UD12} = 1.201 \text{ N/mm}^2 \quad (45)$$

Coefficiente de Poisson

$$\nu_{mat12} = \nu_{mat21} = \nu_{mat32} = \nu_{mat13} = 0.3 \quad (46)$$

### 6.4.3 Fibras Combinadas ou Compostas

Uma placa é um combinado de diferentes camadas de fibras, neste caso é um combinado entre fibras Mat e WovenRoving, conforme a tabela 7 – Plano de Laminagem.

São consideradas as uniões entre vários tipos de fibras, tais como:

- CSM
- WR

*Matriz de Rigidez*

$$\bar{R} = \begin{bmatrix} \bar{R}_{11} & \bar{R}_{12} & 0 \\ \bar{R}_{21} & \bar{R}_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \bar{R}_{33} \end{bmatrix}$$

Para Mat's (CSM)

$$\bar{R} = \begin{bmatrix} 9.821 & 2.946 & 0 \\ 2.946 & 9.821 & 0 \\ 0 & 0 & 3.437 \end{bmatrix}$$

$$\bar{R}_{11} = \frac{E_{mat}}{(1 - \nu_{mat}^2)} \quad (47)$$

$$\bar{R}_{22} = \frac{E_{mat}}{(1 - \nu_{mat}^2)} \quad (48)$$

$$\bar{R}_{12} = \frac{\nu_{mat} \cdot E_{mat}}{(1 - \nu_{mat}^2)} \quad (49)$$

$$\bar{R}_{21} = \frac{\nu_{mat} \cdot E_{mat}}{(1 - \nu_{mat}^2)} \quad (50)$$

$$\bar{R}_{33} = G_{mat12} \quad (51)$$

Para WovenRovings (WR)

$$\bar{R} = \begin{bmatrix} 15.375 & 7.340 & 0 \\ 7.340 & 15.375 & 0 \\ 0 & 0 & 2.069 \end{bmatrix}$$

$$\overline{R}_{11} = \frac{E_{T1}}{(1 - \nu_{T12} \cdot \nu_{T21})} \quad (52)$$

$$\overline{R}_{22} = \frac{E_{T2}}{(1 - \nu_{T12} \cdot \nu_{T21})} \quad (53)$$

$$\overline{R}_{12} = \frac{\nu_{T21} \cdot E_{T1}}{(1 - \nu_{T12} \cdot \nu_{T21})} \quad (54)$$

$$\overline{R}_{21} = \frac{\nu_{T12} \cdot E_{T2}}{(1 - \nu_{T12} \cdot \nu_{T21})} \quad (55)$$

$$\overline{R}_{33} = G_{T12} \quad (56)$$

*Matriz de flexibilidade*

$$\overline{S} = \begin{bmatrix} \overline{S}_{11} & \overline{S}_{12} & 0 \\ \overline{S}_{21} & \overline{S}_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \overline{S}_{33} \end{bmatrix}$$

Para Mats (CSM)

$$\overline{S} = \begin{bmatrix} 0.112 & -0.034 & 0 \\ -0.034 & 0.112 & 0 \\ 0 & 0 & 0.291 \end{bmatrix}$$

$$\overline{S}_{11} = \frac{1}{E_{mat}} \quad (57)$$

$$\overline{S}_{22} = \frac{1}{E_{mat}} \quad (58)$$

$$\overline{S}_{12} = \frac{-\nu_{mat}}{E_{mat}} \quad (59)$$

$$\overline{S}_{21} = \frac{-\nu_{mat}}{E_{mat}} \quad (60)$$

$$\overline{S}_{33} = \frac{1}{G_{mat12}} \quad (61)$$

Para Woven Rovings (WR)

$$\overline{S} = \begin{bmatrix} 0.084 & -0.040 & 0 \\ -0.040 & 0.084 & 0 \\ 0 & 0 & 0.483 \end{bmatrix}$$

$$\overline{S}_{11} = \frac{1}{E_{T1}} \quad (62)$$

$$\overline{S}_{22} = \frac{1}{E_{T2}} \quad (63)$$

$$\overline{S}_{12} = \frac{-\nu_{T21}}{E_{T2}} \quad (64)$$

$$\overline{S}_{21} = \frac{-\nu_{T12}}{E_{T1}} \quad (65)$$

$$\overline{S_{33}} = \frac{1}{G_{T12}} \quad (66)$$

#### 6.4.4 Tensão de Corte de uma camada

Segundo a tabela da que se encontra no documento da BV [2], verificado as percentagens teóricas das tensões de corte das respectivas fibras.

Tabela 12 - Propriedades Mecânicas dos Mat's

ChoppedStrandMat (CSM)						
Corte			Compressão		Tensão	
$\gamma_{br12}$	$\gamma_{br13}, \gamma_{brIL2}$	$\gamma_{br23}, \gamma_{brIL1}$	$\epsilon_{brc1}$	$\epsilon_{brc2}$	$\epsilon_{brt1}$	$\epsilon_{brt2}$
2.00	2.15	2.15	1.55	1.55	1.55	1.55

Tabela 13 - Propriedades Mecânicas do WovenRoving's

WovenRoving (WR)						
Corte			Compressão		Tensão	
$\gamma_{br12}$	$\gamma_{br13}, \gamma_{brIL2}$	$\gamma_{br23}, \gamma_{brIL1}$	$\epsilon_{brc1}$	$\epsilon_{brc2}$	$\epsilon_{brt1}$	$\epsilon_{brt2}$
1.50	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80

O valor máximo para o Coeficiente da Tensão de Corte de uma camada individual, utilizando uma resina poliéster é de:

$$Coef_{res} = 0.8$$

Para o calculo da tensão de corte de uma camada individual onde é definida em N/mm<sup>2</sup>, a tensão de corte máxima de uma camada está localizada num sistema de coordenadas. O valor teórico da tensão de corte é obtido através das seguintes formulas:

$$\sigma_{brt1} = \epsilon_{brt1} \cdot E_1 \cdot Coef_{res} \quad (67)$$

$$\sigma_{brc1} = \epsilon_{brc1} \cdot E_1 \cdot Coef_{res} \quad (68)$$

$$\sigma_{brt2} = \epsilon_{brt2} \cdot E_2 \cdot Coef_{res} \quad (69)$$

$$\sigma_{brc2} = \epsilon_{brc2} \cdot E_2 \cdot Coef_{res} \quad (70)$$

$$\tau_{br12} = \gamma_{br12} \cdot G_{12} \cdot Coef_{res} \quad (71)$$

$$\tau_{brIL1} = \gamma_{brIL23} \cdot G_{23} \cdot Coef_{res} \quad (72)$$

$$\tau_{brIL2} = \gamma_{brIL13} \cdot G_{13} \cdot Coef_{res} \quad (73)$$

Segundo as equações conluíamos os seguintes valores, tanto para os MAT's (CSM – material isotrópico) como para os WovenRoving (material orto trópico).

Tabela 14 - Resultados das tensões de corte

	Mat's	WR
$\sigma_{brt1} =$	11,082 N/mm <sup>2</sup>	11,297 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{brc1} =$	11,082 N/mm <sup>2</sup>	11,297 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{brt2} =$	11,082 N/mm <sup>2</sup>	17,094 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{brc2} =$	11,082 N/mm <sup>2</sup>	17,094 N/mm <sup>2</sup>
$\tau_{br12} =$	5,500 N/mm <sup>2</sup>	2,483 N/mm <sup>2</sup>

$\tau_{br/L1} =$	2,066 N/mm <sup>2</sup>	2,681 N/mm <sup>2</sup>
$\tau_{br/L2} =$	1,730 N/mm <sup>2</sup>	2,681 N/mm <sup>2</sup>

## 6.5 Estudo de uma Placa

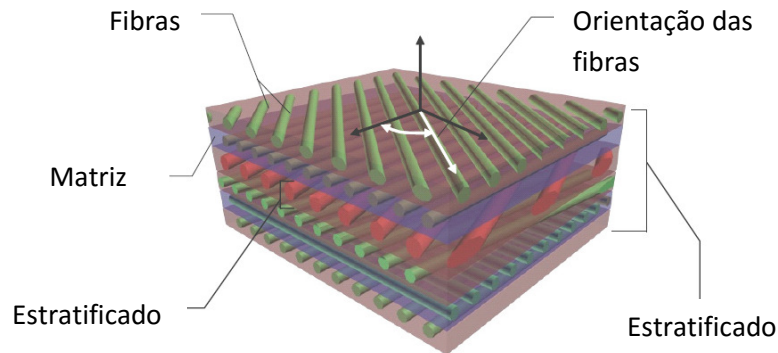


Figura 18 - Nomenclatura de um estratificado de material composto

### 6.5.1 Características básicas de uma Laminagem

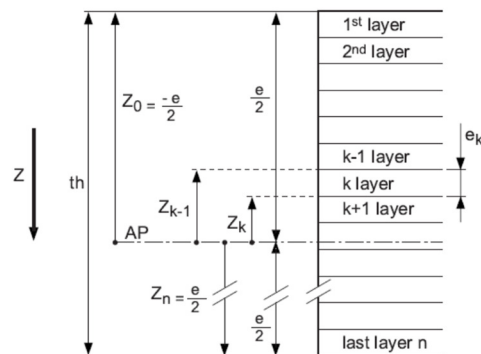


Figura 19 - Posicionamento de cada Camada

AP : Eixo mediano do laminado, localizado a meio do laminado da placa

th : espessura do laminado, em mm

ek : espessura individual de cada camada k, em mm

Zk: Distancia entre AP e a interface da camada k e k+1

$$Z_k = \frac{-e}{2} + \sum_1^k e_i \quad (74)$$

Zk-1 : Distancia AP e a interface da camada k e k-1

$$Z_{k-1} = \frac{-e}{2} + \sum_1^{k-1} e_i \quad (75)$$

Conforme já informado no início deste capítulo, apenas estamos a estudar o plano de laminagem do costado do Catamarã, onde se obtém o seguinte plano de Laminagem.

Tabela 15 - Plano de laminagem

Sequência	Def. Laminagem
1	Mat 150
2	Mat 450
3	Mat 600
4	WR 800
5	Mat300
6	WR 800
7	Mat300
8	WR 800
9	Mat300
10	WR 800
11	Mat300

A orientação de cada camada é constituída por eixos locais e o laminado global é definido na figura abaixo representada.

Como regra geral, ao eixo de referência do laminado é assumido como os eixos de uma embarcação, com:

X : Eixo longitudinal da embarcação

Y : Eixo perpendicular ao eixo longitudinal do navio.

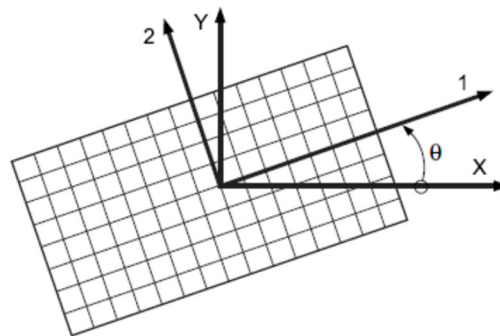


Figura 20 - Orientação de cada Camada em relação às coordenadas globais

Conversão das características individuais de cada camada

Matriz Rígida

$$[R]_k = \begin{bmatrix} R_{xx} & R_{xy} & R_{xz} \\ R_{yx} & R_{yy} & R_{yz} \\ R_{zx} & R_{zy} & R_{zz} \end{bmatrix} = T \cdot [\bar{R}]_k \cdot T'^{-1}$$

Para Mats (CSM)

$$[R]_k = \begin{bmatrix} 9.821 & 2.946 & 0 \\ 2.946 & 9.821 & 0 \\ 0 & 0 & 3.437 \end{bmatrix}$$

Para WovenRovings (WR)

$$[R]_k = \begin{bmatrix} 15.375 & 7.340 & 0 \\ 7.340 & 15.375 & 0 \\ 0 & 0 & 2.069 \end{bmatrix}$$

Matriz de Flexibilidade

$$[S]_k = \begin{bmatrix} S_{xx} & S_{xy} & S_{xz} \\ S_{yx} & S_{yy} & S_{yz} \\ S_{zx} & S_{zy} & S_{zz} \end{bmatrix} = T \cdot [\bar{S}]_k \cdot T'^{-1}$$

Para Mats (CSM)

$$[S]_k = \begin{bmatrix} 0.112 & -0.034 & 0 \\ -0.034 & 0.112 & 0 \\ 0 & 0 & 0.291 \end{bmatrix}$$

Para WovenRovings (WR)

$$[S]_k = \begin{bmatrix} 0.084 & -0.040 & 0 \\ -0.040 & 0.084 & 0 \\ 0 & 0 & 0.483 \end{bmatrix}$$

Matrizes de Transferência

$$T = \begin{bmatrix} (\cos \theta)^2 & (\sin \theta)^2 & -(2 \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta) \\ (\sin \theta)^2 & (\cos \theta)^2 & (2 \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta) \\ (\cos \theta \cdot \sin \theta) & -(\cos \theta \cdot \sin \theta) & ((\cos \theta)^2 - (\sin \theta)^2) \end{bmatrix}$$

$$T' = \begin{bmatrix} (\cos \theta)^2 & (\sin \theta)^2 & -(\cos \theta \cdot \sin \theta) \\ (\sin \theta)^2 & (\cos \theta)^2 & (\cos \theta \cdot \sin \theta) \\ 2 \cdot (\cos \theta \cdot \sin \theta) & -2 \cdot (\cos \theta \cdot \sin \theta) & ((\cos \theta)^2 - (\sin \theta)^2) \end{bmatrix}$$

Pode-se concluir, que no casco em que se utiliza Mat (CSM) as matrizes de transferência serão iguais à matriz identidade, assim como quando aplicado osWovenRoving com uma direcção de 0°, neste caso a aplicação do tecido foi na vertical. Isto porque a laminação do casco é apenas na vertical, desenrola-se o rolo e aplicasse a resina não se coloca nenhum tecido transversal e como já se mostrou anterior mente os rolos do composto Wovenroving apenas têm 0ª ou 90º.

Como tal observou-se que as matrizes de rigidez e de flexibilidade são iguais tanto em camadas individuais como no estudo de uma placa.

*Peso do Laminado*

$$W = \left( \sum_1^n \frac{P_{fi}}{M_{fi}} \right) \cdot 10^{-3} + \sum P_i = 14 \text{ kg/m}^2 \quad (76)$$

Matriz de Rigidez Global

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & 0 \\ A_{21} & A_{22} & 0 \\ 0 & 0 & A_{33} \end{bmatrix}$$

$$A_{ij} = \sum_1^n (R_{ij})_k \cdot e_k \quad (77)$$

Conclui-se



$$A = \begin{bmatrix} 131.564 & 21.905 & 0 \\ 21.905 & 94.393 & 0 \\ 0 & 0 & 26.221 \end{bmatrix}$$

### 6.5.2 Cálculos das Características Elásticas da Placa

Os coeficientes elásticos do laminado é dado nas duas direcções X e Y, são obtidos segundo as seguintes fórmulas:

Modulo de Elasticidade, em X

$$E_x = \frac{1}{A'_{11} \cdot th} = 13.285 \text{ N/mm}^2 \quad (78)$$

Modulo de Elasticidade, em Y

$$E_y = \frac{1}{A'_{22} \cdot th} = 9.663 \text{ N/mm}^2 \quad (79)$$

O módulo de corte de um laminado é obtido segundo as seguinte formula:

Módulo de corte, em XY

$$G_{xy} = \frac{1}{A'_{xy} \cdot th} = 2.782 \text{ N/mm}^2 \quad (80)$$

Onde:

$A'_{11}, A'_{22}, A'_{33}$  :Termos da matriz inversa de A

th : espessura, em mm do laminado

Os valores apresentados, correspondem aos que ocorreram no programa da BV (Composit). Logo são valores aceitáveis.

## Capítulo 7 – Dimensionamento Estrutural

### 7.1 Procedimentos e Simplificação efetuados na determinação das espessuras equivalentes

Como se pretende analisar o comportamento global de uma estrutura complexa, deve-se procurar simplificar a mesma de modo a facilitar a modelação, assim, todas as aberturas, boeiras, transições de espessura e reforços foram simplificados, diminuindo assim o tempo e a complexidade da modelação e da computação.

Uma das simplificações foi considerar uma laminagem monolítica, factoeste que não é real e alterar as propriedades geométricas de alguns elementos estruturais de modo a que os novos elementos tivessem as mesmas propriedades mecânicas dos originais.

Para alterar as propriedades geométricas de alguns dos elementos sugere-se expressões para a maior parte dos casos, através das quais é possível proceder à determinação de espessuras equivalentes para painéis cujas aberturas ou boeiras não foram consideradas. Assim para o cálculo das espessuras equivalentes dos painéis em monolítico ignorando-se as boeiras utilizou-se a seguinte expressão:

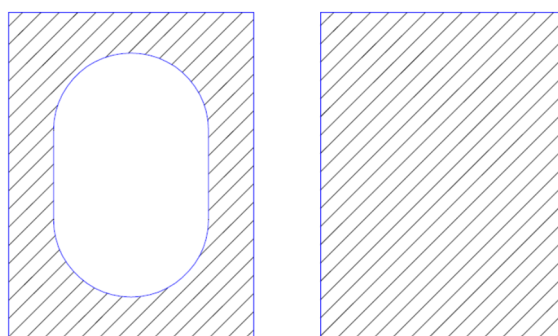


Figura 22 - Passagem de um painel com passagem de homem para um painel sem abertura

$$t_{equi} = \frac{t \cdot (A_{equi} - A_{aber})}{A_{equi}} \quad (81)$$

onde  $t_{equi}$  é a espessura equivalente do painel em monolítico considerando-se que não possui aberturas,  $A_{aber}$  é a área das aberturas do painel em monolítico,  $A_{equi}$  é a área do painel em monolítico caso não possui aberturas e  $t$  é a espessura do painel em monolítico com aberturas.

Para os componentes construídos em “Sandwich” considerou-se as expressões que constam nas regras para classificação das embarcações construídas em PRFV da sociedade classificadora ABS[4], estas expressões garantem a igualdade de inércia entre os painéis de construção em “sandwich” e os painéis em monolítico através da expressão a baixo referida.

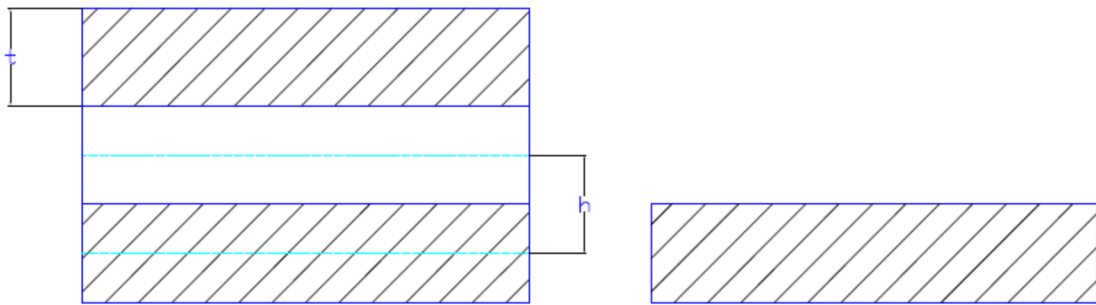


Figura 23 - Passagem de painéis em "sandwich" para painéis em monolítico

$$t_{mon} = \sqrt[3]{2 \cdot (t^3 + 12 \cdot h \cdot t)} \quad (82)$$

onde  $t_{mon}$  é a espessura equivalente do painel em monolítico,  $t$  é a espessura de uma face de laminado e  $h$  é a distância do eixo neutro do painel em "sandwich" até ao eixo neutro da face em laminado.

Apesar de haver igualdade de inércia, a igualdade de peso nestes componentes estruturais não existe devido ao facto dos núcleos da construção em "sandwich" (PVC, DIVINYCELL ou COREMAT) apresentarem uma baixa densidade. Assim após se ter calculado a espessura equivalente para os painéis em "sandwich" foi ainda necessário determinar a nova densidade do monolítico de modo a garantir que o peso dos componentes fosse igual.

Para os reforços em "ómega" utilizou-se a expressão a baixo indicada, para determinar a espessura equivalente de um painel que possui-se a mesma altura do reforço e a mesma área.

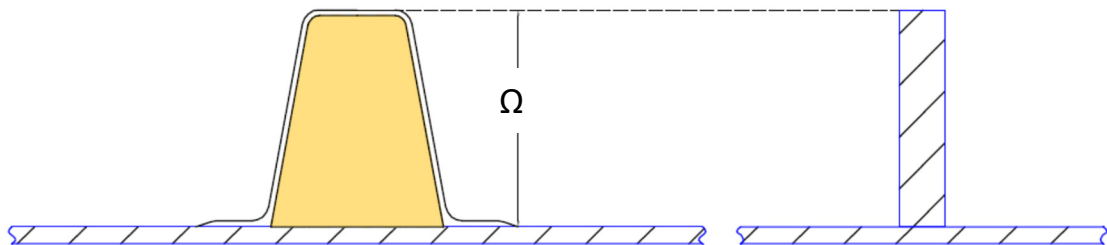


Figura 24 - Passagem dos perfis com núcleos em poliuretano para perfis viga em monolítico

$$t_{equi} = \frac{A_{perifl em \Omega}}{h_{perifl em \Omega}} \quad (83)$$

onde  $t_{equi}$  é a espessura equivalente do reforço como painel equivalente,  $A_{perifl em \Omega}$  é a área resistente do reforço em "ómega" e  $h_{perifl em \Omega}$  é a altura do perfil em "ómega".

## 7.2 Casco

Nesta secção serão enunciadas todas as partes e todos os componentes que compoñham a estrutura de modo a permitir uma melhor percepção da estrutura da embarcação, assim como as espessuras originais e as espessuras equivalentes determinadas a partir das expressões enunciadas acima enunciadas.

Para tal foi necessário obter informação sobre o plano de laminagem de cada um dos componentes a ser utilizado, utilizando alguns dados adquirido com a experiência na construção de embarcações em fibra (*experiência ENP*), pôde-se estimar para cada tipo de laminado uma espessura e onde vimos a concluir o seguinte:

**Tabela 16 - Propriedades dos Laminados**

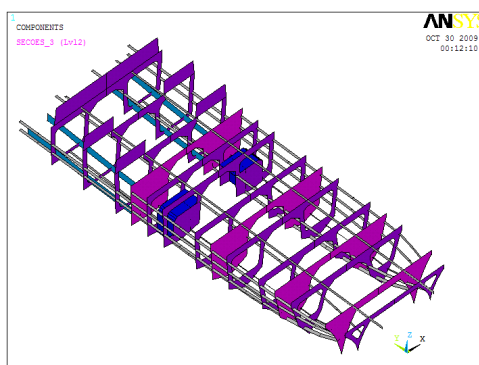
Propriedades dos Laminados				
Classe	Material	Thichness [mm]	Weight [kg/m <sup>2</sup> ]	Tensile Modulus [N/mm <sup>2</sup> ]
0	Gel Coat			
1	150g CSM	0.35	0.52	6290
2	450g CSM	1.04	1.36	6950
3	600g CSM	1.39	1.82	6950
4	300/800 combi	2.32	3.09	11581
5	800/300 combi	1.95	4.51	
6	1200/300 infusion	2.58	3.40	11880
7	Divinycell H 80	25.00	2.00	80
8	Divinycell H 80	100	8	320
9	300g CSM	0.69	0.91	

A embarcação pode ser dividida em quatro blocos distintos e cada um dos blocos pode ser por sua vês de composto em subgrupos ou sub-blocos, como por exemplo, em balizas, longarinas, anteparas, etc.

- Secções;
- Forro e reforços do casco;
- Cabine;
- Superestrutura.

### 7.2.1 Secções

O bloco Reforços considerado na modelação da embarcação pode ser subdividido em sub-blocos que serão de seguida apresentados individualmente, sendo apresentada a sua geometria, simplificações efetuadas e a distribuição das espessuras equivalentes.



**Figura 25 - Anteparas, Balizas e Reforços – Secções**

### 7.2.2 Casco

O Casco é uma das zonas mais importante da embarcação visto tratar-se da fronteira entre o meio líquido onde a embarcação se move e os espaços internos da mesma, garantindo ainda a estanqueidade da embarcação em condições normais. Este componente composto por inúmeros painéis, onde foi subdividido em sete zonas distintas, consoante a espessura equivalente que cada zona detinha.

- Costado interior Superior;

- Costado interior Diagonal;
- Costado interior;
- Costado exterior;
- Defesa;
- Reforço Interior;
- Fundo.

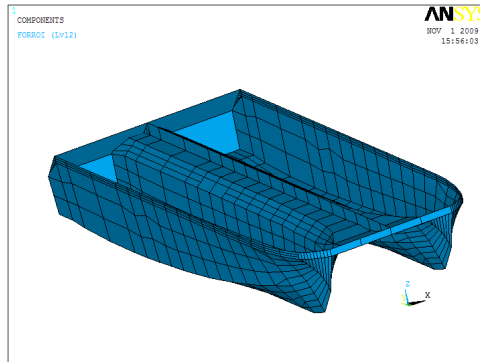


Figura 26 – Casco

Na figura abaixo podemos observar uma baliza onde estão indicadas as 7 Zonas distintas.

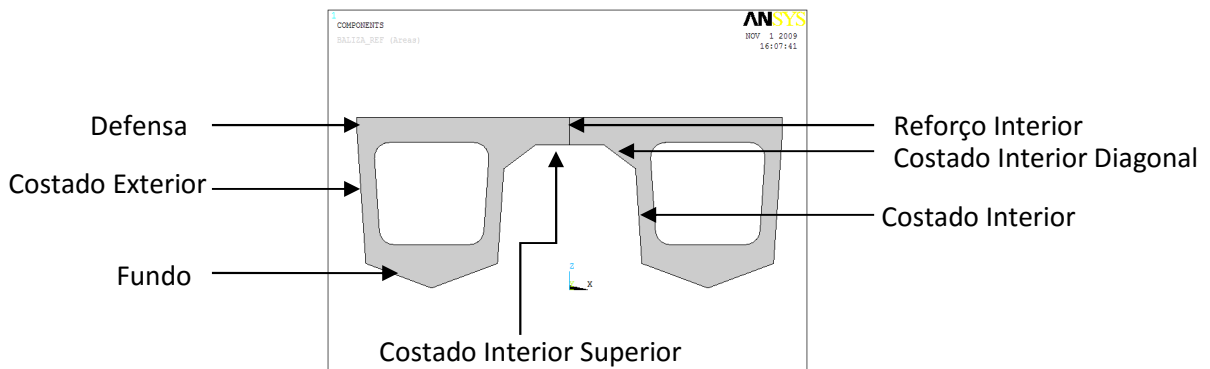


Figura 27 - Divisão do casco em zonas Distintas

Tabela 17 - Espessuras e propriedades do casco

Laminagens Simples de Mantas					
Nome do componente	Plano de Laminagem	Espessura [mm]	Espessura Equivalente [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>2</sup> ]	
Fundo	[0]/([1]/[2]/[3]/[4] <sub>2</sub> /[5] <sub>2</sub> )	12	-	7.42	
Costado	[0]/([1]/[2]/[3]/[4] <sub>2</sub> /[5] <sub>2</sub> )	12	-	17.89	
Defensa	[0]/([1]/[2]/[3]/[4] <sub>2</sub> /[5] <sub>2</sub> )*1.5	19	-	26.84	
Quilha	[0]/([1]/[2]/[3]/[4] <sub>4</sub> /[5] <sub>4</sub> )	22	-	31.28	
Quinado de Transição	[0]/([1] <sub>2</sub> /[2] <sub>2</sub> /[3] <sub>2</sub> /[4] <sub>4</sub> /[5] <sub>4</sub> )	25	-	41.62	
Costado interior Diagonal	[0]/([1]/[2]/[3]/[4]/[5] <sub>2</sub> )	34	-	17.83	
Costado interior Superior	[0]/([1]/[2]/[3]/[4]/[5] <sub>2</sub> )	34	-	17.83	

As espessuras da quilha, do fundo e do quinado eram iguais a 30,69 [mm], 15,34 [mm] e 23,01 [mm] respectivamente; entre a quilha e o fundo e entre este e o quinado existe uma zona de transição de espessura como se pode observar nas figuras abaixo.

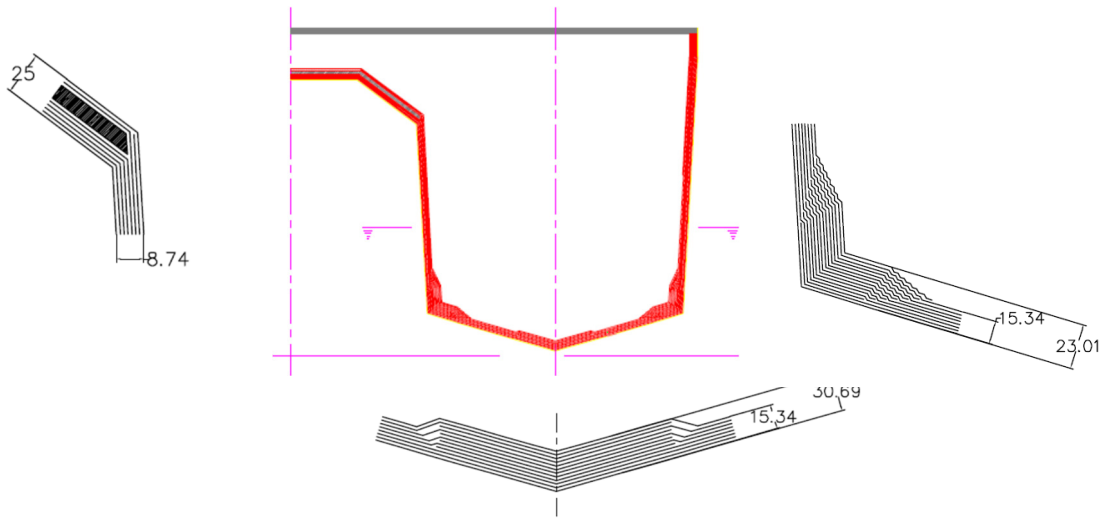


Figura 28 - Esquema Ilustrativo das espessuras numa zona de transição de espessura

Estas zonas de transição foram simplificadas e alteradas de modo a não existir uma variação linear de espessuras ao longo da altura de transição, o resultado dessa simplificação está apresentado na figura abaixo. As espessuras destes componentes foram mantidas excepto para as zonas de transição onde se uniformizou a espessura maior.

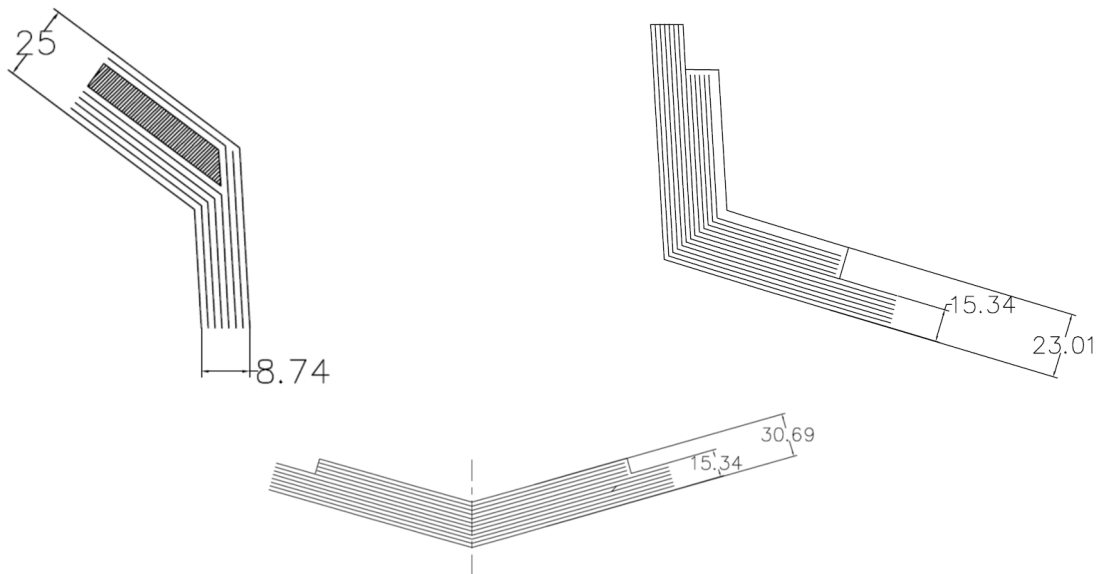


Figura 29 – Esquema Ilustrativo da simplificação efetuada das espessuras numa zona de transição de espessura

### 7.2.3 Anteparas Transversais

Como foi referido anteriormente a embarcação possui quatro anteparas transversais, estas anteparas garantem a estanquicidade e protecção dos compartimentos importantes como a casa das máquinas ou compartimento dos tanques. Na figa abaixo pode-se observar as quatro anteparas transversais:

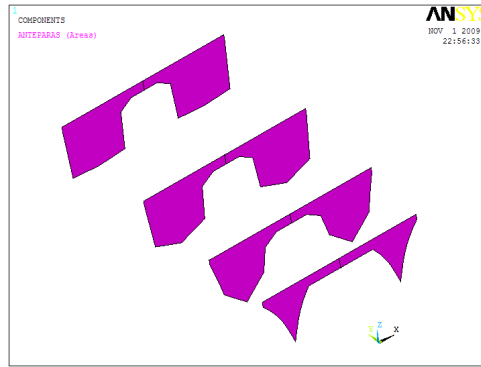


Figura 30 - Representação das quatro anteparas transversais da embarcação

Todas as anteparas são de construção em “Sandwich” com núcleo em “PVC” pelo que foi necessário calcular a espessura equivalente e a massa específica de cada uma garantindo assim semelhantes propriedades de massa e inércia, para o efeito recorreu-se à expressão demonstrada no capítulo 4.3. do presente relatório.

$$t_{mon} = \sqrt[3]{2 \cdot (t^3 + 12 \cdot h \cdot t)} \quad (84)$$

Na tabela abaixo demonstrada apresenta-se a espessura da construção em “Sandwich”, espessuras equivalentes calculada e respectiva massa.

Construtions of watertight Bulkheads

- Plating

Espessura dos laminados das anteparas, é para não serem inferiores a:

a) - FRP Plating

$$t = 0,0404 \cdot s \cdot \sqrt[3]{kh}$$

s = 450 mm

k = 0.028

h = 2.3 m

t = 7.29 mm

d<sub>1</sub> = 25 mm

d = 40 mm

Tabela 18 - Espessura equivalente e massa específica das anteparas transversais da embarcação

Sandwich						
Nome do componente	Plano de Laminagem	Espessura [mm]	t [mm]	h[mm]	Espessura Equivalente [mm]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]
Anteparas Transversais do Casco	[2]/[4]/[3]/[7]/[3]/[4]/[2]	35	4.75	17	13	14.55
Antepara Long. -(extrutura Interior)	[3]/[4]z/[3]z/[7]/[3]z/[5]z/[3]	42	8.07	21	17	28.13

#### 7.2.4 Reforços do Caso

Todos os reforços da embarcação são perfis em “Ω” colados ao casco exterior e convés, estes reforços têm um núcleo em poliuretano, no entanto este não tem qualquer resistência estrutural servindo só para aumentar a inércia dos esforços. Assim não são consideradas para efeito de cálculo das propriedades geométricas equivalentes.

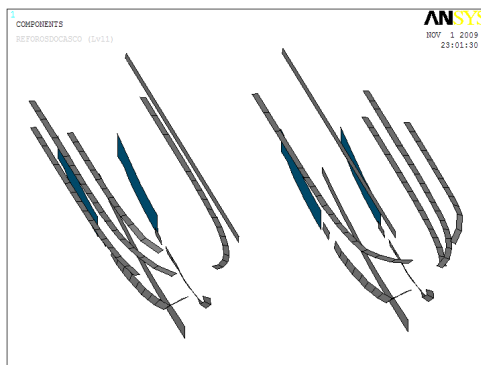


Figura 31 - Reforços do Casco - Fixe do Motor, Longarinas e Escoas

Tabela 19 - Propriedades geométricas dos reforços do casco

Perfil Omega						
Nome do componente		Plano de Laminagem	Altura [mm]	Área [mm <sup>2</sup> ]	Espessura Equivalente [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>2</sup> ]
Quilha		150 * 100 * 75	160	29975	187	-
Reforços Costado	Superio	150 * 100 * 75	125	24067	193	-
	médio	150 * 100 * 75	135	25333	188	-
	Inferior	150 * 100 * 75	155	27664	178	-
Reforço do Convés		150 * 100 * 100	104	14398	138	-

Sandwich							
Nome do componente		Plano de Laminagem	Espessura [mm]	t [mm]	h[mm]	Espessura Equivalente [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>2</sup> ]
Reforços do Motor		[3]/[4]z/[3]/[4]z/[3]/[8]/[3]/[5]z/[3]	126	26	76	44	46.49

### 7.2.5 Balizas Reforçadas

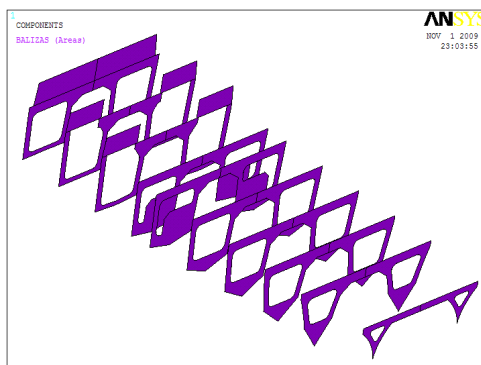


Figura 32 - Balizas Reforçadas

Na tabela seguinte apresenta-se a espessura equivalente para as Balizas reforçadas.

Tabela 20 - Propriedades geométricas das Balizas reforçadas

Sandwich							
Nome do componente		Plano de Laminagem	Espessura [mm]	t [mm]	h[mm]	Espessura Equivalente [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>2</sup> ]
Balizas Reforçadas		[3]/[4]z/[3]/[7]/ [3]/[4]z/[3]	40	6.03	19	15	21.64



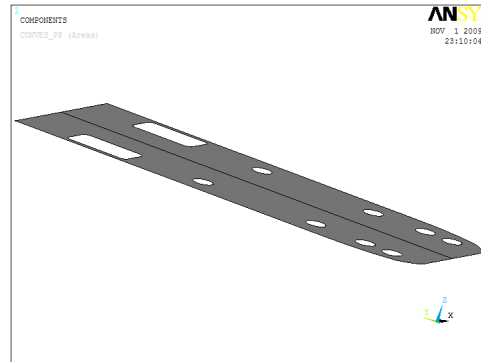
### 7.2.6 Tanque Estrutural

O tanque estrutural é composto por elementos em Sandwich assim como a anteparo de balanço dentro do tanque.

**Tabela 21 - Propriedades geométricas do tanque estrutural**

Sandwich						
Nome do componente	Plano de Laminagem	Espessura [mm]	t [mm]	h[mm]	Espessura Equivalente [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
Tank	[3]s/[7]/[3]s	33	4	17	12	7.46

### 7.2.7 Convés Principal



**Figura 33 - Convés Principal**

Este é o pavimento é o único pavimento contínuo que a embarcação possui, sendo pavimento mais importante de toda a embarcação, pois é neste que se encontram a massa de passageiros e onde ocorrerá a maior movimentação, desde da operação de amarração de pilotagem e de entrada ou saída do catamarã. O pavimento tem cinco aberturas, duas das quais são os acessos à casa da máquina, são grandes porque servem para retirar o motor caso haja uma avaria no futuro, as restantes aberturas servem de caso aos compartimentos da embarcação como por exemplo compartimento dos tanques, compartimentos vazios e piques de vante ou paiol da amarra.

**Tabela 22 - Propriedades geométricas do Convés**

Sandwich						
Nome do componente	Plano de Laminagem	Espessura [mm]	t [mm]	h[mm]	Espessura Equivalente [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
Convés Principal	[1]/[2]/[5]/[2]/[7]/[2]/[5]	32	7	17	16	15.64

## 7.3 Superestrutura

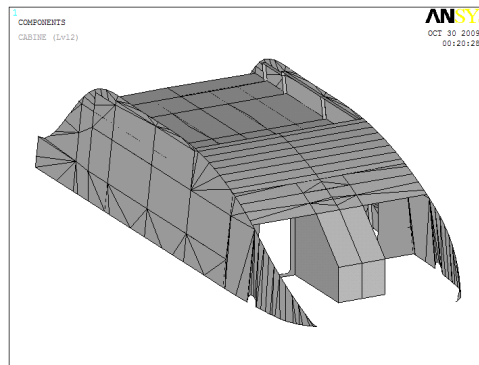


Figura 34 – Superestrutura

Ao conjunto da Cabine de Passageiros e reforços deu se o nome de Superestrutura, no qual é composta por vários subgrupos, como pode observar:

- Painéis laterais;
- Painel frontal;
- Ponte de comando;
- Painel a ré;
- Pala;
- Convés superior;
- Convés superior
- Reforços:
  - Reforços do convés superior;
  - Reforços das placas laterais;
  - Pés de carneiro.

### 7.3.1 Painéis

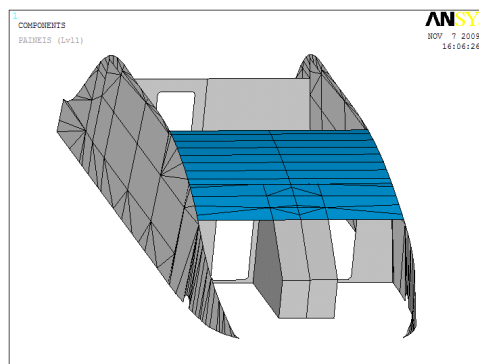


Figura 35 - Painéis da Superestrutura

Para o cálculo das espessuras equivalentes nos painéis laterais e painéis da ponte de comando utilizou-se a seguinte equação:

$$t_{equi} = \frac{t \cdot (A_{equi} - A_{aber})}{A_{equi}} \quad (85)$$

Os painéis de vante e de ré já foram dimensionados com as respectivas portas, logo não foi necessário calcular a espessura equivalente.

No caso da Pala do FlyerBridged foi necessário calcular a espessura equivalente devido ao simples facto de esta placa ser construída em “sandwich”, contudo o núcleo é em PVC Divinycell H80.

Tabela 23 - Propriedades geométricas dos painéis

Laminagens Simples de Mantas						
Nome do componente	Plano de Laminagem	Espessura [mm]	Area total [mm <sup>2</sup> ]	Area Abertura [mm <sup>2</sup> ]	Espessura Equivalente [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
Laterais da Superestrutura	[1]/[6] <sub>4</sub>	11	31775218	6202334	9	14.12
Painéis de Vante	[1]/[2]/[5]/[9]/[3]/[4]/[2]/[3]	10	-	-	-	-
Ponte de Comando	[1]/[2]/[5]/[3] <sub>3</sub> /[9]/[4]/[2]/[3]	13	11972634.1	2764095.149	10	19.05
Painel Ré	[1]/[2]/[5]/[9]/[3]/[4]/[2]/[3]	10	-	-	-	-

Sandwich						
Nome do componente	Plano de Laminagem	Espessura [mm]	t [mm]	h[mm]	Espessura Equivalente [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
Pala	[1]/[2]/[5]/[7]/[4]/[9]	31	3	16	11	12.40

### 7.3.2 Reforços da Superestrutura

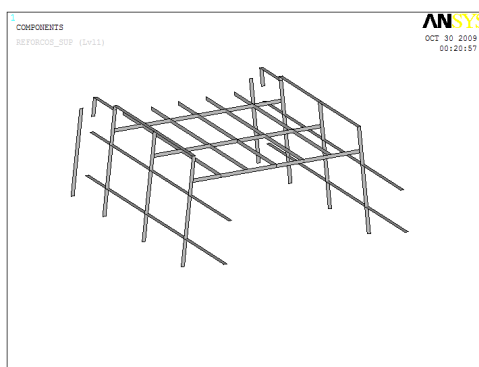


Figura 36 - Reforços da Superestrutura

Tabela 24 - Propriedades geométricas dos reforços da Superestrutura

Sandwich						
Nome do componente	Plano de Laminagem	Espessura [mm]	t [mm]	h[mm]	Espessura Equivalente [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
Reforços do Convés Superior	[7]/[3]/[5] <sub>2</sub> /[9]/[5]/[3]/[3] <sub>2</sub> s	49	12	25	22	45.46
Ref. Painéis Laterais	[7]/[3]/[5] <sub>2</sub> /[9]/[5]/[3]/[3] <sub>2</sub> s	49	12	25	22	45.46

Sendo uma embarcação de passageiros implica que tenha de existir uma área grande para colocação dos próprios, assim sendo, entre a antepara de ré e a antepara de vante vai um vão muito grande logo tem que se colocar reforços transversais e verticais assim como pés de carneiro, para sustentar o convés evitando a ocorrência de uma deflexão, para tal foram colocados 4 pés de carneiro dividindo a área do convés em três pares.

### 7.3.3 Convés Superior

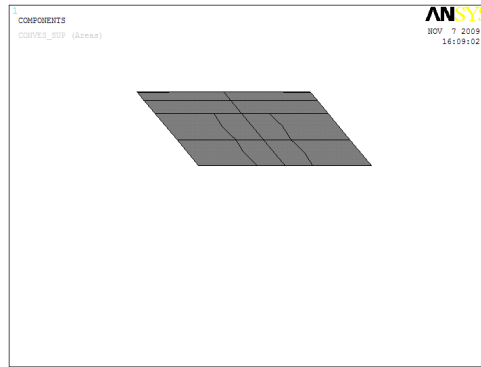


Figura 37 - Convés Superior

Este pavimento também albergara 17 lugares para passageiros, lá encontra-se também 3 balsas rígidas assim como encontra-se os aparelhos do ar condiciona e as baterias de comunicação, tendo como acesso uma escadaria a ré da embarcação, os pesos em cima desta cobertura totalizam ±5 ton.

Este pavimento também serve de cobertura da cabine de passageiros.

Tabela 25 - Propriedades geométricas do convés superior

Sandwich						
Nome do componente	Plano de Laminagem	Espessura [mm]	t [mm]	h[mm]	Espessura Equivalente [mm]	ρ [kg/m <sup>2</sup> ]
Convés superior	[1]/[2]/[5]/[9]/[7]/[14]/[2]	32	4	17	12	13.77

### 7.3.4 Ressaltos acima do Convés Principal

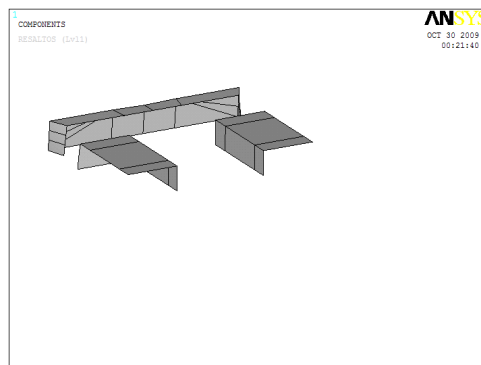


Figura 38 - Ressaltos acima do convés superior

Tabela 26 - Propriedades geométricas dos ressaltos acima do convés

Sandwich						
Nome do componente	Plano de Laminagem	Espessura [mm]	t [mm]	h[mm]	Espessura Equivalente [mm]	ρ [kg/m <sup>2</sup> ]
Ventilação da Casa da Máquina	[1]/[2]/[5]/[7]/[9]/[5]	31	3	16	11	13.83
Acesso à Casa da Máquina	[1]/[2]/[5]/[7]/[9]/[4]/[2]	32	4	17	12	13.76614

## Capítulo 8 – Modelação e Análise da Estrutura recorrendo aos elementos finitos

No presente capítulo pretende-se descrever os procedimentos utilizados na modelação da embarcação em estudo para posteriores análises recorrendo a métodos de elementos finitos.

### 8.1 Modelação da estrutura da embarcação

Para modelação da estrutura optou-se por modelar apenas metade da embarcação, isto porque a sendo o navio em estudo um catamarã logo possui dois cascos isto implica que tem uma estrutura simétrica. Assim sendo apenas foi modelada toda a estrutura de EB, permitindo corrigir eventuais erros de modo simples, e eficiente e rápido.

Na figura seguinte podemos observar a modelação da estrutura no programa de elementos finitos ANSYSAPDL[8].

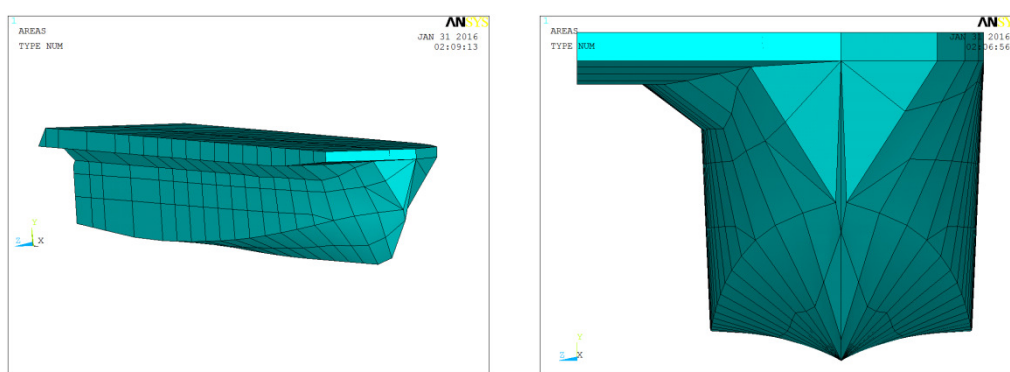


Figura 39 - Representação da modelação de metade da embarcação

Para a Modelação foi necessário recorrer a um programa 3D, mais conhecido pelo RHINOCEROS.

O modelo foi dividido transversalmente por:

- Anteparas:
- Balizas Reforçadas
- Secções Transversais.

Em cada uma destas secções foram retirados vários pontos, pontos que definiam a silhueta do casco, pontos dos reforços e das aberturas das balizas. Pontos esses que mais tarde foram introduzidos no “ANSYS” e convertidos em linhas e áreas.

Com base em muitas pesquisas e visualizações de modelações e ensaios, utilizou-se a seguinte organização na programação:

Definição do Tipo de análise - Estrutural

Definição do Tipo de Elementos - Shell 63

Para esta análise estrutural optou-se pela utilização de elementos contidos na base de dados de elementos do programa comercial para análise de elementos finitos utilizado, ANSYS. Dentre todos os elementos disponibilizados pelo programa optou-se por escolher o elemento casca SHELL63 (Shell Elastic 4node 63).

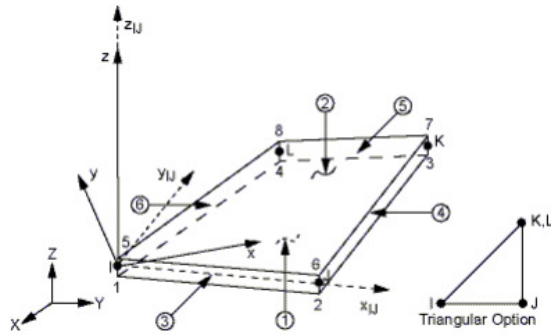


Figura 40 - Elemento Casca - SHELL63

O elemento tem seis graus de liberdade por nó, sendo elas, três translações segundo os eixos x, y e z e três rotações em torno de tais eixos.

Características do elemento Shell 63:

- Nome na biblioteca do ANSYS 9.0: SHELL 63; Nós: 4 (i – j – k – l)
- Graus de liberdade: 6 DOF- UX, UY, UZ, ROTX, ROTY e ROTZ.
- Propriedades dos materiais: Comando MP, label, NSET, valor onde label é:
  - EX= Módulo de Elasticidade;
  - ALPX = Coeficiente de Dilatação Térmica;
  - DENS = Densidade;
  - G = Módulo de Elasticidade Transversal.
- Restrições:
  - Não são permitidos elementos de área nula.

Para cada elemento escolhido o programa de “software” assume as seguintes tensões e respectivas orientações, como podemos observa na figura abaixo, compondo assim o vector das tensões.

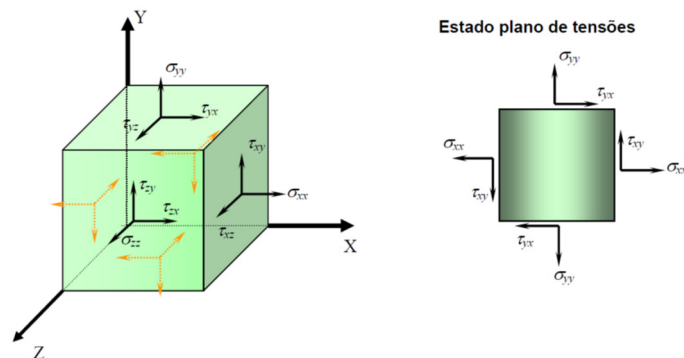


Figura 41 - Representação esquemática da definição do vetor tensão

Constantes Reais - Para poder simplificar o Programa Criaram-se 6 (seis) constantes reais diferentes:

- R1 = 10mm , Costado Interior Diagonal, Costado Interior, Costado Exterior, Painel de Popa
- R2 = 15mm , Quilha

- R3 = 25mm , Estrutura Interior, quinados
- R4 = 45mm , Anteparas, Balizas Reforçadas, Tanque Estrutural, Costado Interior Superior, Convés
- R5 = 97mm , Fixe do Motor
- R6 = 123mm , Reforços do Casco

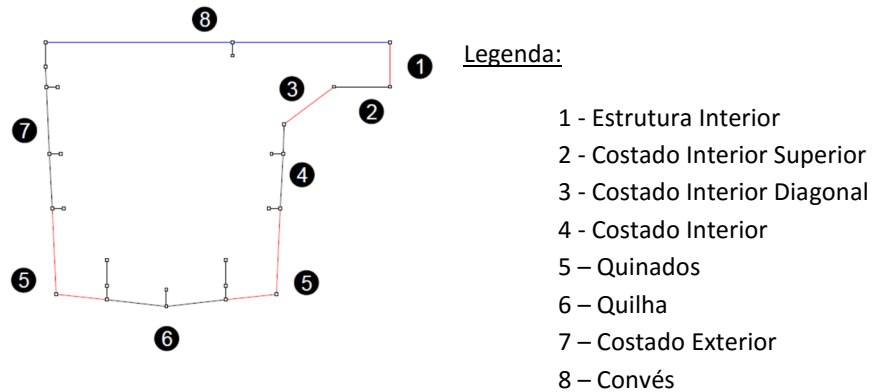


Figura 42 - Divisão de uma secção

Propriedade dos Materiais -Sendo o Catamarã em material compósito, aplicaram-se as características de um material ortotrópico (material Estrutural, Linear, Elástico, Ortotrópico)

Estas propriedades são nomeadamente, o modulode Young ( $E$ ), o coeficiente de Poisson ( $\nu$ ), o módulo de corte ( $G$ ). Salientar-se ainda o fato de o material utilizado para a manufactura do casco ser em fibra de vidro, implicando assim a necessidade de se definir o módulo de Young  $E_x$  e  $E_y$  e o módulo de corte  $G_{xy}$ ,  $G_{yz}$  e  $G_{xz}$ .

Nesta fase do projecto conclui-se que as propriedades alcançadas anterior mente no capítulo 6, são apenas para materiais isotrópicos e ortotropicos, mas na realidade é qua ao aplicar-se estas fibras na mesma laminagem, o material irá transformar-se num material anisotrópico. Assim sendo teve de se recorrer a alguma bibliografia para que seobteve-se os valores abaixo apresentados.

Isto porque o Ansys ainda não está preparado para trabalhar com materiais anisotropicos, então simplificou-se para um material ortotropico linear.

Tabela 27 - Modulo de Young

$E_x$	$E_y$	$E_{xy}$
[GPa]	[GPa]	[GPa]
28,125	6,69	6,69

Tabela 28 - Modulo de Corte

$G_{xy}$	$G_{yz}$	$G_{xz}$
[GPa]	[GPa]	[GPa]
2,43	2,43	3,4

Tabela 29 - Coeficiente de Poisson

V <sub>xy</sub>	V <sub>yz</sub>	V <sub>xz</sub>
[-]	[-]	[-]
0,33	0,079	0,079

Modelação da Estrutura- Para a descrição da estrutura começou-se por definir os “*Keypoints*” relevantes para cada secção como se pode observa na figura a baixo e cada intersecção dos vários reforços. Estes pontos denominados “*Keypoints*” são a base de toda a análise, tendo-se recorrido a estes para definir-se as áreas, ares estas que representam os painéis da embarcação e os reforços equivalentes.

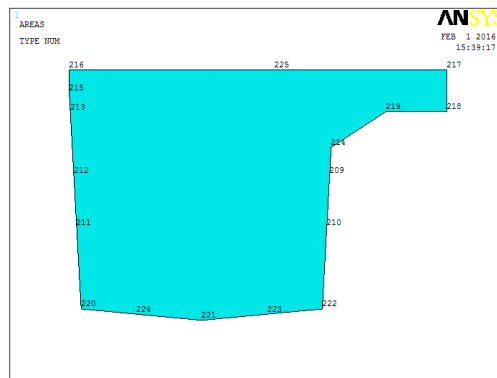


Figura 43 - Definição de uma Antepara em Keypoints

Na tabela Seguinte apresenta-se uma breve descrição do número de “*Keypoints*”, linhas e áreas que foram inseridas na modelação da estrutura:

Tabela 30 - Elementos necessários para a modelação da estrutura

Keypoints	Lines	Áreas
750	1218	482

Seguidamente estas áreas são agrupadas em conjuntos denominados componentes, que por sua vez são agrupados em “*assemblies*” denominadas grupos; a estes grupos são posteriormente atribuídas as propriedades mecânicas dos materiais.

Tabela 31 - Lista dos componentes agrupados

Catamaran	Hull	Structure	Frames	ANTEPARAS
				BALIZAS
				TANQUE ESTRUTURAL
			Stringer	FIXE DO MOTOR
				REF_MOTOR
				EXT_INT
				REFORÇOS LONGITUDINAIS DO MOTOR
				REFORÇO DA QUILHA
				ESCOA BAIXA
				ESCOA MÉDIA



			ESCOA ALTA
			SICÓRDIA
			ESTRUTURA INTERNA
			COSTADO INTERIOR SUPERIOR
			COSTADO INTERIOR DIAGONAL
			COSTADO INTERIOR
	Depth		QUILHA
			QUINADOS
			COSTADO EXTERIOR
			PAINEL DE POPA
			PRODA DE PROA
			CONVES

## 8.2 Execução do Malha

Após a definição do modelo estrutural a utilizar, o passou-se à seguinte análise estrutural utilizando o método dos elementos finitos é a execução do Meshda estrutura, ou seja, a descrição da estrutura em pequenos elementos e nós a partir dos quais o programa determinará para cada elemento a matriz de rigidez e o vector de forças para posterior mente determinar a matriz global de rigidez e o vector global de forças após a indicação das condições de fronteira a aplicar ao modelo.

A malha obtida para a estrutura foi executada automaticamente através de elementos inteligente (Smartsizing). É um tipo malha que cria inicialmente elementos livres para suas operações. “Smartsizing” possibilita a criação de uma malha muito mais adequada à forma durante a sua geração.

Este recurso, que é controlado pelo comando SMRTSIZE, fornece uma gama de configurações (de grosso para fino da malha) para gerar a malha. Neste caso utilizou-se dois tipos de tamanhos 2 e 6.

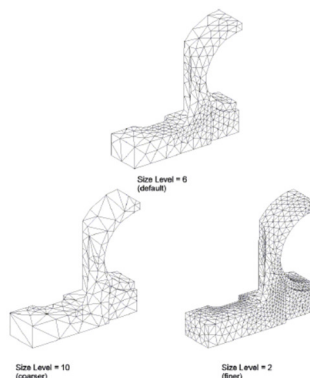


Figura 44 - Diferentes níveis do comando “SmartSize”

Após a definição da “Smartsizing” utilizou-se uma malha livre, esta não tem restrições em termos das formas de elemento e não tem nenhum padrão especificado para a sua aplicação.

Tabela 32 - SMRTSIZE - Valores dos Argumentos para h - elementos

SizeLevel	2	6
SmartsizingscaleFactor	0.25	1
Areainternalexpansion Factor	1	1
Area internal transition control Factor	2	2
Spanned angle per element (low order elements)	10	22
Spanned angle per element (high order elements)	15	30
Crow the ratio for a proximity check	1.5	1.5
Maximumnumberofiterations	4	4
Surfaceproximityrefinementis	off	off
Smallholecoarseningis	off	on

O resultado obtido pode ser observado na figura a abaixo indicada, onde se pode verificar que o “Mesh” obtido é composto na por elementos quadriláteros e no entanto existem elementos triangulares.

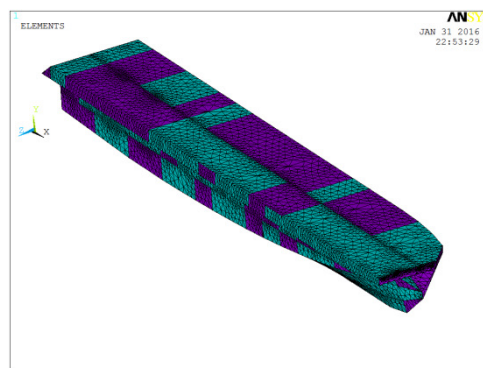


Figura 45 - Representação da malha obtida pelo programa de elementos finitos ANSYS

Após a obtenção do “Mesh” procedeu-se à uma análise do aspecto geral dos elementos obtidos efetuada automaticamente pelo programa, podendo-se comprovar na figura seguinte que os resultados obtidos podem ser considerados satisfatórios, ou seja, apenas 0.58% de 55 924 elementos apresentação avisos relativamente às suas dimensões e propriedades geométricas, mas não se obteve nenhum erro significativo que a qualidade do “Mesh” obtido pode se considerar muito boa.

```

SUMMARIZE SHAPE TESTING FOR ALL SELECTED ELEMENTS
-----
<<<<<<      SHAPE TESTING SUMMARY      >>>>>>
<<<<<<      FOR ALL SELECTED ELEMENTS    >>>>>>
-----
| Element count  27852 SHELL63 |
-----
Test           Number tested  Warning count  Error count  Warn+Err %
-----
Aspect Ratio   27852             0              0            0.00 %
Maximum Angle  27852             0              0            0.00 %
Jacobian Ratio 27852             0              0            0.00 %
Any            27852             0              0            0.00 %
-----

```

Figura 46 - Análise aos elementos obtidos

Como se pode observar na ilustração anterior a estrutura foi subdividida em 27 852 elementos do tipo casca (SHELL63).

### 8.3 Condições de Fronteira

De acordo com as Regras da DNV[5], existem várias condições de carga que precisam de ser analisadas. Existem condições dos piores cenários de trabalho possíveis que podem ocorrer na embarcação durante a sua vida útil. Alguns dos casos de carga são a combinação de cada caso individual de carga. A selecção de cada condição de carga a ser analisado é uma questão de possíveis problemas que podem ocorrer na área de interesse.

Nesta Dissertação, a estrutura Longitudinal do catamarã é a área de interesse principal e a razão para seleccionar estas áreas é por ser a estrutura principal de transportadora das cargas entre os cascos. Por esta razão, os casos de carga mostrados abaixo foram escolhidos.

Seguidamente à realização do “Meshing” definem-se as condições de fronteira do modelo para que seja possível proceder-se ao cálculo dos resultados pretendidos, ou seja, as tensões e os deslocamentos da estrutura quando sujeita a variados carregamentos.

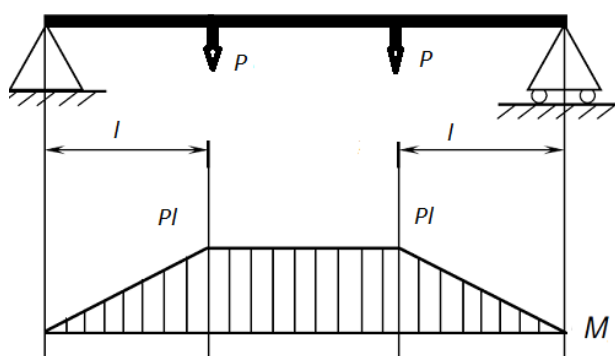


Figura 47 - Viga Simplesmente Apoiada

Condições de fronteira que foram aplicadas são seguintes:

- Encastra-se o ponto da Quilha correspondente à Antepara de Vante ( $dx = dy = dz = 0$ );
- Fixa-se na direcção do Y os seguintes pontos ( $dz = 0$ ):
  - Ponto da Quilha da Antepara de Ré;
  - Ponto da linha de centro da Antepara de ré;
  - Ponto da Linha de Cento da Antepara de vante.

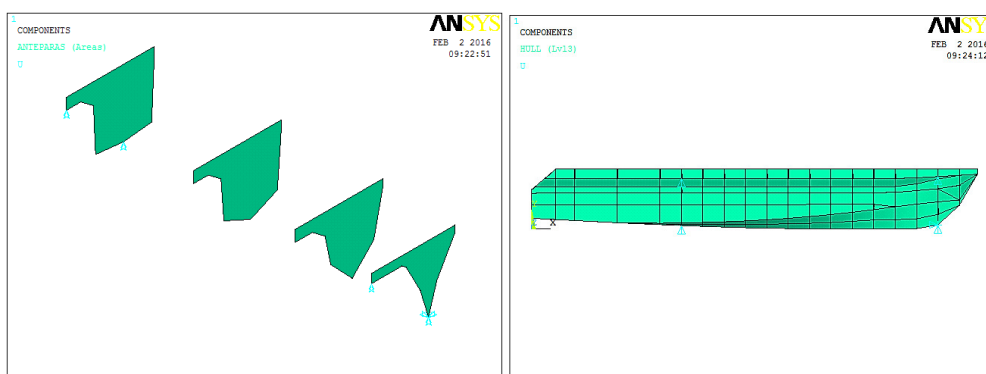


Figura 48 - Condições de Fronteira

## 8.4 Carregamentos - Viga Simplesmente apoiada a sujeito a duas cargas pontuais

Os carregamentos a serem estudados serão o **Deslocamento Carregado** e o **Deslocamento Leve**. Transformar-se-á o Deslocamento em Cargas pontuais a serem aplicados nas anteparas, conforme se a ilustração.

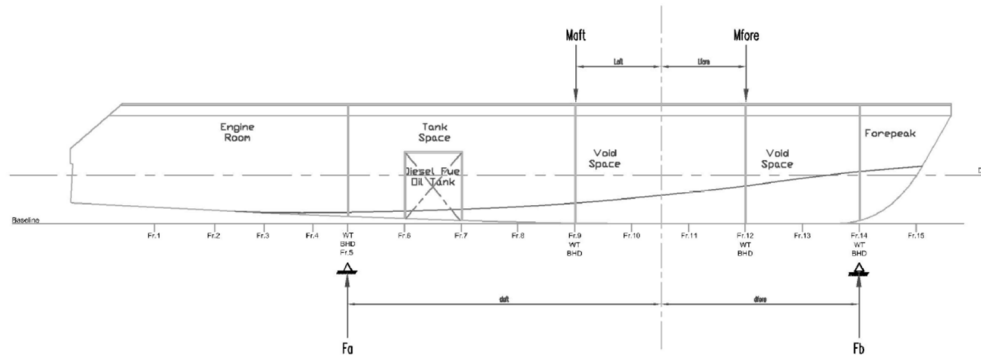


Figura 49 - Condições dos Carregamentos

Sabendo que o estudo será efetuado apenas um casco, isto porque as embarcações de casco duplo têm comportamentos longitudinais simétricos. Logo o deslocamento a ser aplicado será apenas metade do real.

$$\frac{\Delta}{2} = M_{aft} + M_{fore} \quad (86)$$

### 8.4.1 Descrição dos Cálculos

Ambos os carregamentos serão estudados em condições de águas tranquilas, como tal passarei a descrever todos os passos necessários para os cálculos.

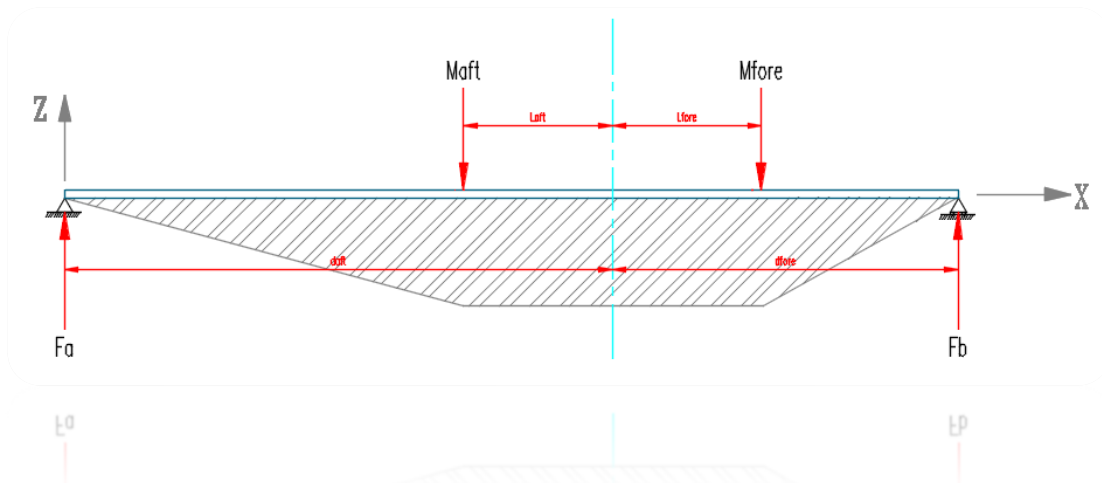


Figura 50 - Viga Simplesmente Apoiada com Cargas Pontuais

#### Dados Gerais

$g_0 = 9,81 \text{ m/s}^2$ , aceleração gravitica

$L_{aft} = 1,650\text{m}$ , distancia a ré da meia distancia entre Maft e Mfore

$L_{fore} = 1,650\text{m}$ , distancia a vante da meia distancia entre Maft e Mfore

$d_{aft} = 5,775m$ , distancia entre o apoio Fa e a meia distancia entre Maft e Mfore

$d_{fore} = 4,125m$ , distancia entre o apoio Fb e a meia distancia entre Maft e Mfore

#### *Cálculo do Momento Flector em Águas Tranquilas*

Obtém-se o Momento em Águas Tranquilas  $M_{sw}$  através de um calculo direto retirado das regras de DNV[7].

$$M_{sw} = 0,5 \cdot \Delta \cdot L \quad (87)$$

#### *Cálculo das Forças Verticais*

Para o calculo das Forças aplicadas na embarcação utilizou-se o somatória das forças igual zero, isto porque as forças aplicada nos apoios ( $F_a$  e  $F_b$ ) será igual às forças aplicadas no convés ( $M_{aft}$  e  $M_{fore}$ ).

$$\begin{aligned} \sum F_v &= 0 \\ \Leftrightarrow F_a + F_b &= (M_{aft} + M_{fore}) \cdot g_0 \end{aligned} \quad (88)$$

#### *Cálculo dos Momentos Flectores*

Foi necessário recorrer também ao somatório dos momentos igual a zero.

$$\begin{aligned} \sum M_x &= 0 \\ \Leftrightarrow F_a \cdot d_{aft} - (M_{aft} \cdot g_0) \cdot L_{aft} &= F_b \cdot d_{fore} - (M_{fore} \cdot g_0) \cdot L_{fore} \end{aligned} \quad (89)$$

Para o cálculo do momento fletor a meio navio obtém-se através das seguintes equações:

$$F_a \cdot d_{aft} - (M_{aft} \cdot g_0) \cdot L_{aft} = M_{sw} \quad (90)$$

$$F_b \cdot d_{fore} - (M_{fore} \cdot g_0) \cdot L_{fore} = M_{sw} \quad (91)$$

#### *Cálculo das Reacções*

Para o cálculo das Reacções foi necessário apenas o desdobramento das funções acima obtidos, como se vai passar a descrever.

#### *Cálculo do Reacção $F_b$*

Utilizando as seguintes equações:

Equação (100 e 101)

$$F_a \cdot d_{aft} - (M_{aft} \cdot g_0) \cdot L_{aft} = F_b \cdot d_{fore} - (M_{fore} \cdot g_0) \cdot L_{fore} \quad (92)$$

Equações (95) – (97)

$$\begin{aligned} F_a + F_b &= (M_{aft} + M_{fore}) \cdot g_0 \\ \Leftrightarrow F_a + F_b &= \left(\frac{\Delta}{2}\right) \cdot g_0 \\ \Leftrightarrow F_a &= \left(\frac{\Delta}{2}\right) \cdot g_0 - F_b \end{aligned} \quad (93)$$

Equações (102) – (103)

$$\begin{aligned}
 &\Leftrightarrow \left[ \left( \frac{\Delta}{2} \right) \cdot g_0 - F_b \right] \cdot d_{aft} - (M_{aft} \cdot g_0) \cdot L_{aft} = F_b \cdot d_{fore} - (M_{fore} \cdot g_0) \cdot L_{fore} \\
 &\Leftrightarrow \left[ \left( \frac{\Delta}{2} \right) \cdot g_0 \right] \cdot d_{aft} - (F_b \cdot d_{aft}) - (M_{aft} \cdot g_0) \cdot L_{aft} = F_b \cdot d_{fore} - (M_{fore} \cdot g_0) \cdot L_{fore} \\
 &\Leftrightarrow \left[ \left( \frac{\Delta}{2} \right) \cdot g_0 \right] \cdot d_{aft} - (M_{aft} \cdot g_0) \cdot L_{aft} + (M_{fore} \cdot g_0) \cdot L_{fore} = (F_b \cdot d_{fore}) + (F_b \cdot d_{aft}) \\
 &\Leftrightarrow \left[ \left( \frac{\Delta}{2} \right) \cdot g_0 \right] \cdot d_{aft} - (M_{aft} \cdot g_0) \cdot L_{aft} + (M_{fore} \cdot g_0) \cdot L_{fore} = F_b \cdot (d_{fore} + d_{aft}) \\
 &\Leftrightarrow F_b = \frac{\left[ \left( \frac{\Delta}{2} \right) \cdot g_0 \right] \cdot d_{aft} - (M_{aft} \cdot g_0) \cdot L_{aft} + (M_{fore} \cdot g_0) \cdot L_{fore}}{(d_{fore} + d_{aft})} \\
 &\Leftrightarrow F_b = \frac{\left[ \left( \frac{\Delta}{2} \right) \cdot g_0 \right] \cdot d_{aft} - g_0 \cdot [(M_{aft} \cdot L_{aft}) - (M_{fore} \cdot L_{fore})]}{(d_{fore} + d_{aft})} \tag{94}
 \end{aligned}$$

Equação (95)

$$\begin{aligned}
 &\frac{\Delta}{2} = M_{aft} + M_{fore} \\
 &\Leftrightarrow M_{aft} = \frac{\Delta}{2} - M_{fore} \tag{105}
 \end{aligned}$$

Equações (104) - (105)

$$\begin{aligned}
 &\Leftrightarrow F_b = \frac{\left[ \left( \frac{\Delta}{2} \right) \cdot g_0 \right] \cdot d_{aft} - g_0 \cdot \left[ \left( \left( \frac{\Delta}{2} - M_{fore} \right) \cdot L_{aft} \right) - (M_{fore} \cdot L_{fore}) \right]}{(d_{fore} + d_{aft})} \\
 &\Leftrightarrow F_b = \frac{\left[ \left( \frac{\Delta}{2} \right) \cdot g_0 \right] \cdot d_{aft} - \left[ \left( \frac{\Delta}{2} \right) \cdot g_0 \right] \cdot L_{aft} + (g_0 \cdot M_{fore}) \cdot L_{aft} + (g_0 \cdot M_{fore}) \cdot L_{fore}}{(d_{fore} + d_{aft})} \\
 &\Leftrightarrow F_b = \frac{\left[ \left( \frac{\Delta}{2} \right) \cdot g_0 \right] \cdot (d_{aft} - L_{aft}) + (g_0 \cdot M_{fore}) \cdot (L_{aft} + L_{fore})}{(d_{fore} + d_{aft})} \tag{96}
 \end{aligned}$$

Equação (101)

$$\begin{aligned}
 &F_b \cdot d_{fore} - (M_{fore} \cdot g_0) \cdot L_{fore} = M_{sw} \\
 &\Leftrightarrow (M_{fore} \cdot g_0) \cdot L_{fore} = F_b \cdot d_{fore} - M_{sw} \\
 &\Leftrightarrow M_{fore} = \frac{F_b \cdot d_{fore} - M_{sw}}{g_0 \cdot L_{fore}} \tag{97}
 \end{aligned}$$

Equações (106) - (107)

$$\Leftrightarrow F_b = \frac{\left[ \left( \frac{\Delta}{2} \right) \cdot g_0 \right] \cdot (d_{aft} - L_{aft}) + \left[ g_0 \cdot \left( \frac{F_b \cdot d_{fore} - M_{sw}}{g_0 \cdot L_{fore}} \right) \right] \cdot (L_{aft} + L_{fore})}{(d_{fore} + d_{aft})}$$

$$\begin{aligned}
\Leftrightarrow F_b &= \frac{\left[\left(\frac{\Delta}{2}\right) \cdot g_0\right] \cdot (d_{aft} - L_{aft}) + \left[\left(\frac{F_b \cdot d_{fore} - M_{sw}}{L_{fore}}\right)\right] \cdot (L_{aft} + L_{fore})}{(d_{fore} + d_{aft})} \\
\Leftrightarrow F_b &= \frac{\left[\left(\frac{\Delta}{2}\right) \cdot g_0\right] \cdot (d_{aft} - L_{aft}) + \left[\left(\frac{F_b \cdot d_{fore}}{L_{fore}}\right) - \left(\frac{M_{sw}}{L_{fore}}\right)\right] \cdot (L_{aft} + L_{fore})}{(d_{fore} + d_{aft})} \\
\Leftrightarrow F_b &= \frac{\left[\left(\frac{\Delta}{2}\right) \cdot g_0\right] \cdot (d_{aft} - L_{aft}) + \left(\frac{F_b \cdot d_{fore}}{L_{fore}}\right) \cdot (L_{aft} + L_{fore}) - \left(\frac{M_{sw}}{L_{fore}}\right) \cdot (L_{aft} + L_{fore})}{(d_{fore} + d_{aft})} \\
\Leftrightarrow F_b \cdot (d_{fore} + d_{aft}) &= \left[\left(\frac{\Delta}{2}\right) \cdot g_0\right] \cdot (d_{aft} - L_{aft}) + \left(\frac{F_b \cdot d_{fore}}{L_{fore}}\right) \cdot (L_{aft} + L_{fore}) - \left(\frac{M_{sw}}{L_{fore}}\right) \cdot (L_{aft} + L_{fore}) \\
\Leftrightarrow F_b \cdot (d_{fore} + d_{aft}) - \left(\frac{F_b \cdot d_{fore}}{L_{fore}}\right) \cdot (L_{aft} + L_{fore}) &= \left[\left(\frac{\Delta}{2}\right) \cdot g_0\right] \cdot (d_{aft} - L_{aft}) - \left(\frac{M_{sw}}{L_{fore}}\right) \cdot (L_{aft} + L_{fore}) \\
\Leftrightarrow F_b \cdot \left[(d_{fore} + d_{aft}) - d_{fore} \cdot \left(\frac{L_{aft} + L_{fore}}{L_{fore}}\right)\right] &= \left[\left(\frac{\Delta}{2}\right) \cdot g_0\right] \cdot (d_{aft} - L_{aft}) - \left(\frac{M_{sw}}{L_{fore}}\right) \cdot (L_{aft} + L_{fore}) \\
\Leftrightarrow F_b &= \frac{\left[\left(\frac{\Delta}{2}\right) \cdot g_0\right] \cdot (d_{aft} - L_{aft}) - \left(\frac{M_{sw}}{L_{fore}}\right) \cdot (L_{aft} + L_{fore})}{\left[(d_{fore} + d_{aft}) - d_{fore} \cdot \left(\frac{L_{aft} + L_{fore}}{L_{fore}}\right)\right]} \tag{98}
\end{aligned}$$

#### Cálculo do Reação $F_a$

Equações (95) – (97)

$$\begin{aligned}
F_a + F_b &= (M_{aft} + M_{fore}) \cdot g_0 \\
\Leftrightarrow F_a + F_b &= \left(\frac{\Delta}{2}\right) \cdot g_0 \\
\Leftrightarrow F_a &= \left(\frac{\Delta}{2}\right) \cdot g_0 - F_b \tag{99}
\end{aligned}$$

#### Obtenção das Massas

Equação (101)

$$\begin{aligned}
F_b \cdot d_{fore} - (M_{fore} \cdot g_0) \cdot L_{fore} &= M_{sw} \\
\Leftrightarrow M_{fore} &= \frac{F_b \cdot d_{fore} - M_{sw}}{g_0 \cdot L_{fore}} \tag{100}
\end{aligned}$$

Equação (95)

$$\frac{\Delta}{2} = M_{aft} + M_{fore}$$

$$\Leftrightarrow M_{aft} = \frac{\Delta}{2} - M_{fore} \quad (101)$$

#### 8.4.2 Deslocamento Carregado

O **deslocamento carregado**, deslocamento **em plena carga** ou **deslocamento máximo** correspondem praticamente ao mesmo conceito. Quando se menciona simplesmente o termo "deslocamento", normalmente entende-se como se referindo ao deslocamento carregado.

O deslocamento em plena carga é definido como o deslocamento de uma embarcação quando a flutuar com o máximo calado estabelecido pelas sociedades de classificação. É equivalente ao deslocamento leve acrescido da massa total da capacidade máxima de transporte de um navio em termos de carga, passageiros, combustível, aguada, consumíveis, tripulação e todos os restantes itens necessários para uma viagem.

##### Dados

Pode-se observar todos os cálculos do deslocamento no capítulo 4.

$$\Delta = 37,573 \text{ ton}$$

$$L = 16,485 \text{ m}$$

##### Cálculo do Momento em Águas Tranquilas

Equação (96)

$$M_{sw} = 0,5 \cdot \Delta \cdot L$$

$$\Leftrightarrow M_{sw} = 310 \text{ kNm}$$

##### Cálculo das Reações

Equação (108)

$$F_b = \frac{\left[ \left( \frac{\Delta}{2} \right) \cdot g_0 \right] \cdot (d_{aft} - L_{aft}) - \left( \frac{M_{sw}}{L_{fore}} \right) \cdot (L_{aft} + L_{fore})}{\left[ (d_{fore} + d_{aft}) - d_{fore} \cdot \left( \frac{L_{aft} + L_{fore}}{L_{fore}} \right) \right]}$$

$$\Leftrightarrow F_b = 85 \text{ kNm}$$

Equação (109)

$$F_a = \left( \frac{\Delta}{2} \right) \cdot g_0 - F_b$$

$$\Leftrightarrow F_a = 99 \text{ kN}$$

##### Cálculo das Massas

Equação (107)

$$M_{fore} = \frac{F_b \cdot d_{fore} - M_{sw}}{g_0 \cdot L_{fore}}$$

$$\Leftrightarrow M_{fore} = 2 \text{ 618 kg}$$



Equação (95)

$$M_{aft} = \frac{\Delta}{2} - M_{fore}$$
$$\Leftrightarrow M_{aft} = 16\,169\text{ kg}$$

Com a obtenção das seguintes incógnitas ( $M_{aft}$  e  $M_{fore}$ ), conclui-se que o desdobramento das forças encontram-se correctos como se pode observar  $\frac{\Delta}{2} = M_{fore} = 18\,787\text{kg}$ , logo o deslocamento carregado é de  $\Delta = 37\,574\text{kg}$  ( $37.574\text{ ton}$ ). Valor esse que está de acordo com os valores acima apresentados.

#### Convertendo as Massas em Forças

As forças a aplicar no programa do ANSYS serão as seguintes:

$$F_{fore} = M_{fore} \cdot g_0$$
$$\Leftrightarrow F_{fore} = 26\text{kNm}$$
$$F_{aft} = M_{aft} \cdot g_0$$
$$\Leftrightarrow F_{aft} = 159\text{kNm}$$

#### 8.4.3 Deslocamento Leve

O **deslocamento leve** ou **deslocamento mínimo** consiste na massa total do navio, excluindo a carga, o combustível, o lastro e a tripulação.

Podemos observar todos os cálculos do deslocamento no capítulo 4.

$$\Delta = 27,736\text{ ton}$$
$$L = 16,485\text{m}$$

Equação (96)

$$M_{sw} = 0,5 \cdot \Delta \cdot L$$
$$\Leftrightarrow M_{sw} = 227\text{kNm}$$

Equação (108)

$$F_b = \frac{\left[\left(\frac{\Delta}{2}\right) \cdot g_0\right] \cdot (d_{aft} - L_{aft}) - \left(\frac{M_{sw}}{L_{fore}}\right) \cdot (L_{aft} + L_{fore})}{\left[(d_{fore} + d_{aft}) - d_{fore} \cdot \left(\frac{L_{aft} + L_{fore}}{L_{fore}}\right)\right]}$$
$$\Leftrightarrow F_b = 65\text{ kNm}$$

Equação (95)

$$F_a = \left(\frac{\Delta}{2}\right) \cdot g_0 - F_b$$
$$\Leftrightarrow F_a = 51\text{kN}$$

Equação (107)

$$M_{fore} = \frac{F_b \cdot d_{fore} - M_{sw}}{g_0 \cdot L_{fore}}$$

$$\Leftrightarrow M_{fore} = 2\,421\text{ kg}$$

Equação (95)

$$M_{aft} = \frac{\Delta}{2} - M_{fore}$$

$$\Leftrightarrow M_{aft} = 11\,447\text{ kg}$$

Com a obtenção das seguintes incógnitas ( $M_{aft}$  e  $M_{fore}$ ), conclui-se que o desdobramento das forças encontram-se correctos como de pode observar  $\frac{\Delta}{2} = M_{fore} = 13\,868\text{kg}$ , logo o deslocamento carregado é de  $\Delta = 27\,736\text{kg}$  (27.736 ton). Valor esse que esta de acordo com os valores acima apresentados.

As forças a aplicar no programa do ANSYS serão as seguintes:

$$F_{fore} = M_{fore} \cdot g_0$$

$$\Leftrightarrow F_{fore} = \mathbf{24kNm}$$

$$F_{aft} = M_{aft} \cdot g_0$$

$$\Leftrightarrow F_{aft} = \mathbf{112kNm}$$

## 8.5 Análise à Estrutura

A partir dos carregamentos criados, podemos executar a solução do problema, que irá montar as matrizes de rigidez e resolver a equação do sistema e mostrar os resultados no pós-processor.

O computador gastou aproximadamente 10 minutos para calcular a solução e encontrou os seguintes resultados para tensão e deslocamento no perfil:

### 8.5.1 Deslocamento Carregado

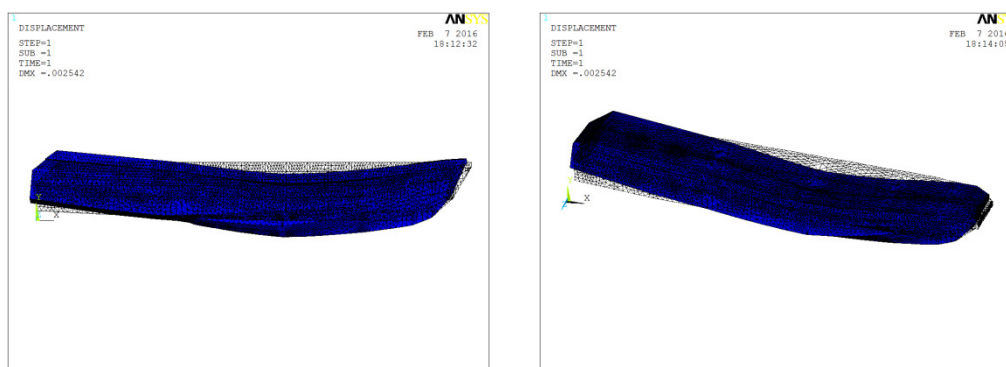


Figura 51 - Deformação na condição de Deslocamento carregado

Conforme as forças aplicadas do deslocamento carregado, o valor do resultado da deformação máxima é de 2,5 mm .

## Deformação

### Deformação em X

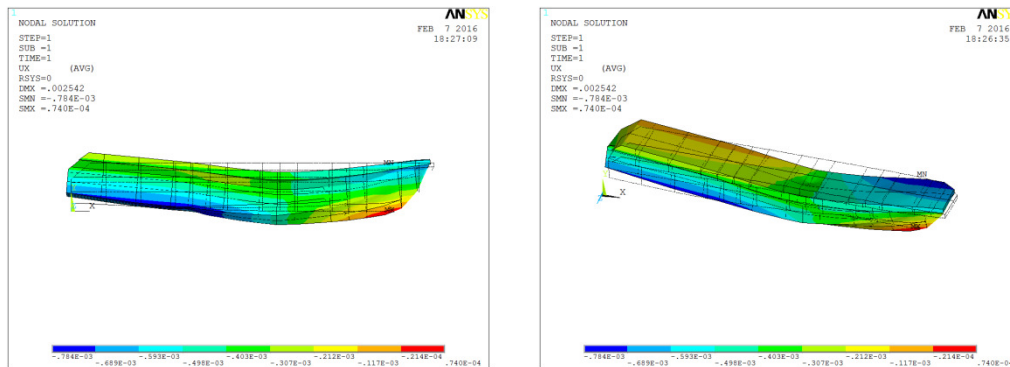


Figura 52 - Deformação na direcção x, na condição de Deslocamento carregado

A deformação máxima localiza-se no ponto de encastramento, mais propriamente no ponto da quilha correspondente à antepara de vante. O valor do resultado da deformação máxima em X foi de  $0.740 \cdot 10^{-4}$ .

### Deformação em Y

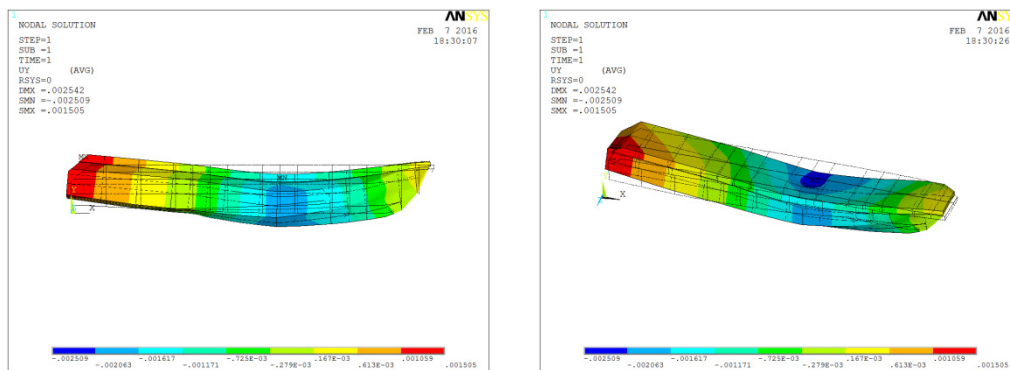


Figura 53 - Deformação na direcção y, na condição de Deslocamento carregado

A deformação máxima em Y encontra-se a ré da embarcação, onde se pode concluir que é a zona mais afastada dos pontos da condição de fronteira. O valor do resultado da deformação máxima em Y foi de  $-2.509mm$ .

### Deformação em Z

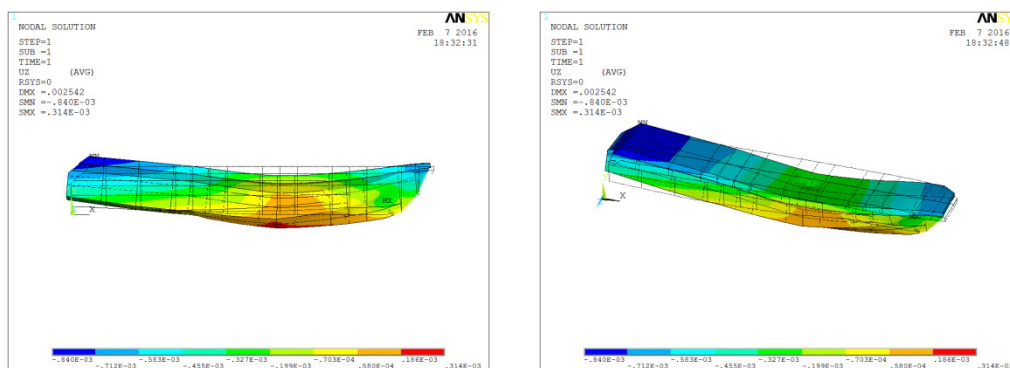


Figura 54 - Deformação na direcção z, na condição de Deslocamento carregado

A deformação máxima em Z ocorre no ponto da quilha da antepara na qual é aplicada a maior força. O valor do resultado da deformação máxima em Z foi de  $-0.840 \cdot 10^{-3}$ .

### Soma das Forças

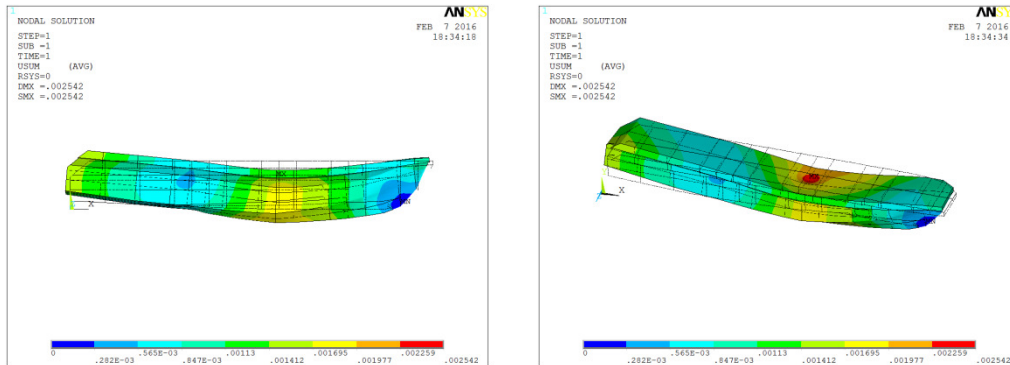


Figura 55 Soma das forças, na condição de Deslocamento carregado

Contudo a deformação máxima somando todas as forças ocorre no ponto onde é aplicada a força máxima. O valor do resultado da deformação máxima foi de  $2.542\text{mm}$ .

### Tensões

#### Tensão em X

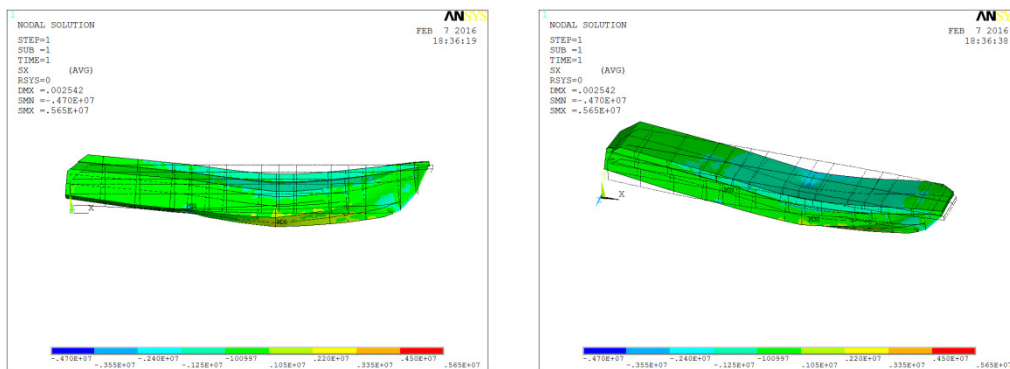


Figura 56 - Tensão em x, na condição de Deslocamento carregado

A tensão máxima em X ocorre no ponto da quilha da antepara na qual é aplicada a maior força. O valor do resultado da tensão máxima em X foi de  $5.65\text{MPa}$ .

#### Tensão de Von Mises

A tensão de Von Mises tem como unidades  $(\text{N}/\text{mm}^2)$  ou  $(\text{MPa})$ .

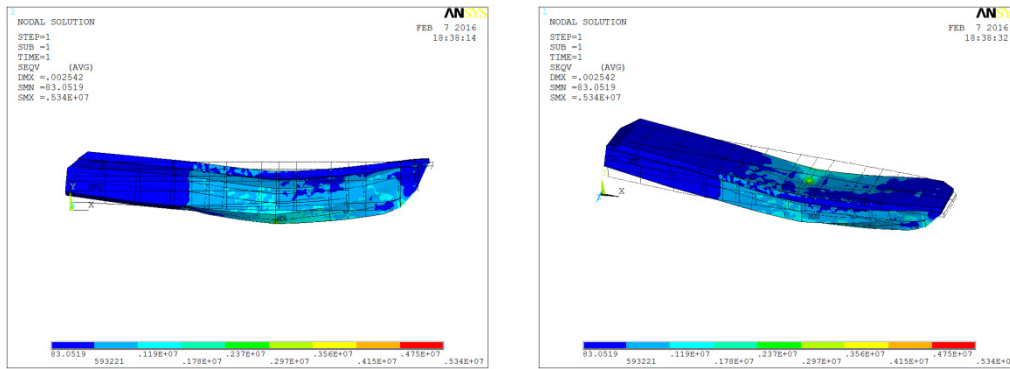


Figura 57 - Tensão de Von Mises, na condição de Deslocamento carregado

A tensão máxima de Von Mises ocorre no ponto da quilha da antepara na qual é aplicada a maior força. O valor do resultado da tensão máxima foi de 5.34 MPa .

### Tensão de Corte XZ

**Tensão corte** é um tipo de tensão gerado por forças aplicadas em sentidos iguais ou opostos, em direcções semelhantes, mas com intensidades diferentes no material analisado.

A tensão de corte tem como unidades ( $N/mm^2$ ).

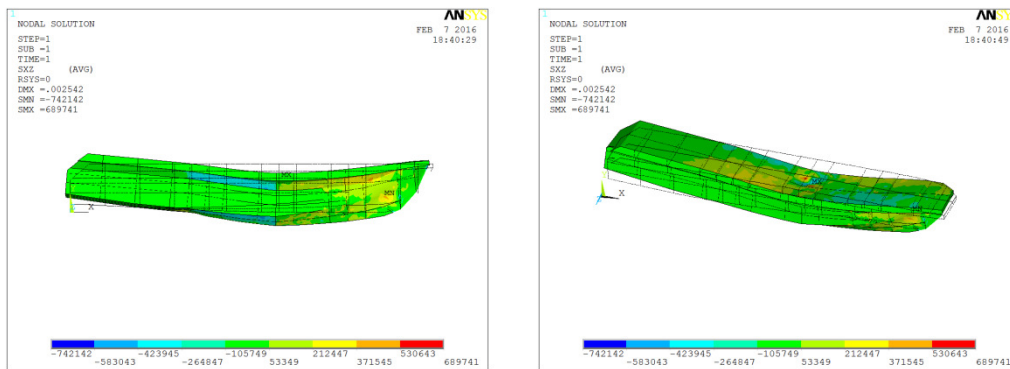


Figura 58 - Tensão corte em xz, na condição de Deslocamento carregado

A tensão corte máxima em XZ ocorre no ponto da antepara na qual é aplicada a maior força. O valor do resultado da tensão corte máxima é de 0.689 MPa .

### 8.5.2 Deslocamento Leve

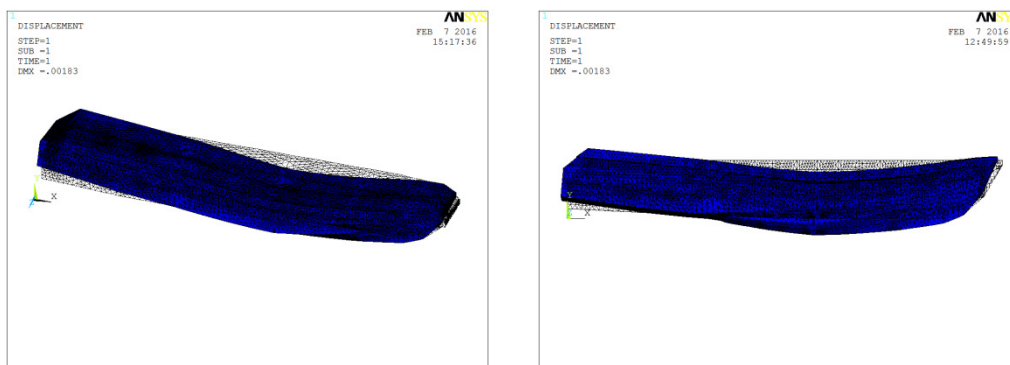


Figura 59 - Deformação na condição de Deslocamento leve

Conforme as forças aplicadas do deslocamento carregado, o valor do resultado da deformação máxima é de 1,8 mm .

### Deformação

#### Deformação em X

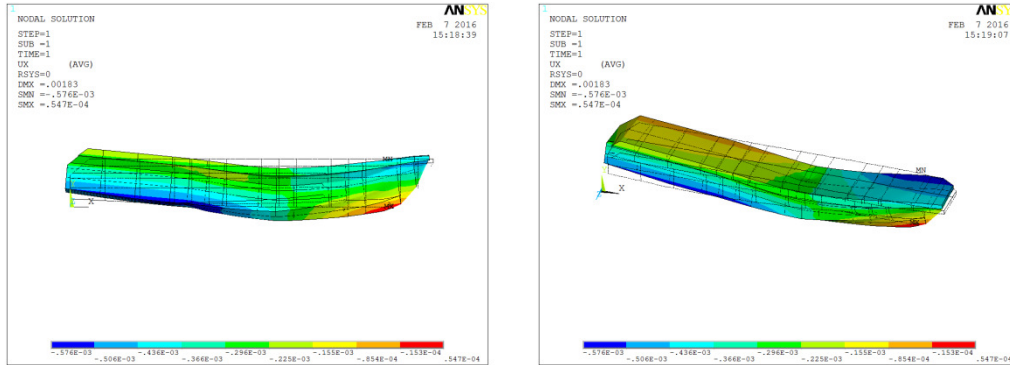


Figura 60 - Deformação em x, na condição de Deslocamento leve

A deformação máxima localiza-se no ponto de encastramento, mais propriamente no ponto da quilha correspondente à antepara de vante. O valor do resultado da deformação máxima em X foi de  $0.547 \cdot 10^{-4}$ .

Como era de esperar, está-se a aplicar uma força concentrada de 112kN numa antepara o que é de esperar que a sua deformação máxima só poderia ocorrer nessa zona.

#### Deformação em Y

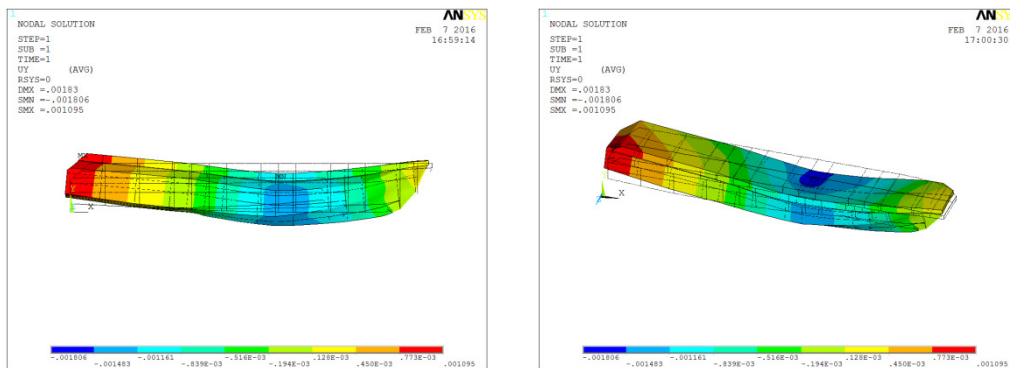


Figura 61 - Deformação em y, na condição de Deslocamento leve

A deformação máxima em Y encontra-se a ré da embarcação, onde se pode concluir que é a zona mais afastada dos pontos da condição de fronteira. O valor do resultado da deformação máxima em Y foi de  $-1.0095 \text{ mm}$ .

## Deformação em Z

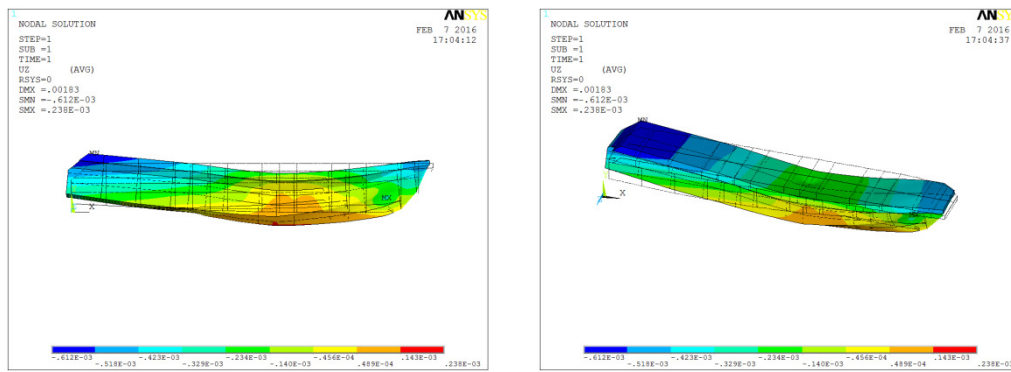


Figura 62 - Deformação em z, na condição de Deslocamento leve

A deformação máxima em Z ocorre no ponto da quilha da antepara na qual é aplicada a maior força. O valor do resultado da deformação máxima em Z foi de  $-0.238 \cdot 10^{-3}$ .

## Soma das Forças

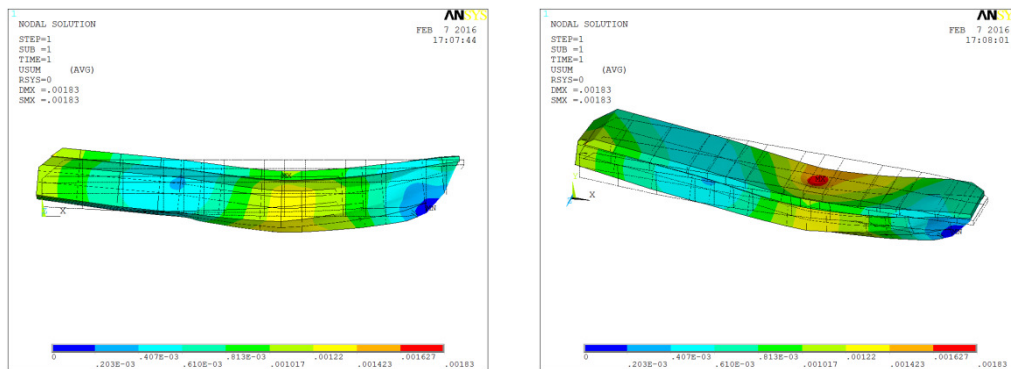


Figura 63 - Soma das forças, na condição de Deslocamento leve

Contudo a deformação máxima somando todas as forças ocorre no ponto onde é aplicada a força máxima. O valor do resultado da deformação máxima foi de  $1.830mm$ .

## Tensões

### Tensão em X

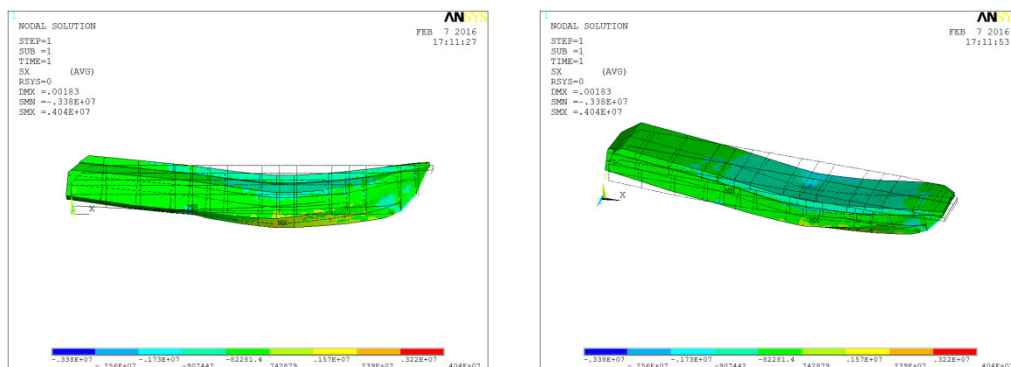


Figura 64 - Tensão em x, na condição de Deslocamento leve

A tensão máxima em X ocorre no ponto da quilha da antepara na qual é aplicada a maior força. O valor do resultado da tensão máxima em X foi de  $4.04MPa$ .

## Tensão de Von Mises

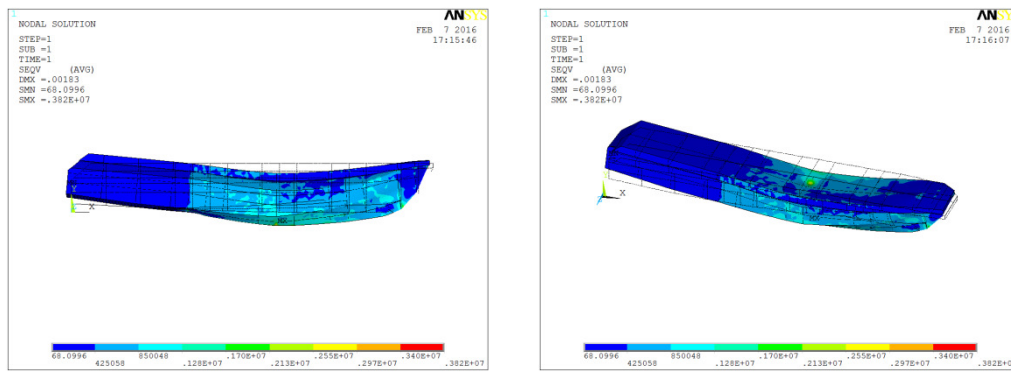


Figura 65 - Tensão de Von Mises, na condição de Deslocamento leve

A tensão máxima de Von Mises ocorre no ponto da quilha da antepara na qual é aplicada a maior força. O valor do resultado da tensão máxima foi de  $3.820 \text{ MPa}$ .

## Tensão de Corte XZ

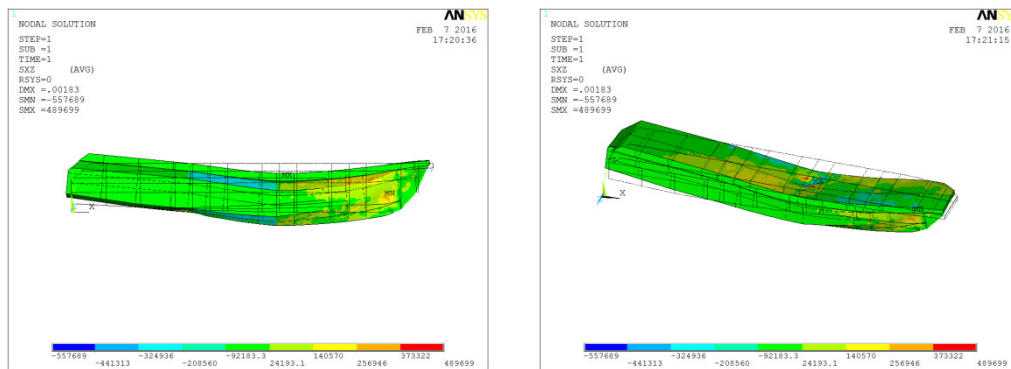


Figura 66 - Tensão de corte em xz, na condição de Deslocamento leve

A tensão corte máxima em XZ ocorre no ponto da antepara na qual é aplicada a maior força. O valor do resultado da tensão corte máxima é de  $0.489 \text{ MPa}$ .

## 8.6 Momento Flector Máximo

O cálculo do Momento Flector Máximo retirado através de um cálculo directo retirado das regras de DNV[7].

Para todos os navios onde se estuda o Momento de Alquebramento (Hogging) e Momento de Contra – Alquebramento (Sagging), tem que se ter em conta a imersão e a estrutura de submersa.

**Contra – Alquebramento**-É quando ocorre uma maior concentração de pesos no centro da embarcação, provocando uma curvatura longitudinal com a convexidade para baixo.

A investigação está em sua forma mais simples de ser baseado em um faseamento previsto entre campo / alçada e a passagem de uma onda projecto reunião, e deve incluir o ângulo de inclinação e as forças de inércia a ser esperado na hogging e as condições de flacidez.



Formulas para os Momentos Flectores (Águas Tranquilas + Onda) para embarcações pequenas rápidas:

Para Navios de Casco Duplo (kNm):

$$M_{tot\ hog} = M_{sw} + 0,19 \cdot C_w \cdot L^2 \cdot (B_{WL2} + K_2 \cdot B_{tn}) \cdot C_B \quad (102)$$

$$M_{tot\ sag} = M_{sw} + 0,14 \cdot C_w \cdot L^2 \cdot (B_{WL2} + K_3 \cdot B_{tn}) \cdot (C_B + 0,7) \quad (25)$$

Neste trabalho apenas vamos estudar a situação de contra – Alquebramento (Sagging).

#### Coefficiente de Onda

$$C_w = 0,08 \cdot L_{para} \quad (L \leq 100) \quad (104)$$

#### Dados

$B_{tn}$  = Boca do túnel em metros

$B_{WL2}$  = Para uma embarcação de casco duplo, considera-se a soma das bocas na linha de água.

$k_2 k_3$  = São fatores empíricos segundo o efeito da estrutura imersa para o Alquebramento e o Contra – Alquebramento. Obtém-se através das seguintes equações:

$$k_2 = 1 - \frac{z - 0,5 \cdot T}{0,5 \cdot T + 2 \cdot C_w} \quad (105)$$

$$k_3 = 1 - \frac{z - 0,5 \cdot T}{0,5 \cdot T + 2,5 \cdot C_w} \quad (106)$$

Analisando as condições de Deslocamento Carregado e de Deslocamento Leve, analisou-se também os Momentos de Contra – Alquebramento (sagging), a formula utilizada foi a numero 103.

$$M_{tot\ sag} = M_{sw} + 0,14 \cdot C_w \cdot L^2 \cdot (B_{WL2} + K_3 \cdot B_{tn}) \cdot (C_B + 0,7)$$

Para este calculo é necessário recorrer à formula do momento flector em águas tranquilas, esta equação já foi acima apresentada.

$$M_{sw} = 0,5 \cdot \Delta \cdot L$$

Tabela 33 - Resultado dos momentos Flectores máximos

	Deslocamento Carregado	Deslocamento Leve
$M_{tot\ sag}$	634 kNm	535 kNm

## 9. Discussão

Este projeto tenta cobrir muitas e diferentes áreas do Projeto e Dimensionamento de um catamarã, como tal não se vai discutir todos os pontos do trabalho.

A razão pela qual se efetuou os cálculos da estimativa de pesos foi para se ter uma noção e a diferença entre os valores estimados e o valores reais obtidos através da prova de estabilidade. Isto porque só após a prova de estabilidade é realizado o caderno de estabilidade final e através da medição dos caldos e com os resultados das Querenas Direitas é que se obtém o valor real do deslocamento. Que neste caso pode-se comprovar as seguintes diferenças:

- 3% Deslocamento leve:
  - Valor estimado : 27.72 toneladas
  - Valor real : 28.49 toneladas
  
- 0.2% Deslocamento carregado:
  - Valor estimado : 37.65 toneladas
  - Valor real : 37.53 toneladas

Pode-se concluir que as formas para estimar o deslocamento de uma embarcação estão bem conseguidas. O que quer dizer que é um bom método para o inicio do dimensionamento estrutural, conhecimento do deslocamento e das forças que daí advém, porque só assim é que se poderá definir melhor tanto as espessuras dos tecido como a aplicação de reforços.

A razão pela qual se efetuou diferentes formulas de cálculos para a determinação das espessuras dos diferentes laminados, assim como as suas simplificações deve-se á própria evolução do projeto. Isto porque o projeto em si foi evoluindo ao longo da sua elaboração, não foi um trabalho estático, foi surgindo sempre a necessidade de evoluir ou mesmo simplificar.

Como podemos observar inicialmente começou-se por demonstrar o calculo das espessuras dos diferentes laminados através das regras da ABS[6], isto porque em todos o desenhos estruturais vem indicado qual o plano de laminagem se efetuar, mas mãos nos dá a estimativa da espessura com que o laminado ficara no final. Assim utilizou-se esta regra por ser a mais fácil de se aplicara e de ter uma noção das espessura e do material (Fibra e resina) a ser adquiridos para se efetuar a produção.

No capitulo do calculo das características mecânicas dos materiais, voltou a apresentar novas formulas para o calculo dos laminados através das regras de BV[2], mas desta vez a formula é mais complexa mesmo que no final dá o mesmo valor. Mas esta necessidade deve-se à demonstração de todos os passo necessário até ao cálculos das propriedades do laminado.

Mais tarde, na faze de se preparar a elaboração do modelo em ANSYS, houve necessidade de se simplificar a estrutura ou mesmo a conversão de alguns elementos como por exemplo os elementos de Sandwich e os reforços ômega e placas monolíticas.

Estas simplificações traduzem-se na criação de um modelo 3d mais simples e mais fácil de correr no programa do ANSYS.

Para o calculo das propriedades mecânicas recorreu se ás regras BV [2]isto porque segundo uma analise entre as seguintes regras classificadoras:

- ABS (American Bureau of Shipping)
- DNV (Det Norske Veritas),
- BV (BureauVeritas)

Conclui-se que a BV seria a sociedade classificadora que melhor explica como efetuar os cálculos e também possui um programa para cálculos e placas em materiais compósitos (CompositeT), o que veio facilitar no final para se comparar o valores obtidos com os valores extraídos do programa.

A metodologia utilizada para a elaboração das propriedades foi a seguinte:

1. Cálculo das características geométricas, coeficientes elásticos, rigidez e flexibilidade, e tensões de ruptura teóricas de cada camada individual em seus eixos ortotrópicas locais;
2. Descrição geométrica do laminado para definir:
  - i. posição de todas as camadas individuais
  - ii. orientação de cada uma das camadas em relação ao laminado global de eixos no plano
3. Calculo dos coeficientes de elasticidade do laminado

Aqui surge logo a primeira limitação deste estudo, isto porque, as regras apenas nos devolvem os componentes em x e y e não nas 3 coordenadas como deveria ser para que se possa colocar no programa ANSYS.

Esta limitação fez com que houvesse necessidade da elaboração de uma pesquisa exaustiva afim de encontrar umas propriedades ortofoptica para um material compósito e assim obtiveram se os coeficientes necessários, mas não houve como prová-los ou mesmo calcula-los.

Após se ter corrido o programa com as varias condições de deslocamento obteve-se os seguintes valores.

Tabela 34 - resultados dos Elementos Finitos

Resultados/ Condições de carga			Deslocamentos	
			Carregado	Leve
<b>Forças Aplicadas</b>		$F_{fore}$	26kNm	24kNm
		$F_{aft}$	159kNm	112kNm
<b>Resultados do ANSYS</b>	Deformação	X	0,074 mm	0,055 mm
		Y	-2,509 mm	-1,010 mm
		Z	-0,840 mm	-0,238 mm
		<i>Soma das Forças</i>	2,542 mm	1,830 mm
	Tensão	X	5,56 MPa	4,04 MPa
		<i>VonMises</i>	5,34 MPa	3,82 MPa
		<i>Tensão de Corte (XZ)</i>	0,69 MPa	0,49 MPa

<b>Momento Fletor Máximo</b>		$M_{totsag}$	634kNm	535kNm
------------------------------	--	--------------	--------	--------

Quanto à veracidade dos valores, não existem dados suficientes para que se possam ser comentados. É algo que não existem dados suficientes publicados para que possam ser comentados, mais uma vez obteve-se uma limitação deste trabalho.

## 10. Conclusões

Uma das conclusões mais importantes deste trabalho é que o material compósito ainda é considerado um material complexo e com muito potencial por desvendar. Isto porque dependendo do tipo de estudo vai variar o seu comportamento e sabendo á partida que o material compósito é um material anisotrópico, isto porque depende do tipo de processo como da aplicação em questão.

Sabendo que o núcleo de uma sandwich é considerado um material isotrópico e uma laminagem monolítica ou mesmo a pele de uma sandwiche será considerada um material ortótropico. E ainda mais complexo é que a os mats (CSM) é considerado um material isotrópico.

Tudo isto faz com que seja de extrema dificuldade encontrar as propriedades corretas para se aplicar no programa do ANSYS. Ou mesmo pode-se afirmar que o ANSYS neste momento não se encontra preparado para efetuar cálculos com materiais que não sejam unidireccionais (material Ortotropico). E aprova é que os valores assumido para o modulo de elasticidade, modulo de corte e mesmo o coeficiente de poisson foram valores retirados de uma bibliografia que por sua vez também foi um valor estimado.

Contudo, não se conseguiu concretizar todos os objectivos, visto que o objecto (embarcação) em estudo ser muito complexo. Isto porque inicialmente a análise estrutural era para ser efetuada à embarcação toda (Cascos + Superestrutura) e sem simplificações. Contudo ao modelar a embarcação em ANSYS verificou-se que era demasiada informação para o programa, só para ler a embarcação levava 3horas. Assim sendo teve que se optar por retirar a superestrutura e efectuar o estudo apenas num só casco.

Este trabalho teve uma extrema importância, isto porque ao participar na construção de cinco embarcações como coordenador da construção, tive como curiosidade em comparar os valores reais como os valores estimados (através de cálculos). Com este projeto tive um grande aprofundamento em materiais compósitos que era para mim uma área por descobrir.

Esta experiência ajudou-me a ter umas bases mais solidas e nas quais foram aplicadas para o meu primeiro Projeto (básico e de produção) que realizei entre 2015 e 2016, onde participei na construção de um cercador 26mts onde tive como responsabilidade todo o Projeto Estrutural e a coordenação da respetiva construção.

## Referências bibliográficas

- [1] Y. Garbatov. Behaviour of Ship Structures. In: Lecture Notes Lisbon: Instituto Superior Técnico, 2012.
- [2] BV. Rule Note - NR 546 DT R00 E - Hull in Composite Materials and Plywood, Material Approval, Design Principles, Construction and Survey,. In: Part II - Hull structure ( chapter 11 - Hull structure design Fibre reinforced plastic ships) Parice: Bureau veritas, 2012.
- [3] ANSYS, 2009, *Advanced Analysis Techniques Guide*, Southpointe, 275 Technology Drive, Canonsburg, PA 15317: Ansys, Inc.
- [4] ABS. Rules for Building and Classing - Reinforced Plastic Vessel. New York: American Bureau of Shipping, 1978.
- [5] DNV. High Speed Craft Code for Design and Structural Classification. In: Strength Analysis of hull Structures in HIGH SPEED AND LIGTH CRAFT: Det Norske Veritas, 1996.
- [6] ABS. ABS Rules for Materials and Welding - Aluminum and Fiber Reinforced Plastics. Houston, 2014.
- [7] DNV. Rules for High Speed, Ligth Craftand Naval Surface Craft,. Hovik, Norway, 2011.
- [8] Ansys, 2009, Online Manuals, Release 12.

## Anexos

## Tabelas de Coeficientes para Calculo de Arqueação

Coeficientes K1 e K2 das regras 3 e 4, parágrafo 1) (V ou Vc = Volume em metros cúbicos)

V ou Vc	K1 ou K2	V ou Vc	K1 ou K2	V ou Vc	K1 ou K2	V ou Vc	K1 ou K2
10	0,2200	45 000	0,2931	330 000	0,3104	670 000	0,3165
20	0,2260	50 000	0,2940	340 000	0,3106	680 000	0,3166
30	0,2295	55 000	0,2948	350 000	0,3109	690 000	0,3168
40	0,2320	60 000	0,2956	360 000	0,3111	700 000	0,3169
50	0,2340	65 000	0,2963	370 000	0,3114	710 000	0,3170
60	0,2356	70 000	0,2969	380 000	0,3116	720 000	0,3171
70	0,2369	75 000	0,2975	390 000	0,3118	730 000	0,3173
80	0,2381	80 000	0,2981	400 000	0,3120	740 000	0,3174
90	0,2391	85 000	0,2986	410 000	0,3123	750 000	0,3175
100	0,2400	90 000	0,2991	420 000	0,3125	760 000	0,3176
200	0,2460	95 000	0,2996	430 000	0,3127	770 000	0,3177
300	0,2495	100 000	0,3000	440 000	0,3129	780 000	0,3178
400	0,2520	110 000	0,3008	450 000	0,3131	790 000	0,3180
500	0,2540	120 000	0,3016	460 000	0,3133	800 000	0,3181
600	0,2556	130 000	0,3023	470 000	0,3134	810 000	0,3182
700	0,2569	140 000	0,3029	480 000	0,3136	820 000	0,3183
800	0,2581	150 000	0,3035	490 000	0,3138	830 000	0,3184
900	0,2591	160 000	0,3041	500 000	0,3140	840 000	0,3185
1 000	0,2600	170 000	0,3046	510 000	0,3142	850 000	0,3186
2 000	0,2660	180 000	0,3051	520 000	0,3143	860 000	0,3187
3 000	0,2695	190 000	0,3056	530 000	0,3145	870 000	0,3188
4 000	0,2720	200 000	0,3060	540 000	0,3146	880 000	0,3189
5 000	0,2740	210 000	0,3064	550 000	0,3148	890 000	0,3190
6 000	0,2756	220 000	0,3068	560 000	0,3150	900 000	0,3191
7 000	0,2769	230 000	0,3072	570 000	0,3151	910 000	0,3192
8 000	0,2781	240 000	0,3076	580 000	0,3153	920 000	0,3193
9 000	0,2791	250 000	0,3080	590 000	0,3154	930 000	0,3194
10 000	0,2800	260 000	0,3083	600 000	0,3156	940 000	0,3195
15 000	0,2835	270 000	0,3086	610 000	0,3157	950 000	0,3196
20 000	0,2860	280 000	0,3089	620 000	0,3158	960 000	0,3196
25 000	0,2880	290 000	0,3092	630 000	0,3160	970 000	0,3197
30 000	0,2895	300 000	0,3095	640 000	0,3161	980 000	0,3198
35 000	0,2909	310 000	0,3098	650 000	0,3163	990 000	0,3199
40 000	0,2920	320 000	0,3101	660 000	0,3164	1 000 000	0,3200

Os coeficientes K1 e K2 para os valores intermédios de V ou de Vc são obtidos por interpolação linear.



## Modelo Geométrico

## Arranjo Geral