



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Edwin Althor Jürgen Nieling Lundgren

**Desenvolvimento Conceitual, Projeto, Construção  
e Testes de um Barco Bidirecional sem Leme  
movido por Kite**

Recife, 2015

Edwin Althor Jürgen Nieling Lundgren

**Desenvolvimento Conceitual, Projeto, Construção e Testes de um Barco Bidirecional Sem Leme movido por Kite**

Tese apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial, exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Mecânica, na Área de Concentração de Energia.

Orientador: Prof. Alex Maurício Araújo  
Co-Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Ana Rosa Mendes Primo  
Co-Orientador: Prof. Cesar Augusto Salhua Moreno

RECIFE - PERNAMBUCO - BRASIL - 2015

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

L962d Lundgren, Edwin Althor Jürgen Nieling.  
Desenvolvimento conceitual, projeto, construção e testes de um barco bidirecional sem leme movido por kite / Edwin Althor Jürgen Nieling Lundgren. - Recife: O Autor, 2015.  
224 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Alex Maurício Araújo.

Coorientadora: Profa. Dra. Ana Rosa Mendes Primo.

Coorientador: Prof. Dr. Cesar Augusto Salhua Moreno.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2015.

Inclui Referências e Apêndices.

1. Engenharia Mecânica. 2. Barco. 3. Esporte marítimo. 4. Kite. 5. Pipa. 6. Bidirecional. 7. Sem leme. 8. Energia eólica. I. Araújo, Alex Maurício. (Orientador). II. Primo, Ana Rosa Mendes. (Coorientadora). III. Moreno, Cesar Augusto Salhua. (Coorientador). IV. Título.

UFPE

621 CDD (22. ed.)

BCTG/2015-221

24 de julho 2015

DESENVOLVIMENTO CONCEITUAL, PROJETO, CONSTRUÇÃO E TESTES DE UM BARCO  
BIDIRECIONAL SEM LEME MOVIDO POR KITE

EDWIN ALTHOR JÜRGEN NIELING LUNDGREN

ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA OPTENÇÃO DO TÍTULO DE DOUTOR EM  
ENGENHARIA MECÂNICA

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENERGIA

APROVADA EM FORMA FINAL PELO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA/CTG?UFPE

---

Prof. Dr. ALEX MAURÍCIO ARAÚJO  
ORIENTADOR/PRESIDENTE

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. ANA ROSA MENDES PRIMO  
CO-ORIENTADORA

---

Prof. Dr. CESAR AUGUSTO SALHUA MORENO  
CO-ORIENTADOR

---

Prof. Dr. JORGE RECARTE HENRIQUEZ GUERRERO  
COORDENADOR DO PROGRAMA

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. ALEX MAURÍCIO ARAÚJO (UFPE)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. ANA ROSA MENDES PRIMO (UFPE)

---

Prof. Dr. CESAR AUGUSTO SALHUA MORENO (UFPE)

---

Prof. Dr. PEDRO ANDRÉ CARVALHO ROSAS (UFPE)

---

Prof. Dr. JOSÉ MARIA ANDRADE BARBOSA (UFPE)

---

Prof. Dr. JOSÉ ROBERTO GONÇALVES DE AZEVEDO (UFPE)

---

Prof. Dr. CARLOS RODRIGUES PEREIRA BELCHIOR (UFRJ)

*“O Conhecimento só não é suficiente - é também necessário aplicá-lo.  
Apenas querer não é suficiente - é também necessário fazer.”*  
Johann Wolfgang von Goethe

Dedico este Trabalho aos Marinheiros, aos Pescadores, aos Praticantes de Esportes Marítimos e as pessoas que viajam o Mar.

Este Trabalho é dedicado também aos Técnicos e Engenheiros que aumentam nossos conhecimentos sobre o Mar e nos possibilitam conhecer outros horizontes.

# AGRADECIMENTOS

---

Agradeço a Professora Ana Rosa Mendes Primo. Ela reconheceu o potencial do trabalho de doutorado proposto e se tomou minha orientadora de doutorado no período inicial e continuou na co-orientação até a finalização do presente trabalho.

Agradeço o Professor Alex Maurício Araújo por sua orientação na estruturação da tese e por assumir o cargo de orientador de doutorado, possibilitando a continuação e a finalização do presente trabalho. Agradeço o Professor Cesar Augusto Salhua Moreno por assumir o cargo de co-orientador do meu doutorado e contribuir nos aspectos técnicos do trabalho. Agradeço a nosso coordenador do curso Prof. Jorge Recarte Henriquez Guerrero por todo apoio acadêmico e na administração da bolsa concedida pela Facepe. Agradeço a Professora Rita de Cássia Fernandes de Lima por me apoiar na administração acadêmica do curso de doutorado e assumir temporariamente o cargo de orientadora. Agradeço André da Costa Eufrásio e Ítalo Cesar Xavier pela ajuda nos testes realizados com o protótipo no mar e na coleta e no processamento dos dados. Agradeço a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) pela concessão da bolsa de doutorado. Agradeço Christoph Ewald Goetz da empresa EK-Design de Stuttgart na Alemanha pelo apoio tecnológico e pelo financiamento do casco do protótipo. Agradeço meus familiares Ervel, Patricia, Guilherme, Felipe, Elisabeth-Marie, Nathalie, Nicole, Eric, meus amigos Fuad, Beto, Alberto e minha companheira Rubia pelo apoio moral.

Agradeço a todos, que me apoiaram ao longo deste trabalho.

# RESUMO

---

O presente trabalho apresenta como tema central o desenvolvimento e a realização de um conceito tecnológico inovador para propulsionar embarcações utilizando a força do vento por meio de uma pipa dirigível de alto desempenho aerodinâmico conhecida como Kite. Para demonstrar a eficiência da tecnologia aplicada é projetado, manufaturado e testado um barco protótipo com quatro metros de comprimento capaz de carregar uma ou duas pessoas.

Kites modernos são projetados para operar em regime de sustentação aerodinâmica e podem ser movimentados de forma razoavelmente controlada em uma região denominada “janela de vento” e possibilitam a geração de forças perpendiculares á direção do vento. Assim, uma embarcação tracionada por Kites e equipada com uma quilha pode realizar cursos cruzados contra o vento. O equilíbrio hidrodinâmico da embarcação tratada neste trabalho é alcançado através de tecnologia com uso de uma plataforma giratória azimutal e um conjunto de mecanismos para o manuseio do Kite e o controle do rumo do barco. É apresentado o cálculo para relacionar o equilíbrio da embarcação com o voo do Kite. Não há necessidade de leme para controlar o rumo da embarcação, portanto o barco protótipo deste trabalho não apresenta algum leme. Os dados obtidos em teste foram relacionados, processados e os resultados quantitativos de percursos e manobras são apresentados e descritas as condições e posicionamentos das grandezas relevantes. A Propulsão do barco prototipo por meio de um Kite mostrou bons resultados em ventos acima de 18 km/h (10 nós). Nestas condições ficou comprovado a eficiência do sistema inovador para propulsionar e guiar barcos com Kites como o protótipo apresentado no presente trabalho.

## **Palavras-Chave:**

Barco. Esporte marítimo. Kite. Pipa. Bidirecional. Sem leme. Energia Eólica

# ABSTRACT

---

This work has as its central theme the development and realization of an innovative technological concept of boat propulsion using the wind power through a steerable Kite. To demonstrate the effectiveness of the applied technology there is designed, manufactured and tested a prototype boat with four meters in length capable of carrying one or two people.

Modern Kites are designed to operate in aerodynamic lift system. As a result, these devices can be moved in fairly controlled manner in a semi-spherical region called "wind window" and allow the generation of perpendicular forces to wind direction. Thus, a vessel pulled by a Kite and equipped with a good keel can perform crossed courses against the wind. The hydrodynamic balance of the vessel treated in this work is achieved through the use of a technology with azimuthal platform and a set of mechanisms for Kite handling and controlling the direction of the boat. A new method of calculation of the balance of the boat during the Kite flight is presented as well as some results of hydrodynamic simulations. Another advantage of the azimuth platform technology is the ability to control the direction of the boat only by the Kite control devices and the relative positioning of the azimuthal platform within the hull. There is no need of a rudder to control the direction of the boat, so the boat prototype of this work does not present any rudder. The test data were related, processed and quantitative results concerning courses and maneuvers are presented and the conditions and positions of the relevant magnitudes are described. The propulsion of the prototype boat by a Kite showed good results in winds over 18 km/h (10 knots). Under these conditions the efficiency of the innovative propulsion system for boats with Kites as the prototype presented in this work was testified. The innovative directional control allows the handling of the vessel at high upwind courses. The bidirectionality of the prototype boat increases the possibilities of executing maneuvers with reversal of the navigation direction and easy windward routes.

## **Keywords:**

Boat. Kite. Rudderless. Bidirectional. Eolic energy. Watersports

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

---

$\alpha$	Ângulo entre linha do Kite e a horizontal
$\alpha$	Ângulo do vento relativo referente ao plano tangente da JV
$\alpha_e$	Ângulo de ataque efetivo do Kite
$\alpha_K$	Ângulo da corda do Kite referente ao plano tangente da JV do Kite
$\alpha_L$	Ângulo de ataque entre corda e vento relativo
$\beta$	Ângulo entre linha d'água e a inclinação do barco
$\gamma$	Ângulo de deriva de um navio
$\delta$	Ângulo do leme de um navio
$\zeta$	Ângulo da curvatura ao longo da envergadura do Kite
$\theta$	Inclinação do cabo de reboque (linha FK) em relação com a reta FP
$\rho$	Densidade ( $\text{kg/m}^3$ )
$\phi$	Inclinação do plano FKP em relação com o plano horizontal
$\Phi$	Ângulo de escora de um navio
AB	Arqueação bruta
AR	Razão de aspecto
b	Envergadura do aerofólio (m)
c	Corda do aerofólio (m)
CB	Centro de empuxo
$C_D$	Coefficiente aerodinâmico de arrasto
$c_{DL}$	Coefficiente de arrasto das cordas do Kite
CG	Centro de gravidade
$C_L$	Coefficiente aerodinâmico de sustentação
$c_{Lc}$	Coefficiente de sustentação 3D para asa de envergadura curvada
$C_{log}$	Fator de correção logarítmico referenciado
CRW	Centro da resistência d'água
d	Diâmetro de cada linha (mm)
D	Força de arrasto (N)
$F_B$	Força de empuxo
$F_K$	Força exercida pelo Kite (N)
$F_{Ky}$	Projeção transversal da força do Kite (N)
$F_{Kz}$	Projeção vertical da força do Kite (N)

$F_P$	Força exercida pelo peso
$F_{RW}$	Resistência da água (N)
$F_{RWy}$	Projeção transversal da resistência da água (N)
$F_{RWz}$	Projeção vertical da resistência da água (N)
$GM_t$	Altura metacêntrica transversal (m)
$GML$	Altura metacêntrica longitudinal (m)
JV	Janela de Vento de um Kite
KG	Posição vertical do centro de gravidade (m)
L	Força de sustentação (N)
LCG	Posição longitudinal do centro de gravidade (m)
n	Quantidade de cordas do Kite
N	Norte
r	raio da Janela de Vento JV (m)
R	Distância entre Kite e gôndola (m)
S	Área do Kite ( $m^2$ )
$S_L$	Área transversal do Kite ( $m^2$ )
$S_D$	Área frontal do Kite ( $m^2$ )
$u_{ref}$	Vento atmosférico obtido em medição em altura referencial (m/s)
$v_{rel}$	Velocidade relativa do vento (m/s)
V	Volume ( $m^3$ )
W	Velocidade do vento (m/s)
WA	Vento aparente (m/s)
WR	Vento real (m/s)
$W_z$	Vento atmosférico em uma altura z do mar (m/s)
$X_{JV}$	coordenada x em sistema centrado na JV
$x_K$	coordenada x em sistema centrado no Kite
$Y_{JV}$	coordenada y em sistema centrado na JV
$y_K$	coordenada y em sistema centrado no Kite
z	Altura em qual o Kite voa (m)
$z_0$	Rugosidade do mar em função da altura de ondas
$z_K$	coordenada z em sistema centrado no Kite
$Z_{JV}$	coordenada z em sistema centrado na JV
$z_{ref}$	Camada referencial

## LISTA DE FIGURAS

---

	Pag.
Figura 1: Barco com vela rígida	24
Figura 2: O barco <i>Hydroptère</i> em operação de regime de hidrofólios	25
Figura 3: Relevância econômica do mercado de barcos na região de New South Wales – Austrália : Registros de barcos até 2008	26
Figura 4: Janela de Vento de um kite definido como semi-hemisfera	32
Figura 5: Janela de vento com representação de iso-linhas	34
Figura 6: Sistema de Coordenadas usada na simulação do vôo de um Kite	34
Figura 7: Método para Definição da Curvatura de um Kite	35
Figura 8: Exemplo de trilha de um Kite dentro da Janela de Vento	38
Figura 9: Localização da área em qual o Kite pode gerar forças propulsoras adequadas	40
Figura 10: Gráfico Força do Kite x Altura do vôo x Velocidade do Vento	41
Figura 11: Exemplo da Posição de vetores envolvidos na navegação Onwind (Vento de Través)	42
Figura 12: Exemplo da Posição de vetores envolvidos na navegação Upwind (Contravento)	43
Figura 13: Exemplo da Posição de vetores envolvidos na navegação Downwind (Vento de Alheta)	43
Figura 14: Forças geradas por vento lateral em Barco Veleiro	44
Figura 15: Forças geradas por vento lateral em Barco com propulsão por Kite	45
Figura 16: Mecanismo em Embarcação para captação adequada de forças motrizes geradas por Kites	45
Figura 17: Foto de Protótipo de Embarcação movida por Kites testada em 2004	46
Figura 18: Foto do Protótipo em operação em Almere, Holanda em 2004	46
Figura 19: Foto do Modelo Experimental de Barco tracionado por Kite concluído em 2008	47
Figura 20: Gradiente das Forças de Kites em Janela de Vento	49
Figura 21: Foto de Kitesurfista em percurso Onwind	50
Figura 22: Foto de Kitesurfista durante Execução de Manobra	51
Figura 23: Foto do Navio "Beluga" equipado com Propulsão Auxiliar por Kite	52
Figura 24: Foto de trenó veleiro em operação	53
Figura 25: Exemplo de Kite com Tubos inflados com ar pressurizado	54

Figura 26:	Ambito acadêmico do projeto (quadro verde) em relação com o contexto comercial geral	56
Figura 27:	Fluxograma do Método de Desenvolvimento e Sistemas	58
Figura 28:	Recomendação das VDI-Richtlinien para Projetos Inovadores	63
Figura 29:	Desenho elaborados pelo desenhista Alberto Stasiukynas	73
Figura 30:	Desenho da vista lateral elaborado por Alberto Stasiukynas	73
Figura 31:	Desenho conceitual elaborado pela desenhista industrial Monique Polous	74
Figura 32:	Planos de linha das três vistas do casco	74
Figura 33:	Regressão matemática da Relação entre peso e comprimento de Barcos	75
Figura 34:	Estimativa da localização do centro de gravidade da embarcação leve	77
Figura 35:	Estimativa do centro de gravidade do piloto da embarcação	78
Figura 36:	Curva hidrostática de volume deslocado em função do carregamento total	79
Figura 37:	Forças atuantes no Barco Protótipo durante uma Manobra de mudança de rumo	82
Figura 38:	Gráfico FK x alfa x beta x Condição de carga 220 kg	91
Figura 39:	Gráfico FK x alfa x beta x Condição de carga 300 kg	92
Figura 40:	Gráfico FK x alfa x beta x Condição de carga 380 kg	93
Figura 41:	Gráfico da Resistência ao Avanço em função da Velocidade	94
Figura 42:	Representação gráfica das ondas geradas pela embarcação navegando a 10 nós	95
Figura 43:	Conceito da Guia Azimutal e Roldanas	96
Figura 44:	Guia Azimutal formada pela montagem da engrenagem no casco	97
Figura 45:	Projeto dos dois tipos de conjuntos de roldanas	97
Figura 46:	Seção de corte perpendicular a Guia Azimutal e localização das roldanas axiais	98
Figura 47:	Conceito da transmissão da força braçal do piloto ao chassi da plataforma azimutal	99
Figura 48:	Conceito do acionamento da Trava da plataforma azimutal livre (dir.) e travada (esq.)	100
Figura 49:	Localização adequada do mecanismo de trava integrado na plataforma azimutal	100
Figura 50:	Vista lateral da trava engrenada	101

Figura 51:	Manipulação das linhas dianteiras para definir o ângulo de ataque do Kite	102
Figura 52:	Conjunto de roldanas montado no bico do plataforma azimutal	102
Figura 53:	Traçado das linhas traseiras do Kite passando pela barra de direção	103
Figura 54:	Assento do piloto com cilindros de ajuste da posição e ângulo	103
Figura 55:	Definições de Orça adotada	106
Figura 56:	Trajatória de percurso de embarcação com mudanças de rumo	108
Figura 57:	Trajatória de navio com percurso reto exposto a vento e correnteza	109
Figura 58:	Curva de Giro de Navio com o Leme colocado em ângulo de 35°	110
Figura 59:	Definição do ângulo de escora de uma embarcação	110
Figura 60:	Definição do ângulo de Deriva de um Navio	111
Figura 61:	Posição do leme e reações da Manobra Espiral	112
Figura 62:	Comportamento de 3 diferentes embarcações na Manobra Espiral	113
Figura 63:	Exemplo de Resposta de embarcação durante a Manobra Zig- Zag	114
Figura 64:	Posição do leme e reações da Manobra Zig-Zag	114
Figura 65:	Foto do Barco Protótipo sem lemes	116
Figura 66:	Influência da Direção do Vento na Execução de Manobra	120
Figura 67:	Manobra Zig-Zag executada com Vento de Través (Onwind)	121
Figura 68:	Manobra Zig-Zag executada com Vento de Alheta (Downwind)	122
Figura 69:	Manobra de Giro Completo	123
Figura 70:	Direção do vento assumida	124
Figura 71:	Posição da janela de vento assumida	124
Figura 72:	Definição de Regiões do Trajeto da Manobra Homem ao Mar	125
Figura 73:	Ponto Inicial da Manobra Homem ao Mar	125
Figura 74:	Modificação gradual da Plataforma Azimutal entre os pontos 2 e 3 da Manobra	126
Figura 75:	Posição limite de Tração, em uma região entre os Pontos 3 e 4	127
Figura 76:	Kite guiado para o outro extremo da Janela de Vento e o Casco reposicionado	127
Figura 77:	Posição da Plataforma Azimutal em Ponto 5 da Manobra	128
Figura 78:	Posições da Plataforma Azimutal ao chegar ao Ponto 6 da Manobra	128

Figura 79:	Posições da Plataforma Azimutal entre os Pontos 6 e 7 da Manobra	129
Figura 80:	Posição da Plataforma Azimutal no Ponto 8 da Manobra	129
Figura 81:	Posição da Plataforma Azimutal entre os Pontos 8 e 9 da Manobra	130
Figura 82:	Posições da Plataforma Azimutal entre os Pontos 9 e 11 da Manobra	130
Figura 83:	Mudança Gradual da Posição do Kite na Janela de Vento entre os Pontos 6 e 8	131
Figura 84:	Modificação do Rumo entre os Pontos 9 até 11 da Manobra	132
Figura 85:	Exemplo de Manobra de giro completo executado por barcos movidos por Kites	133
Figura 86:	Modelo computacional tridimensional da estrutura básica do protótipo	135
Figura 87:	Três exemplos de perfis de corte extraídos do modelo computacional tridimensional	136
Figura 88:	Duas fotos do modelo positivo real (Plug)	137
Figura 89:	Duas fotos da fabricação do molde negativo	137
Figura 90:	Duas fotos da parte inferior do protótipo durante o início da montagem	138
Figura 91:	Duas fotos da fase de montagem intermediária do protótipo	138
Figura 92:	Garrafas PET para impedir o afundamento do barco em caso de avaria	139
Figura 93:	Montagem final do casco flutuador do protótipo	139
Figura 94:	Plug da plataforma azimutal em meio da fabricação	140
Figura 95:	Fotos do barco Mock-Up com leme	141
Figura 96:	Plataforma azimutal montada com os subsistemas mecânicos	141
Figura 97:	Montagem da engrenagem grande para formar a guia	142
Figura 98:	Foto do lado inferior da plataforma azimutal	143
Figura 99:	Montagem da engrenagem do controle direcional do barco	144
Figura 100:	Fotos Pequena engrenagem (direita) e Volante montado (esquerda)	144
Figura 101:	Fotos do sistema de trava utilizada no protótipo, em madeira	145
Figura 102:	Duas fotos detalhadas do acionamento da trava por pedal	145
Figura 103:	Foto das roldanas instaladas no bico do plataforma azimutal	146
Figura 104:	Dois sistemas de guia de cordas e o total de 14 roldanas	147
Figura 105:	Prendedor para manter as cordas em posição requerida pelo piloto	148

Figura 106:	Duas fotos dos desconectores das linha do Kite	148
Figura 107:	Barra de direção para o controle direcional do Kite	149
Figura 108:	Foto do encosto para o piloto montado no protótipo	150
Figura 109:	Fotos do barco protótipo com novo casco e novos dispositivos	151
Figura 110:	Parte superior da haste com 2 anemômetros, relógio e Webcam	154
Figura 111:	Haste com 2 anemômetros, relógio e Webcam montado	155
Figura 112:	Foto da Escala para Medição da Direção do Vento - Rosa de Vento	155
Figura 113:	Fotos dos anemômetros utilizados durante os testes	163
Figura 114:	Representação gráfica do percurso total do teste	164
Figura 115:	Delineação do Percurso P1	166
Figura 116:	Representação da Posição do Protótipo no Percurso P1	167
Figura 117:	Delineação do Percurso P2	168
Figura 118:	Representação da Posição do Protótipo no Percurso P2	169
Figura 119:	Delineação do Percurso P3	169
Figura 120:	Representação da Posição do Protótipo no Percurso P3	170
Figura 121:	Delineação do Percurso P4	171
Figura 122:	Representação da Posição do Protótipo no Percurso P4	172
Figura 123:	Delineação do Percurso P5	172
Figura 124:	Representação da Posição do Protótipo no Percurso P5	173
Figura 125:	Delineação do Percurso P6	174
Figura 126:	Representação da Posição do Protótipo no Percurso P6	175
Figura 127:	Delineação do Percurso P7	175
Figura 128:	Representação da Posição do Protótipo no Percurso P7	176
Figura 129:	Delineação do Percurso P8	177
Figura 130:	Representação da Posição do Protótipo no Percurso P8	178
Figura 131:	Manobras realizadas durante o teste em Maria Farinha, Pernambuco	179
Figura 132:	Delineação da Manobra M1	180
Figura 133:	Posições de Casco, Plataforma Azimutal, JV e Kite no Início (direita) e no fim (esquerda) da Manobra M1	181
Figura 134:	Delineação da Manobra M2	181
Figura 135:	Posições de Casco, Plataforma Azimutal, JV e Kite no Início (direita) e no fim (esquerda) da Manobra M2	182
Figura 136:	Delineação da Manobra M3	183

Figura 137:	Posições de Casco, Plataforma Azimutal, JV e Kite no Início (direita) e no fim (esquerda) da Manobra M3	184
Figura 138:	Delineação da Manobra M4	184
Figura 139:	Posições de Casco, Plataforma Azimutal, JV e Kite no Início (direita) e no fim (esquerda) da Manobra M4	185
Figura 140:	Delineação da Manobra M5	186
Figura 141:	Posições de Casco, Plataforma Azimutal, JV e Kite no Início (direita) e no fim (esquerda) da Manobra M5	187
Figura 142:	Percurso dos velejadores Waitt e Burk ao redor da ilha de White	198
Figura 143:	Barco catamarã adaptado para percorrer ao redor da ilha de White	199
Figura 144:	4 fotos de canoas experimentais adaptadas para uso de Kites	200
Figura 145:	Foto de barco movido por Kite com hidrofólios auto adaptáveis	201
Figura 146:	Roldanas para o controle semi automático das linhas do Kite	201
Figura 147:	Braço extensor para deslocar as forças do Kite	202
Figura 148:	Oficina equipada com recursos de alto padrão	203
Figura 149:	Lançamento do Kite no barco movido por Kite para longos percursos	204
Figura 150:	Operação do barco movido por Kite para longos percursos	204
Figura 151:	Barco veleiro tradicional equipado com pipa	205
Figura 152:	Barco veleiro com sistema adicional de tração por pipa	206
Figura 153:	Barco operado com tecnologia de Kitesurf	207
Figura 154:	Utilização de Kite para diminuir ou evitar a guinada de um barco	208
Figura 155:	Barco movido por Kite com braço extensor	208
Figura 156:	Hidrofolio giratório para anular momento azimutal sobre o casco	209
Figura 157:	Hidrofolio giratório montado na proa de um barco	209
Figura 158:	Navio cargueiro com tração suplementar por um Kite	210

## LISTA DE TABELAS

---

Tabela 1:	Funções e Soluções dos Módulos realizáveis	71
Tabela 2:	Comparação de Pesos e Medidas de barcos veleiros	75
Tabela 3:	Condições de Carregamento da Embarcação	76
Tabela 4:	Dados estimados Condição Leve	77
Tabela 5:	Previsão da posição do centro de gravidade com piloto	78
Tabela 6:	Previsão da posição do centro de gravidade com piloto e 1 passageiro	78
Tabela 7:	Previsão da posição do centro de gravidade na condição Excepcional	78
Tabela 8:	Pesos e Calados em condições leve e carregado	79
Tabela 9:	Pesos e Medidas consideradas em 4 condições de carga	81
Tabela 10:	Capacidade e Qualidades de Manobras Navais padronizadas	108
Tabela 11:	Medições da Velocidade do Vento	162
Tabela 12:	Cálculo da Velocidade do protótipo para os 8 Percursos exemplares	165
Tabela 13:	Dados atmosféricos e do protótipo no Percurso P1	166
Tabela 14:	Dados atmosféricos e do protótipo no Percurso P2	168
Tabela 15:	Dados atmosféricos e do protótipo no Percurso P3	170
Tabela 16:	Dados atmosféricos e do protótipo no Percurso P4	171
Tabela 17:	Dados atmosféricos e do protótipo no Percurso P5	173
Tabela 18:	Dados atmosféricos e do protótipo no Percurso P6	174
Tabela 19:	Dados atmosféricos e do protótipo no Percurso P7	176
Tabela 20:	Dados atmosféricos e do protótipo no Percurso P8	177
Tabela 21:	Dados atmosféricos e do protótipo na Manobra M1	180
Tabela 22:	Dados atmosféricos e do protótipo na Manobra M2	182
Tabela 23:	Dados atmosféricos e do protótipo na Manobra M3	183
Tabela 24:	Dados atmosféricos e do protótipo na Manobra M4	185
Tabela 25:	Dados atmosféricos e do protótipo na Manobra M5	186
Tabela 26:	Comparação entre Veleiros, Barcos Motorizados e o Barco Protótipo	189
Tabela 27:	Dados GPS Percurso P1	212
Tabela 28:	Dados GPS Percurso P2	212

Tabela 29:	Dados GPS Percurso P3	212
Tabela 30:	Dados GPS Percurso P4	213
Tabela 31:	Dados GPS Percurso P5	213
Tabela 32:	Dados GPS Percurso P6	214
Tabela 33:	Dados GPS Percurso P7	214
Tabela 34:	Dados GPS Percurso P8	214
Tabela 35:	Dados GPS Manobra M1	215
Tabela 36:	Dados GPS Manobra M2	215
Tabela 37:	Dados GPS Manobra M3	216
Tabela 38:	Dados GPS Manobra M4	216
Tabela 39:	Dados GPS Manobra M5	217
Tabela 40:	Dados completos do GPS Garmin	217
Tabela 41:	Resistência ao Avanço da embarcação em função da Velocidade	224

# SUMÁRIO

---

	Pag.
<b>Capítulo 1 – Introdução</b>	23
1.1 Revisão Bibliográfica	27
1.2 Justificativa	28
1.3 Objetivos da tese	29
1.4 Estrutura da tese	30
<b>Capítulo 2 - Fundamentação teórica</b>	32
2.1 Teoria do Funcionamento de Kites	33
2.1.1 Vento Relativo Atuante no Kite	37
2.1.2 Forças Exercidas pelo Kite	37
2.1.3 Janela de Vento de Kites instalados em Embarcações	38
2.1.4 Influência da Altura de Vôo do Kite	39
2.1.5 Janela de Vento de Kites instalados em pequenos Barcos	42
2.2 Dispositivo de controle de Kite embarcado	44
2.2.1 Características e Aplicações de Kites na Área Naval	48
2.2.2 Efeito de Quilhas em Embarcações tracionadas por Kites	52
2.2.3 Tipos de Kites na área Naval	54
2.2.4 Razão entre Força de Tração do Kite e Massa da Embarcação	55
2.3 Procedimento geral para Desenvolvimento e Construção de Produtos	56
2.3.1 Método de Desenvolvimento e Sistemas	57
2.3.2 Metodologia do Projeto de Barco tracionado por Kite	60

<b>Capítulo 3 – Desenvolvimento Metodológico do Projeto</b>	<b>62</b>
3.1 Procedimento geral no Desenvolvimento e Projeto do Produto	62
3.1.1 Aplicação do Procedimento geral no Projeto de Barco movido por Kite	64
3.1.2 Fase 1	64
3.1.3 Fase 2	65
3.1.4 Fase 3	71
3.2 Casco	72
3.2.1 Forma	72
3.2.2 Estimativa de Pesos	74
3.2.3 Equilíbrio e Estabilidade	80
3.2.4 Resistência ao avanço	93
3.3 Plataforma Azimutal	95
3.3.1 Acoplamento da plataforma Azimutal no casco flutuante	96
3.3.2 Sistema para direção do barco	98
3.3.3 Sistema de trava da plataforma azimutal	100
3.3.4 Sistema para controle do Kite	101
3.3.5 Assento e encosto	103
3.4 Manobrabilidade e Capacidade de Orça	104
3.4.1 Definição de Orça	104
3.4.2 Capacidade de Manobras em Navios	107
3.4.3 Manobras Padronizadas na Engenharia Naval	107
3.4.4 Validade de Manobras Padronizadas para Barcos Catamarãs movidos por Kite	115

<b>Capítulo 4 – Desenvolvimento Metodológico da Fabricação do Protótipo</b>	134
4.1 Manufatura e Construção de Barco movido por Kite	134
4.2 Construção do Casco	135
4.2.1 Plugs e Moldes	136
4.2.2 Laminação, Materiais e Acabamento	137
4.3 Construção da Plataforma Azimutal	140
4.3.1 Plugs e Moldes	140
4.3.2 Laminação, Materiais e Acabamento	140
4.3.3 Acoplamento da plataforma Azimutal no casco flutuante	142
4.3.4 Sistema para direção do barco	143
4.3.5 Sistema de trava da plataforma azimutal	144
4.3.6 Sistema para controle do Kite	145
4.3.7 Assento e Encosto	150
<b>Capítulo 5 – Testes Realizados com o Protótipo</b>	152
5.1 Materiais e Metodologia para coleta de Dados	152
5.2 Testes de Equilíbrio	158
5.3 Testes de Resistência dos Componentes	158
5.4 Teste de Segurança	159
5.5 Testes de Propulsão e Manobrabilidade	159

<b>Capítulo 6 – Resultados e Observações</b>	160
6.1 Operação do Protótipo no Mar	160
6.2 Dados quantitativos	161
6.2.1 Velocidade escalar do vento	161
6.2.2 Mapas e Medidas dos Percursos retos	163
6.2.3 Mapas e Medidas de Manobras realizadas	178
6.2.4 Comparação de Qualidades com outras Embarcações	188
<b>Capítulo 7 – Conclusões e Recomendações</b>	190
7.1 Conclusões	190
7.2 Recomendações	192
<b>Referências</b>	193
<b>APÊNDICE A: Estado da Arte de Projetos Navais com Propulsão por Kites</b>	298
<b>APÊNDICE B: Dados obtidos de aparelho GPS (Garmin)</b>	212
<b>APÊNDICE C: Dados Resistência ao Avanço da embarcação em função da Velocidade</b>	224

## Capítulo 1 – Introdução

O presente trabalho trata de uma tecnologia inovadora que permite a utilização controlada de Kites como meio de propulsão para pequenas embarcações. São apresentadas aplicações navais do projeto de um casco flutuante, a hidrodinâmica e a aerodinâmica de Kites. Foram utilizados materiais compostos e o projeto mecânico foi elaborado com sistema CAD-3D. Trata-se de estudo das características de um barco desenvolvido para operar com sistema de propulsão inovador, o Kite. Apresentado como sistema de propulsão auxiliar em navios no intuito de economizar combustível, o Kite também é estudado no campo da geração de energia elétrica. De acordo com o site da Skysails [[www.skysails.com](http://www.skysails.com)], as aplicações navais de Kites prometem redução de custos operacionais o que chama a atenção crescente dos armadores. A tecnologia de controle de velocidade do Kite apresenta uma física aerodinâmica particular e surpreendente – publicações depois de 2006 mostram alguns modelos matemáticos relacionados à aerodinâmica do Kite.

Já o custo para idealizar projetos de Kites em navios com comprimento acima de 120 metros é relativamente elevado. Os resultados obtidos em experimento com um barco pequeno utilizando um Kite como propulsão exclusiva formam uma nova base de conhecimento técnico-científico em duas áreas importantes dentro das engenharias: a engenharia naval e a engenharia eólica. Independente da aplicação em grandes navios, os Kites podem ser usados em barcos de lazer e esportivos, tanto como propulsão auxiliar como propulsão principal. O projeto de um barco esportivo envolve considerações ao público que pratica este tipo de esporte.

Esportes aquáticos estão ganhando cada vez mais popularidade ao redor do mundo. Como poucas outras atividades, oferecem maneiras de distração e equilíbrio para pessoas sujeitas ao estresse profissional. O esporte aquático clássico mais popular consiste no velejo em embarcações que podem ser classificados de acordo com os tipos construtivos e pelo tamanho dos barcos. Essas embarcações podem ser constituídas de um casco, podem ser catamarãs de dois cascos ou até mesmo trimarãs com três cascos. Esses são utilizados em diversas competições marinhas, as regatas.

Uma maneira relativamente econômica de praticar algum esporte aquático é a prática de *Windsurf*, esporte que utiliza pranchas com velas. Do outro lado da escala de custo encontram-

se barcos especiais participantes de regatas, tal como o *America's Cup*. O vencedor desta competição em 2010, o time “*Oracle BMW*” (Figura 1), em sua página da *web* [[www.oracleracing.com](http://www.oracleracing.com)] declarou que o custo do desenvolvimento e da fabricação foi de cerca de cento e oitenta milhões de dólares. O barco apresenta um sistema de velas rígidas com uma série de articulações similares aos *flaps* em asas de aviões.

Figura 1: Barco com vela rígida



Fonte: [www.oracleracing.com](http://www.oracleracing.com) em 30-01-2012

Esportes aquáticos apresentam uma grande dinâmica quanto ao desenvolvimento de novas tecnologias e novos equipamentos. A causa dessa dinâmica reflete o interesse ao redor do mundo por estes esportes. Entretanto, comparando-se os custos para desenvolver novas tecnologias em grandes navios com comprimento acima de cem metros, as pesquisas em barcos menores encontram-se dentro de um nível econômico mais acessível.

As descobertas científicas e tecnológicas obtidas através do desenvolvimento de barcos esportivos podem ser extrapoladas para embarcações de grande porte. Um exemplo atual é a utilização de hidrofólios, que favorecem o alcance de altas velocidades para praticamente qualquer tipo de barco ou navio. Contudo, a energia necessária para alcançar estas velocidades deve ser inferior à energia utilizada em embarcações com tecnologia tradicional. A Figura 2 mostra uma foto de 2010 do veleiro francês *Hydroptère*, com comprimento de cerca quarenta metros, utilizando um sistema de hidrofólios reguláveis, alcançando uma velocidade acima de 80 km/h.

Figura 2: O barco *Hydroptère* em operação de regime de hidrofólios



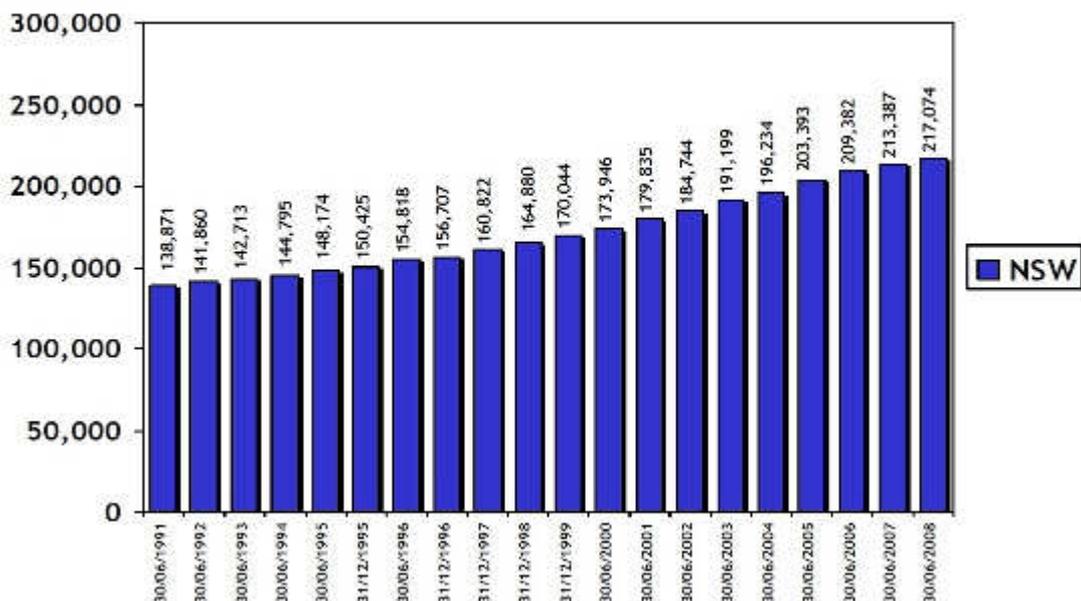
Fonte: [www.hydroptere.com](http://www.hydroptere.com) em 30-01-2012

O construtor deste barco planeja construir outro barco com cerca de cem metros de comprimento para comprovar a eficácia deste sistema para navios, [www.hydroptere.com em 30-01-2012]. De forma geral, esta tecnologia pode ser utilizada em qualquer tipo de navio, independente do tipo de tração, quer seja pela energia eólica, pela utilização de velas e asas, quer seja por motores à combustão.

A utilização de velas e asas como meio de propulsão de embarcações constituem uma forma de preservar o meio ambiente, a energia dos ventos proporciona baixo custo operacional e alcance praticamente ilimitado quando comparado com a utilização de motores de combustão, fato que também contribui com a crescente procura de tecnologias sustentáveis para aproveitamento da energia eólica em barcos e navios.

A crescente produção mundial de pequenos barcos para a prática de esportes e lazer representa o número crescente de pessoas com a possibilidade e a vontade de praticar algum esporte náutico. A Figura 3 mostra a importância econômica desse tipo de barco no exemplo do mercado de barcos Australiano, publicado no site da BIA - Boating Industry Association.

Figura 3: Relevância econômica do mercado de barcos na região de New South Wales – Austrália: Registros de barcos até 2008



Fonte: Boating Industry Association of NSW – [www.bia.org.au](http://www.bia.org.au) em 30-11-2013

A BIA fornece amplas informações e estatísticas para o público interessado. Dados mais detalhados indicam que na região New South Wales foram registrados em 2012 o número de 5324 novos barcos e em 2013 foram registrados 5696 novos barcos com comprimento inferior a 6 metros.

Comparando-se com o mercado nacional, pode-se afirmar que o Brasil conquistou uma boa fama mundial por apresentar lugares com ventos ideais para a prática de *Kitesurf*. Muitos esportistas nacionais, dos Estados Unidos e da Europa já visitam a região do Ceará e do Rio Grande do Norte pela presença de ventos fortes e constantes além de clima ameno durante prolongados períodos do ano. O crescente interesse na diminuição de consumo e da poluição chama a atenção para o uso da energia eólica limpa e de custo "zero". As pesquisas a respeito de sistemas que possam ser integrados na área naval incluem as velas tradicionais e alguns outros conceitos como o sistema com rotores Flettner e sistemas que utilizam Kites e outros.

O interesse na indústria naval em termos nacionais e internacionais mantém uma tendência crescente. Para navios de grande porte as novas tecnologias prometem a combinação de motores convencionais com um sistema de captação de energia eólica para diminuir o consumo em condições favoráveis. O uso de Kites adequados para grandes navios requer o desenvolvimento de grandes Kites, com até 2000 metros quadrados de área velica. Para pequenos barcos podem ser utilizados os mesmos Kites modernos comercializados para o Kitesurf, facilitando o acesso à pesquisa da tecnologia de Kites na área naval com custo mais acessível.

## 1.1 Revisão Bibliográfica

Projetos envolvendo a propulsão de embarcações por Kites são desenvolvidos nas Universidades de Delft, Holanda e Southampton, Reino Unido além de empresas privadas ligadas aos esportes aquáticos. Um resumo da pesquisa na internet sobre projetos de embarcações por Kites é apresentada no Apêndice.

O autor detém duas patentes internacionais com vigor até 2021 envolvendo tecnologia de propulsão de embarcações concedidas em 2001:

- United State Patent No.: 6,910,434 B2 , *Control Device for a Steering Kite on a Boat*
- PCT/EP01/10002: *Steuervorrichtung für einen Lenkdrachen an einem Boot (Control Device for a Steering Kite on a Boat)*.

O presente trabalho é baseado na tecnologia definida nestas Patentes. O mecanismo da plataforma azimutal é apresentado na patente no intuito de preservar a estabilidade da embarcação movida por Kite, sem fazer referência à possibilidade de utilizar o mesmo mecanismo com adaptações evolutivas para o controle do rumo. Outros autores apresentaram publicações úteis ao desenvolvimento deste trabalho, destacando as simulações matemáticas da aerodinâmica de Kites e/ou a definição de características tecnológicas do uso de Kites em embarcações.

## 1.2 Justificativa

Dentro das estruturas acadêmicas do CTG – Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco destacam-se duas áreas de pesquisa pela importância para o presente trabalho: A pesquisa na área da Engenharia Naval é promulgada para o nível de mestrado, com o início acadêmico desta área em 2007 e recebendo apoio de diversos setores pela sua importância para a economia nacional. A região apresenta uma infraestrutura com poucas manufaturas ou estaleiros de barcos de lazer. A segunda área a ser destacada é a área de Energia Eólica. O presente trabalho tem como parte integrante um Kite, o que constitui um aparelho aerodinâmico. A base de conhecimento presente “in loco” nesta área contribui para o avanço do estudo da aerodinâmica de Kites.

As contribuições para as duas áreas de pesquisa dentro da Pós-graduação de Engenharia Mecânica na UFPE justificam as pesquisas no contexto do presente trabalho. No conjunto a combinação destas duas áreas proporciona uma interação acadêmica sinérgica com benefícios para as duas áreas. O trabalho forma a base para uma nova linha de pesquisa acadêmica sobre Kites na captação de energia eólica especialmente na área naval. Outras aplicações do uso de Kites devem ser pesquisadas. A utilização de Kites para propulsão auxiliar promete redução de consumo de combustíveis. Sistemas para propulsão emergencial podem ser desenvolvidos. O conceito de uma embarcação bidirecional gera novos desafios para o projeto hidrodinâmico dos cascos flutuantes.

Para o usuário do barco movido por Kite consistem vantagens no rendimento dinâmico da energia eólica quando comparado ao velejo tradicional e, ao comparar o uso do barco com a prática de Kitesurf é possível navegar percursos contra o vento com facilidade através da técnica de velejar na orça com ângulos apropriados.

### 1.3 Objetivos da tese

O objetivo geral deste trabalho consiste na apresentação e o estabelecimento de uma nova tecnologia que permite o uso seguro de Kites para a propulsão de barcos e navios e estabelecer a base para uma nova linha de pesquisa envolvendo Kites para propulsão naval. De forma específica, os objetivos são:

- Fabricar um barco Protótipo com capacidade de percorrer rumos diagonais contra o vento, isto é: orçar com ângulos elevados contra o vento.
- Analisar a manobrabilidade e o Desempenho da tecnologia da plataforma giratória azimutal na prática da navegação no mar.
- Verificar a funcionalidade do casco bidirecional em manobras.
- Demonstrar que é possível alcançar destinos localizados em barlavento.
- Quantificar a navegação e avaliar a estabilidade e manobrabilidade do protótipo.
- Comprovar a eficiência do sistema de controle do Kite.
- Avaliar os sistemas de emergência e controle da navegação

## 1.4 Estrutura da tese

Os capítulos deste trabalho seguem ao conceito de iniciar o projeto com apresentação de informações globais sobre a área do projeto. O primeiro Capítulo engloba a Introdução, os Objetivos, a Justificativa e a Estrutura do trabalho, e apresenta o segmento de um possível mercado assim como os desafios tecnológicos envolvidos no desenvolvimento de um barco equipado com tecnologias inovadoras com propulsão eólica com a utilização de um Kite.

É dado uma ênfase na teoria da aerodinâmica dos Kites no Subcapítulo 2.1 - *Teoria do Funcionamento de Kites*. Baseado nestes trabalhos são explorados aspectos específicos do uso de Kites em embarcações equipadas com plataforma azimutal. São determinadas as qualidades desejadas para uma embarcação movida por Kite.

A metodologia adotada para o projeto do barco protótipo é fundamentada no Capítulo 3 - *Desenvolvimento Metodológico do Projeto* e é descrita a segmentação do projeto em sequências de atividades sequenciais, recursivas ou paralelas. Uma vez iniciado o projeto computacional, as atividades fabris se tornam mais intensas e fatos antes desconhecidos ou despercebidos modificam o projeto e fases do projeto ou até o projeto inteiro precisam ser refeitos.

Em seguida são apresentados os dados técnicos do protótipo. Dimensões e pesos e demais grandezas navais são apresentados assim como os efeitos hidrodinâmicos do casco. O Capítulo continua com a descrição da plataforma azimutal e o conjunto de seus mecanismos integrantes como o acoplamento no casco, os controles do Kite e os controles do rumo do barco e a localização ergonômica dos correspondentes atuadores manuais.

O Capítulo 3 fecha com a apresentação de conceitos para definir a manobrabilidade em navios e embarcações convencionais equipados com motores, hélices e lemes. São apresentadas as consequências da modificação do meio de tração e controle de uma embarcação que ao invés de motores, hélices, e lemes, utiliza apenas um Kite e resultados esperados na execução de manobras padrão por uma embarcação tracionada por Kites.

No Capítulo 4 segue a documentação da manufatura do protótipo e seus componentes com a descrição dos processos de laminação com fibra de vidro, contra-moldes (plug), moldes e casco (produto). Após a montagem final foi dado início aos testes no mar.

A partir do Capítulo 5 são descritos materiais e métodos dos testes realizados, para obter os dados sobre a navegação da embarcação e as condições atmosféricas durante o teste. Em seguida são apresentados os resultados processados dos testes relativos aos percursos e às manobras escolhidas para exemplificar a estabilidade, propulsão e capacidade de manobra do barco protótipo e a interpretação dos resultados. O presente trabalho é finalizado com a conclusão e recomendações para futuras tarefas.

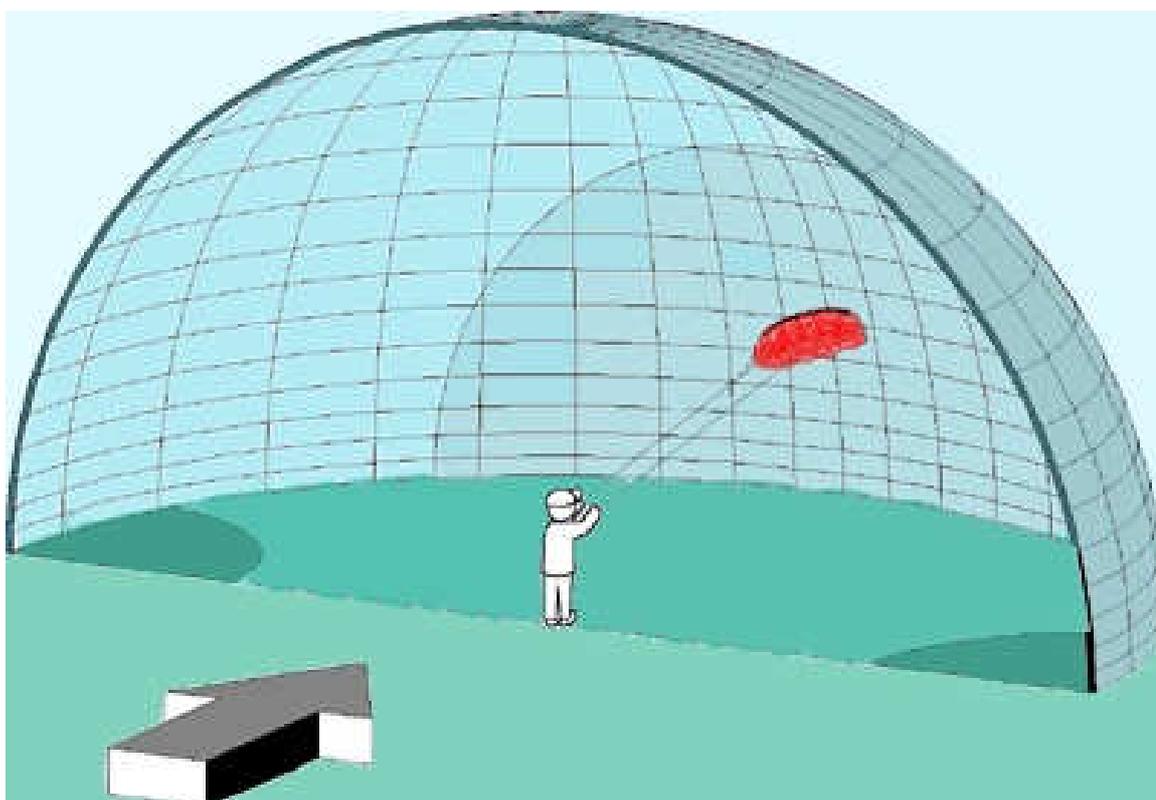
No Capítulo 6 são apresentados os resultados do teste do protótipo no mar incluindo os dados de 8 percursos e 5 manobras exemplares analisados, interpretados e comentados.

O Capítulo 7 apresenta as Conclusões e Recomendações do presente trabalho.

## Capítulo 2 - Fundamentação teórica

Alguns modelos matemáticos para representar a dinâmica da geração de forças por kites em navios foram apresentadas por Pesquisadores da Universidade de Tecnologia de Delft, Países Baixos desde 2005. São considerados a influência das linhas do Kite no rendimento aerodinâmico e outros parâmetros envolvidos. Basicamente precisamos considerar a região física na qual o kite pode ser posicionado denominada de Janela de Vento (JV). A figura 4 mostra a forma de meio hemisfério definido pela direção do vento e o raio, isto é o comprimento das linhas do kite.

Figura 4: Janela de Vento de um kite definido como semi-hemisfera.



Fonte: [http://www.leosdrachen.bplaced.net/Hilfreiches/Alles\\_uber\\_Leinen\\_/Leinen\\_Lange/leinen\\_lange.html](http://www.leosdrachen.bplaced.net/Hilfreiches/Alles_uber_Leinen_/Leinen_Lange/leinen_lange.html)

## 2.1 Teoria do Funcionamento de Kites

As publicações de Naaijen e Koster [2007] envolvendo as forças geradas por Kites mostram a dependência dos fatores:

- Velocidade de vento atmosférico
- Velocidade da embarcação
- Área velica do Kite/aerofólio

As forças de sustentação  $L$  e arrasto  $D$  são obtidas através

$$L = C_L * c * b * \frac{1}{2} * \rho * W^2 \quad (1)$$

$$D = C_D * c * b * \frac{1}{2} * \rho * W^2 \quad (2)$$

Com

$c$  = corda do aerofólio m

$b$  = envergadura do aerofólio m

$C_L$  = coeficiente aerodinâmico para a sustentação do aerofólio, obtido em Tabela de aerofólios

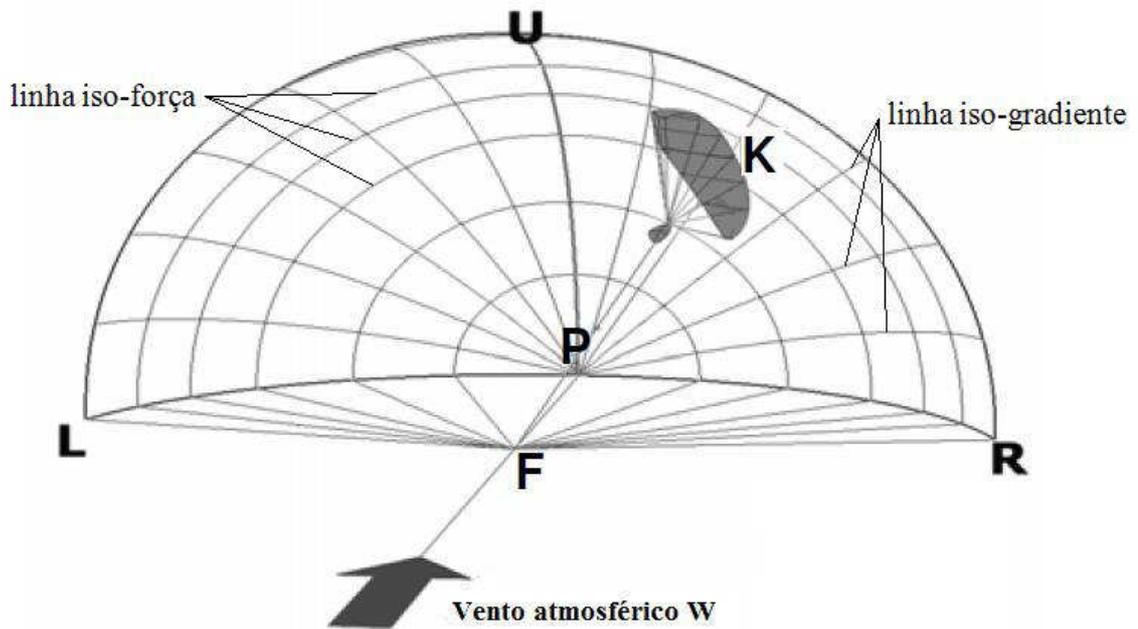
$C_D$  = coeficiente aerodinâmico para o arrasto do aerofólio, obtido em Tabela de aerofólios

$\rho$  = densidade do ar  $\text{kg/m}^3$

$W$  = velocidade relativa do vento na vela m/s

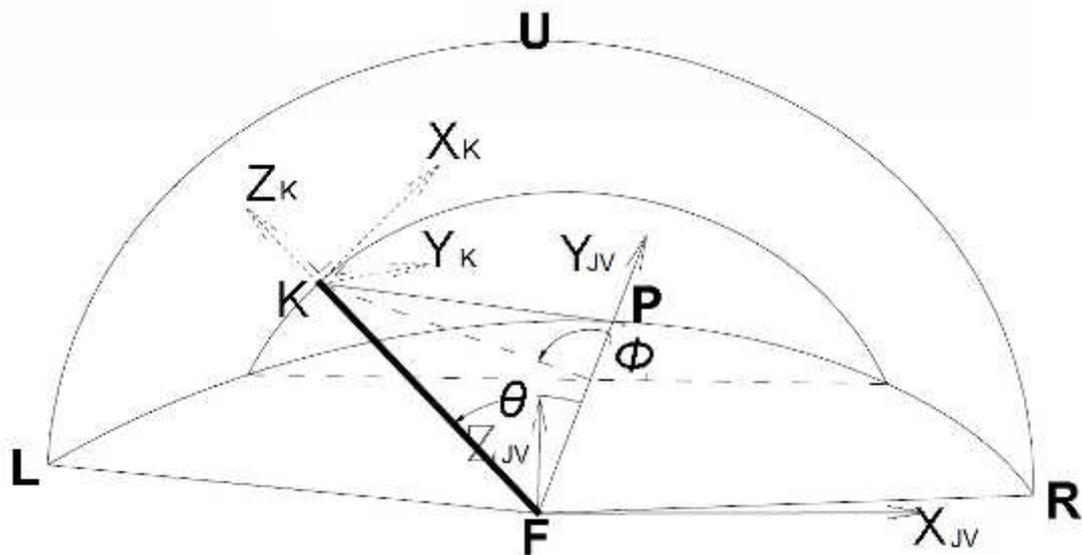
O cálculo das forças geradas por Kites envolve os fatores que definem as forças geradas por velas acrescentadas por uma componente de velocidade relativa do Kite em relação à embarcação. O Kite apresenta a possibilidade de movimentação definido por espaço geométrico conhecido como *Janela de Vento*. A Janela de Vento apresenta formato de 1/4 de uma esfera. A Figura 5 mostra as regiões de igual força e de igual gradiente de força do kite dentro da Janela de Vento. A Figura 6 mostra os vetores das velocidades do kite em coordenadas polares relativos ao centro da janela de vento e em coordenadas cartesianas relativos a posição instantânea do kite.

Figura 5: Janela de Vento com representação de Iso-Linhas



Fonte: Naaijen, Koster [2007].

Figura 6: Sistema de Coordenadas usado na simulação do voo de um Kite



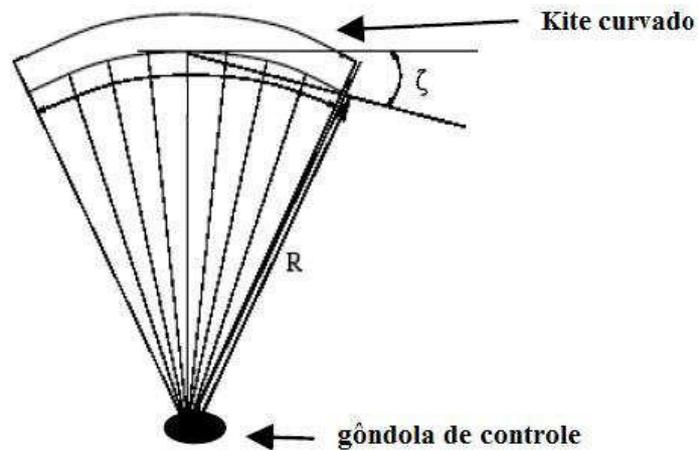
Fonte: Naaijen, Koster [2007]

Segundo Prakash [2004], a curvatura do kite afeta a sustentação. As forças de sustentação são perpendiculares à curvatura ao longo da envergadura. Lingard [1995] descreve um método para obter a força resultante na direção do cabo de reboque ( $z_K$ ) (Figura 7).

- $c_L$       coeficiente de sustentação 3D para asa de envergadura plana
- $c_{Lc}$     coeficiente de sustentação 3D para asa de envergadura curvada
- $\zeta$       ângulo da curvatura ao longo da envergadura do Kite

$$c_{Lc} = c_l * \cos^2 \zeta \tag{3}$$

Figura 7: Método para Definição da Curvatura de um Kite



Fonte: Lingard [1995]

Os cabos de sustentação que conectam o Kite com a gôndola aumentam o arrasto do sistema. Prakash formula para velocidades iguais no Kite e nos cabos o coeficiente de arrasto para o conjunto de todos os cabos:

$$C_{DI} = \frac{n * R * \cos^3 \alpha_1}{S} \quad (4)$$

com

- $c_{DI}$  coeficiente de arrasto das linhas do kite
- $n$  quantidade de cordas
- $R$  distância entre centro da janela de vento e gôndola m
- $\alpha_1$  ângulo de incidência do vento sobre as linhas
- $S$  área do Kite  $m^2$

As cordas (ou linhas) entre gôndola e Kite também geram ainda um arrasto. Assumindo que a velocidade das linhas é idêntica a velocidade do Kite, Prakash [2004] determina a fórmula para determinar o coeficiente de arrasto:

$$C_{DL} = \frac{n * R * d * \cos^3(\alpha_L)}{S} \quad (5)$$

- $c_{DL}$  coeficiente de arrasto das linhas (ou cordas) do Kite
- $n$  quantidade de cordas
- $R$  distância entre Kite e gôndola m
- $d$  diâmetro de cada linha mm
- $\alpha_L$  ângulo de incidência do vento sobre as linhas
- $S$  área do Kite  $m^2$

Observa-se que o ângulo incidente do vento nas linhas  $\alpha_L$  depende da posição do kite na janela de vento. Prakash ainda formula que a quantidade ideal de cordas é uma função direta entre a largura ao quadrado e a área do kite conhecido por razão de aspecto AR, de forma que

$$n = 8 - 16 * AR \quad (6)$$

### 2.1.1 Vento Relativo Atuante no Kite

O vento relativo atuante no Kite é constituído pela soma vetorial da velocidade do barco e a velocidade do vento atmosférico e a velocidade do Kite na Janela de Vento (JV).

### 2.1.2 Forças Exercidas pelo Kite

Naaijen e Koster [2007] mostram, que, se a velocidade do Kite é conhecida, então é conhecida também a velocidade relativa instantânea  $v_{rel}$  no Kite. Assim podem ser obtidas as forças resultantes para sustentação e arrasto.

$$L = \frac{1}{2} * \rho * v_{rel}^2 * S_L * c_L \quad (7)$$

$$D = \frac{1}{2} * \rho * v_{rel}^2 * S_D * c_D \quad (8)$$

O cálculo para obtenção do arrasto D e a sustentação L considera um número de Reynolds constante e independente da posição do Kite e sua velocidade na JV.

Neste caso a razão entre sustentação e arrasto L/D também independe da posição do Kite e sua velocidade na JV. Depende apenas do ângulo de ataque efetivo  $\alpha_e$ .

$\alpha$  ângulo do vento relativo referente ao plano tangente da JV

$\alpha_K$  ângulo da corda do Kite referente ao plano tangente da JV do Kite

$\alpha_e$  ângulo de ataque efetivo do Kite

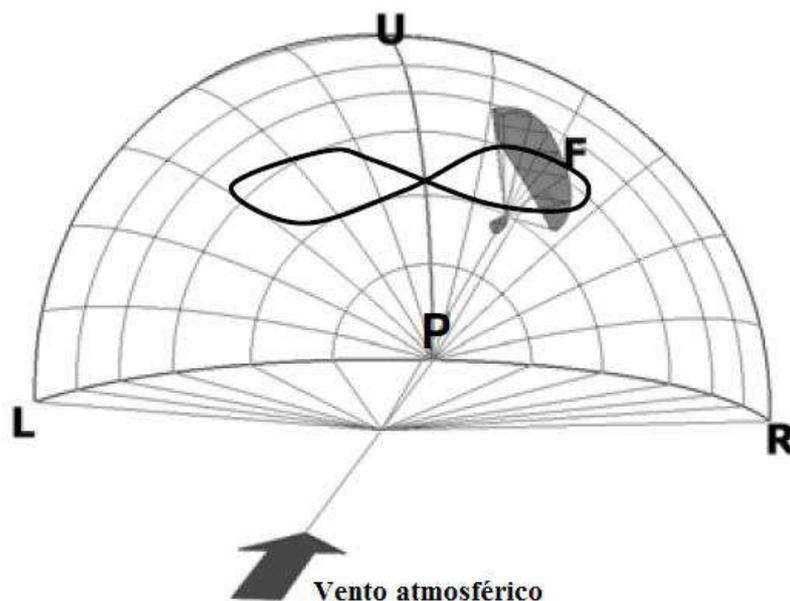
O ângulo  $\alpha_K$  da corda de um grande Kite naval referente ao plano tangente da JV do Kite pode ser controlado por meios de dispositivos eletrônicos para adaptar o ângulo de ataque do Kite ao longo de seu percurso na JV, mecanismo utilizado para manter a força resultante do Kite em direção paralelo ao cabo de reboque. Este condição oferece o maior L/D.

### 2.1.3 Janela de Vento de Kites instalados em Embarcações

Uma das vantagens de um Kite é que a sua velocidade relativa pode ser aumentada de forma ativa se o Kite for manobrado em uma trilha vantajosa na JV.

Um exemplo de uma trilha vantajosa mostra a Figura 8. A trilha pode ser localizada em qualquer parte da JV e é possível o controle da trilha em função do rumo estabelecido.

Figura 8: Exemplo de trilha de um Kite dentro da Janela de Vento



Fonte: Naaijen, Koster [2007]

Ao percorrer um determinado traçado, as velocidades instantâneas e suas forças podem ser determinadas para um número finito de pontos situados neste traçado. A força de tensão média e sua direção podem ser obtidas através da integração em função do tempo e as posições do Kite ao longo do percurso.

O traçado representado na Figura 4 na prática com o barco protótipo demonstrou ser eficiente em percurso com vento de alheta, isto é a favor do vento apenas (downwind): O

percurso mais adequado em rumos com vento de través (onwind) ou contravento (upwind) é situado mais perto do limite da JV com um traçado em forma de um oito vertical.

Ao utilizar um Kite para rebocar um barco, o vento que age sobre a JV é de fato uma soma vetorial do vento atmosférico e o vento gerado pela velocidade do barco. Na maioria dos casos, estas direções não coincidem.

A posição angular exata da JV resulta do vento incidente na JV, que é o vento relativo que age no navio, na altura em que o Kite voa. O vento atmosférico experimentado no próprio navio é inferior ao vento atmosférico em uma altura onde o Kite voa.

#### 2.1.4 Influência da Altura de Voo do Kite

A velocidade do vento atmosférico geralmente é considerada laminar, acima da superfície d água, com condições de arrasto do vento perto da superfície do mar e por ondas (rugosidade do mar) os quais diminuem o vento perto da superfície do mar. Este efeito foi estudado por Troen, que expressa uma função logarítmica para a velocidade do vento atmosférico em função da altura sobre o mar:

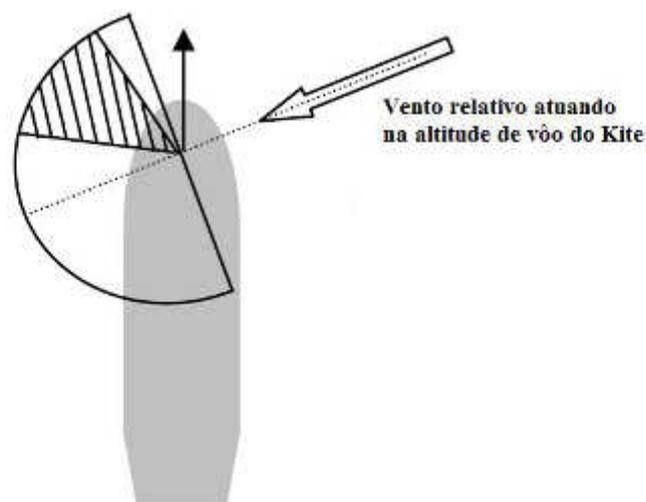
$$W_z = C_{log} * \ln \frac{z}{z_0} \quad (9)$$

$$C_{log} = \frac{u_{ref}}{\ln \frac{z_{ref}}{z_0}} \quad (10)$$

$W_z$	vento atmosférico em uma altura z do mar m/s
$C_{log}$	fator de correção logarítmico referenciado
$z$	altura em qual o Kite voa m
$z_0$	rugosidade do mar em função da altura de ondas
$u_{ref}$	vento atmosférico obtido em medição em altura referencial m/s
$z_{ref}$	camada referencial (por exemplo, 10 metros) m

A Figura 7 mostra uma vista de cima no navio e JV para um vento aparente incidente no navio de cerca  $75^\circ$  medido com a direção do curso do navio. Dependendo da direção do vento relativo efetivo no navio é possível determinar uma área para posicionar o Kite dentro da JV indicada para gerar forças de tração em direção do curso do navio, considerando o fato de nos limites extremos da JV pode haver turbulências, A Figura 9 mostra a área de posicionamento do Kite na prática em navios indicada pela região marcada.

Figura 9: Localização da área em qual o Kite pode gerar forças propulsoras adequadas



Fonte: Naaijen, Koster [2007]

Para conseguir o melhor desempenho na obtenção de força de tração do Kite em direção do curso do navio é conveniente dirigir o Kite em um percurso mais inclinado e perto do limite lateral da JV que o percurso mostrado na Figura 6.

A definição da altura mais adequada é função dos fatores:

- variação da força de tração ao longo de um percurso na JV
- variação da velocidade do vento atmosférico com a altitude
- variação da força de tração horizontal em consequência da variação do ângulo do cabo de reboque com o plano horizontal

Para poder estimar o efeito da variação de altitude do Kite sobre a velocidade e a força de tração do Kite em direção do curso do navio ( $X_{\text{Kite}}$ ) foram feitos vários testes com Kites que

percorreram percursos orbitais, variando suas altitudes de voo. Serão mostrados alguns detalhes destes testes mais adiante.

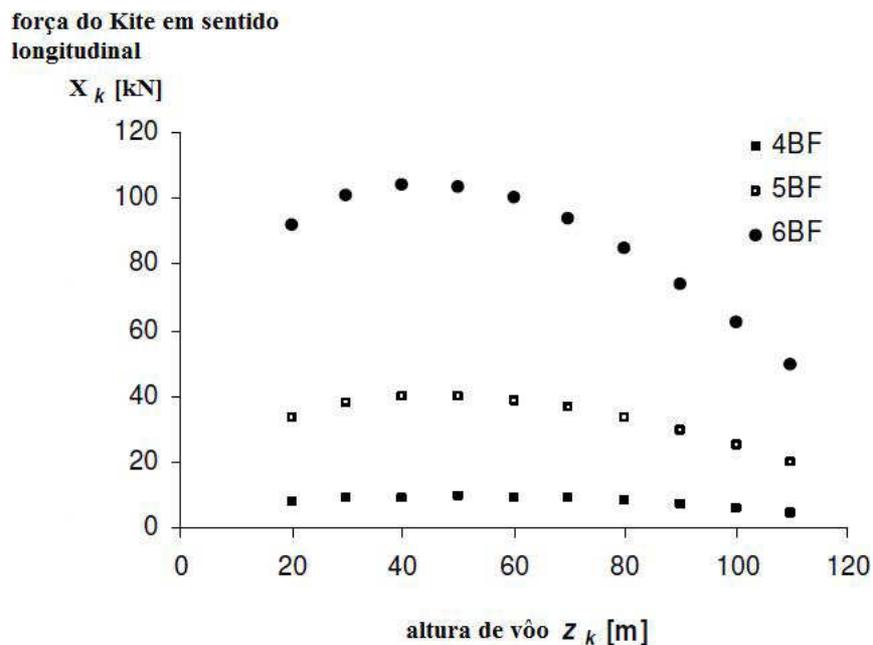
Naaijen, Koster [2007] relata, que dados experimentais foram colhidos considerando comprimento de cordas de reboque de 150 m, 350 m e 550 m e em três diferentes condições de velocidade de vento na escala Beaufort. A Figura 10 expõe os resultados dos testes com um cabo de 150 m de comprimento ressaltando que

$$4BF = 19,7 - 28,7 \text{ km/h}$$

$$5BF = 28,7 - 38,8 \text{ km/h}$$

$$6BF = 38,8 - 49,9 \text{ km/h}$$

Figura 10: Gráfico Força do Kite x Altura do voo x Velocidade do Vento



Fonte: Naaijen, Koster [2007]

Naaijen, Koster [2007] sugere, que a altitude de voo do Kite mais indicada para gerar o máximo de força de tração em direção do curso do navio se localiza entre 27 e 33% do comprimento do cabo de reboque. Este valor tende a diminuir com ventos mais elevados.

Estes valores foram obtidos com uma direção do vento atuando diretamente da proa. Cálculos similares mostraram que o valor para a altura de voo do Kite é o mesmo, se o vento atmosférico incide de outras direções.

### 2.1.5 Janela de Vento de Kites instalados em pequenos Barcos

A verificação da validade dos estudos publicados para a JV de Kites em grandes navios para pequenas embarcações não foi encontrada na pesquisa bibliográfica. É verificado que o efeito sobre o momento azimuthal da força do Kite sobre o casco não é desprezível em pequenas embarcações como proposto por Naaijen, Koster [2007] para navios de grande porte.

As Figuras 11, 12 e 13 mostram o efeito sobre o deslocamento radial da Janela de Vento em diferentes rumos. O deslocamento radial é definido pelas velocidades do vento atmosférico e da embarcação.

Figura 11: Exemplo da Posição de vetores envolvidos na navegação Onwind (Vento de Través)

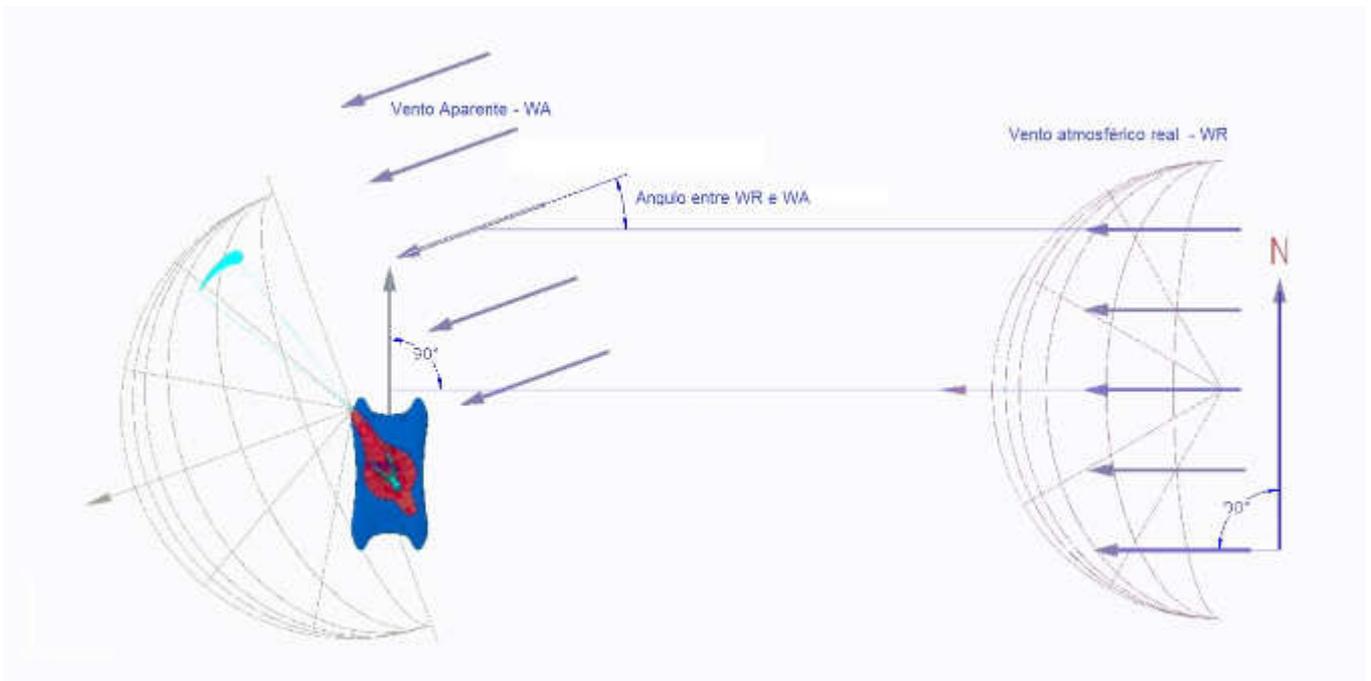


Figura 12: Exemplo da Posição de vetores envolvidos na navegação Upwind (Contravento)

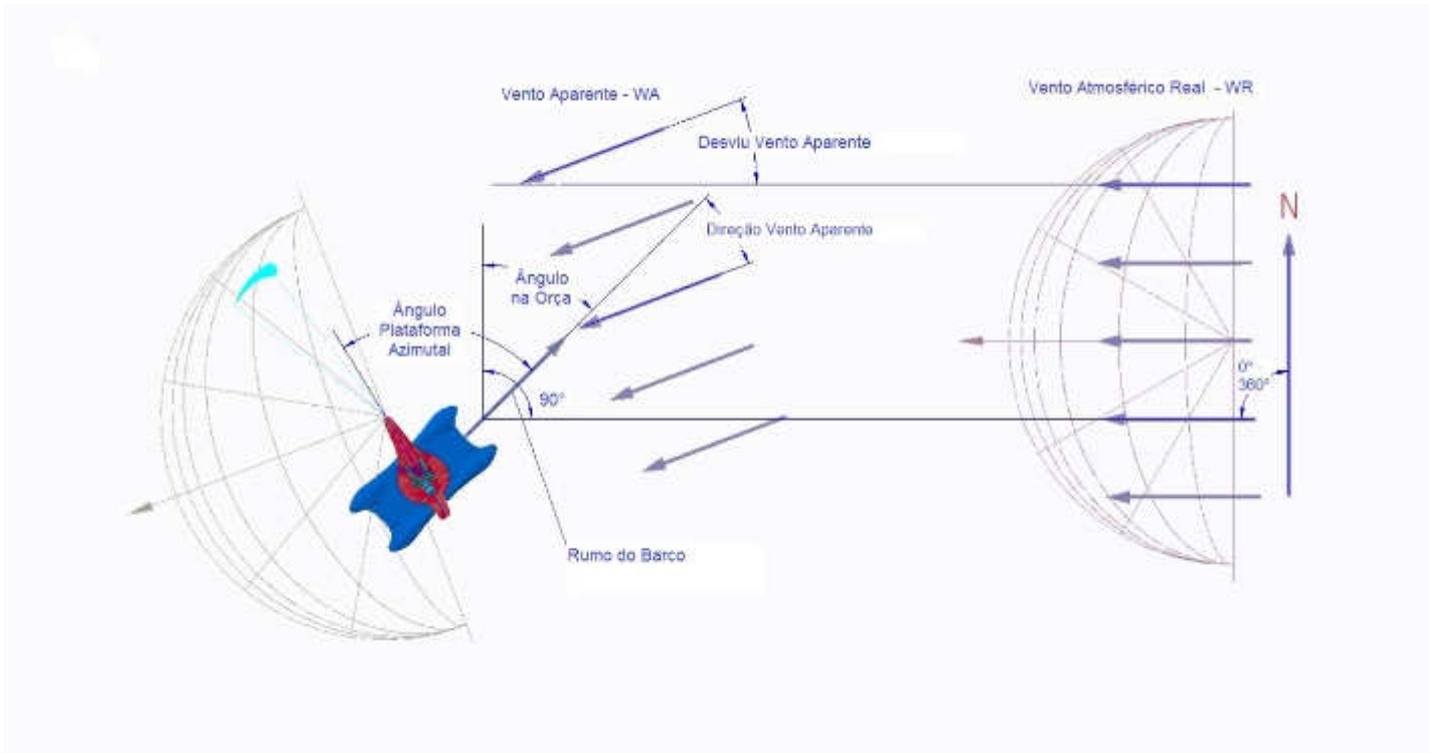
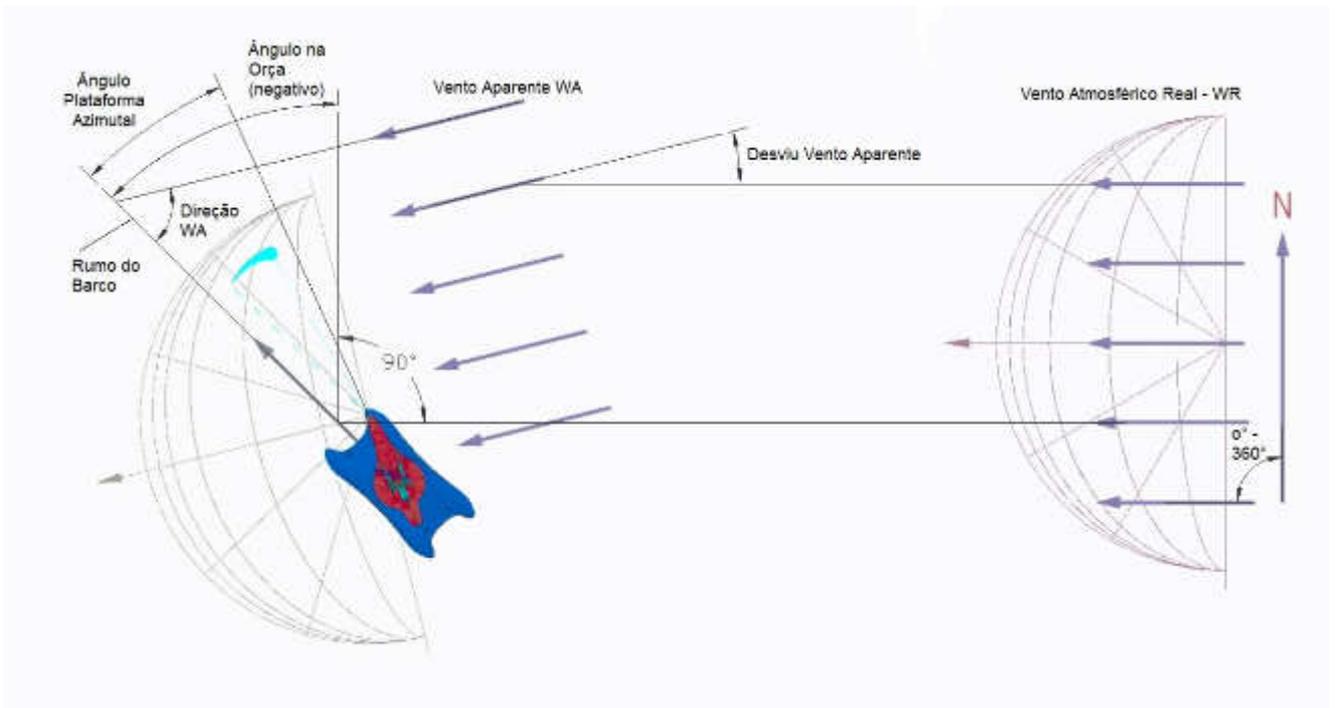


Figura 13: Exemplo da Posição de vetores envolvidos na navegação Downwind (Vento de Alheta)

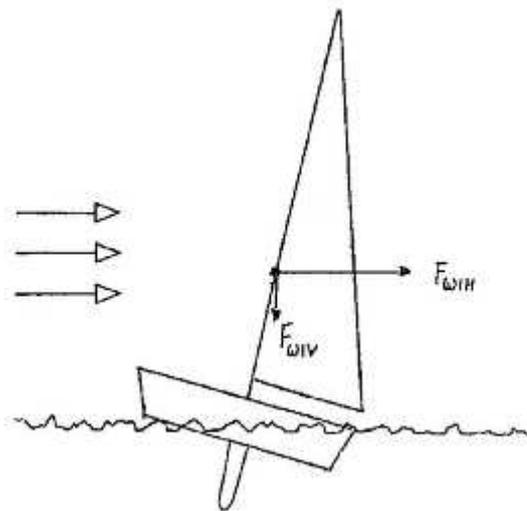


## 2.2 Dispositivo de controle de Kite embarcado

A forma como o empuxo do Kite age se diferencia fundamentalmente da forma como velas convencionais agem. Em um barco veleiro tradicional, a força do vento captada pelas velas tende a inclinar o barco em direção de sotavento. Com ventos mais fortes, o veleiro inclina-se mais e ao inclinar-se a área efetiva da vela diminui.

A Figura 14 mostra esquematicamente o exemplo em qual o veleiro sofre a ação de vento lateral vindo da esquerda representado pelas três setas paralelas. A simples substituição da vela com o mastro por alguma construção contendo o ponto de apoio e controle para um Kite na posição original do mastro é desaconselhável, pois as forças do Kite podem frequentemente provocar capotagem da embarcação.

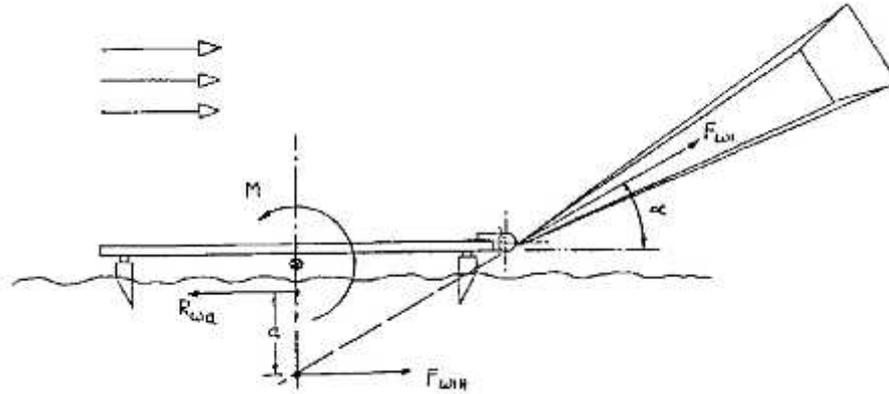
Figura 14: Forças geradas por vento lateral em Barco Veleiro



Fonte: Lundgren [2001]

A Figura 15 mostra um desenho de um projeto no qual as forças do Kite são desviadas para um ponto mais favorável, impedindo qualquer capotagem.

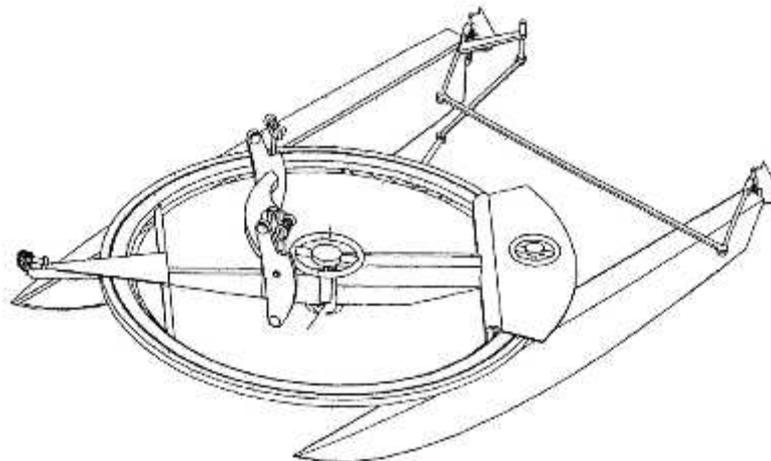
Figura 15: Forças geradas por vento lateral em Barco com propulsão por Kite



Fonte: Lundgren [2001]

A aplicação deste princípio implica um conceito de uma plataforma rotativa na qual é montado o assento para o piloto e os controles do barco e do Kite. A Figura 16 mostra exemplarmente o projeto de um barco equipado com um mecanismo capaz de desviar as forças do Kite para uma posição continuamente favorável.

Figura 16: Mecanismo em Embarcação para captação adequada de forças motrizes geradas por Kites



Fonte: Lundgren [2001]

Com base neste desenho foi construído, a partir de 2001, um protótipo que comprovou o bom funcionamento do conceito na prática. Na Figura 17 percebem-se detalhes construtivos incluindo um anel estrutural para permitir a rotação da superestrutura. Foram utilizados dois flutuadores de *Hobie Cat 16*. A Figura 18 mostra este protótipo em operação regular utilizando um Softkite de 12 metros quadrados de área curvada.

Figura 17: Foto de Protótipo de Embarcação movida por Kites testada em 2004



Figura 18: Foto do Protótipo em operação em Almere, Holanda em 2004



Com base nas experiências obtidas em testes práticos com o primeiro protótipo experimental adaptado, surgiu a necessidade do desenvolvimento de um barco com desenho próprio para atender às características do tracionamento por Kites. Uma das características fundamentais na utilização de Kites é a possibilidade de movimentar a embarcação de modo bidirecional. Para atender a esta característica, o desenho do segundo protótipo do modelo real mostrado na Figura 19 inclui de forma inovadora a ampla bidirecionalidade.

Figura 19: Foto do Modelo Experimental de Barco tracionado por Kite concluído em 2008



O Mock-Up ou modelo do segundo protótipo, que é um modelo na escala 1:1 (Fig. 17) pode servir como base para o desenvolvimento de um terceiro barco, ultraleve e funcional utilizando as novas tecnologias testadas nos protótipos e modelo anteriores. A tecnologia aplicada na fabricação do modelo do protótipo ocorreu em alto grau artesanal, resultando em grande peso desnecessário e infiltrações devido às tolerâncias processuais inerentes à fabricação artesanal.

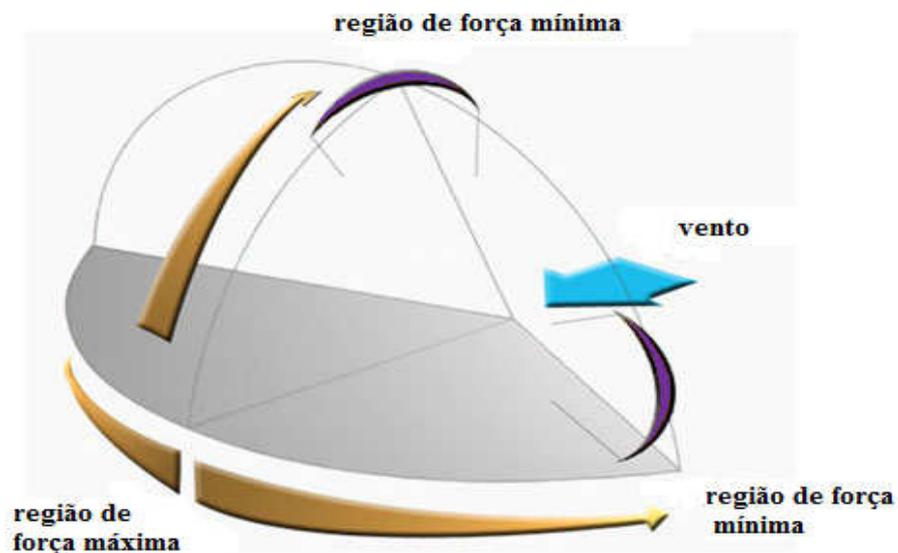
### 2.2.1 Características e Aplicações de Kites na Área Naval

O desenvolvimento de barcos e navios que utilizam como propulsão principal e/ou auxiliar um *Kite* concentra-se em duas áreas tecnológicas complementares. A aerodinâmica dos *Kites* interagindo com a hidrodinâmica do casco e por outro lado os mecanismos controladores dos sistemas mecânicos.

Desde os meados do século vinte, várias tecnologias de planadores tipo asa delta e paraquedas vêm sendo desenvolvidas com objetivos militares ou pelo interesse desportista. A partir dos anos setenta apareceram dispositivos diminuídos com tecnologia baseada em planadores e paraquedas dirigíveis, com a finalidade de serem utilizados como aparelhos de esporte e lazer. São parecidos com pipas, porém com capacidade e comportamento aerodinâmico de asas. O nome para pipa em inglês, “Kite”, vem, desde os anos 80, sendo utilizado para denominar pipas dirigíveis seguradas por pelo menos duas linhas. Essas pipas serão doravante chamadas apenas de Kites. Esses consistem em aparelhos aerodinâmicos que se comportam como asas apresentando perfil aerodinâmico.

Uma das características dos Kites consiste na geração de sustentação quase perpendicular ao vento. Outra capacidade consiste na dinâmica da movimentação ou dirigibilidade do Kite dentro de limites geométricos denominados “Janela de Vento” (Figura 20). A forma da Janela de Vento apresenta formato levemente truncado de um quarto de uma esfera.

Figura 20: Gradiente das Forças de Kites em Janela de Vento



A Figura 20 mostra esquematicamente a Janela de Vento de um Kite. São também representados dois Kites em duas posições arbitrárias dentro da Janela de Vento, cada um com duas linhas partindo de suas extremidades, apontando para o centro da janela do vento representado pelo ponto onde as linhas retas se encontram, onde se posiciona também o controle do Kite. Essa Figura mostra também duas escalas das forças exercidas pelo Kite considerando o posicionamento estático do Kite em determinado local dentro da Janela de Vento. Além das forças estáticas é possível a geração de forças dinâmicas adicionais pela movimentação controlada do Kite dentro da Janela de Vento.

As aplicações do uso de Kites estenderam-se para muitos campos desportivos. É também muito utilizado em expedições árticas e na neve para ajuda no tracionamento de trenós. Nos anos 90 surgiu em larga escala o “Kitesurfing”, esporte que utiliza *Kites* com até vinte e cinco metros quadrados de área para puxar uma pessoa posicionada em uma prancha de surf (Figura 21). A sustentação gerada pode superar o peso do surfista, causando controlados pulos e/ou voos que podem durar vários segundos (Figura 22).

Figura 21: Foto de Kitesurfista em percurso Onwind



Figura 22: Foto de Kitesurfista durante Execução de Manobra



Em 2009, a empresa “*Skysails*”, da Alemanha, testou o tracionamento de um navio cargueiro de cerca 120 metros de comprimento com um sistema utilizando um Kite de 200 metros quadrados (Figura 23) com o intuito de apresentar uma forma de economizar combustível em navios de porte. Outras aplicações navais estão sendo desenvolvidos por um crescente número de institutos de pesquisa, empresas e pessoal qualificado na Europa, nos Estados Unidos, na Nova Zelândia e no Brasil, com objetivos parcialmente idênticos, isto é: a utilização de Kites na área naval. Dependendo da aplicação e do comprimento da embarcação,

sejam pequenos barcos esportivos, tração auxiliar para iates ou até para navios, a utilização de *Kites* apresenta um campo vasto de pesquisa e desenvolvimento diferenciado.

Figura 23: Foto do Navio "Beluga" equipado com Propulsão Auxiliar por Kite



Fonte: [www.skysails.com](http://www.skysails.com)

### **2.2.2 Efeito de Quilhas em Embarcações tracionados por Kites**

As quilhas constituem hidrofólios verticais com perfil de asa simétrica, desenhadas para oferecer mínima resistência hidrodinâmica em direção da velocidade do barco, e máxima resistência na direção perpendicular à velocidade do barco. O efeito das quilhas é comparável à analogia de trilhos abaixo da superfície, nos quais as quilhas mantêm o barco.

O efeito hidrodinâmico de quilhas gera grandes vantagem para o manuseio e a estabilidade de barcos. Matematicamente, a quilha gera um vetor de forças elevado, que na prática transforma as coordenadas das forças aerodinâmicas atuantes através das velas, em coordenadas direcionadas fisicamente coincidentes com a direção das quilhas.

O efeito é eficiente, porem não é perfeito: Todo barco e navio sofre uma determinada deriva (drift) que depende da eficácia do desenho da quilha e varia para cada barco e para cada

velocidade usualmente entre 5 até 20% da distancia percorrida em direção do barco. Um Trenó Veleiro velejar no gelo (Figura 22) e quase não apresentar deriva, pois suas quilhas são formadas por arestas afiadas.

Uma aplicação com três quilhas construídos para funcionar com hidrofólios atuantes também na direção vertical é o barco Frances “Hydroptère”, que alcançou uma velocidade acima de 100 km/h

[ <http://www.youtube.com/watch?v=rRuLpZoTioQ&NR=1&feature=fvwp> ] .

Basicamente o efeito conhecido na aerodinâmica como “Analogia do barco veleiro” toma como base o efeito de quilhas, desprezando-se o drift do barco. Para estudos aerodinâmicos do efeito dos ventos e forças atuantes em velas e asas servem da mesma forma outros tipos de veículos movidos por velas ou asas, tais como trenós veleiros (Figura 24) e veículos terrestres equipados com velas.

Figura 24: Foto de trenó veleiro em operação



Fonte: [www.google.com](http://www.google.com) = " eissegler "

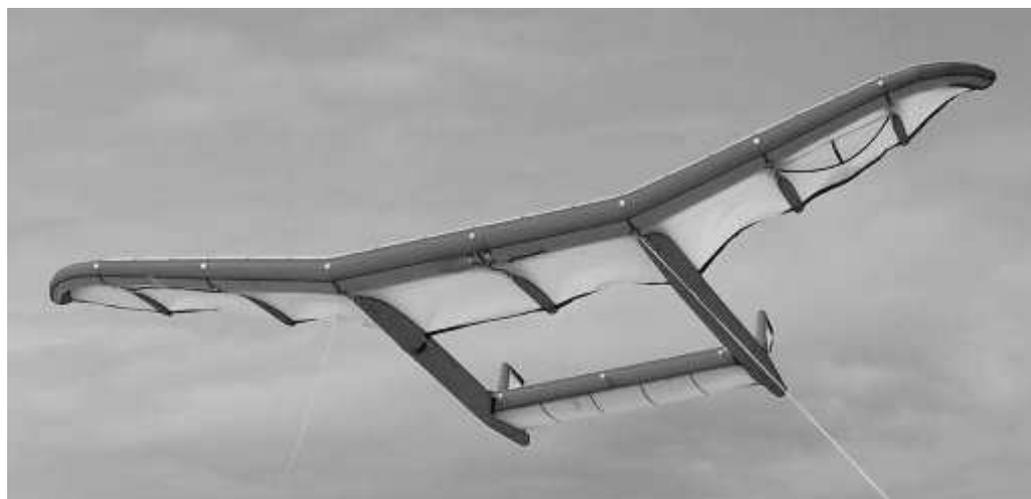
### 2.2.3 Tipos de Kites na área Naval

A utilização de Kites no mar diferencia-se da utilização de Kites em terra. Se o Kite, devido a algum imprevisto, cai no mar, ele deve não afundar, além de apresentar a capacidade de novamente decolar, caso esteja na água.

Dois tipos de conceito de construção básicos de Kites têm se sobreposto: os denominados “*TubeKites*” e os “*SoftKites*”. Praticamente não se encontram mais Kites do tipo Delta pelo fato de não “re-decolar” da água em caso de queda e apresentar potencial aerodinâmico inferior aos outros.

O *TubeKite* apresenta uma estrutura de tubos de tecido com bexigas infláveis com ar comprimido para estabilizar a forma aerodinâmica do Kite. Quando este Kite cai dentro d água, ele não afunda. Os *TubeKite* modernos utilizados por uma maioria dos kitesurfistas apresentam sistemas de alavancas das cordas que facilitaram a re-decolagem da água. A forma dos Tubos infláveis com ar pressurizado permite a realização de formas complexas dos Kites. Um exemplo de *TubeKites* é exposto na Figura 25.

Figura 25: Exemplo de Kite com Tubos inflados com ar pressurizado



Fonte: Terink, 2009

O *SoftKite* também chamado *Ram-air-Kite* apresenta uma estrutura de bolsas infláveis pelo próprio vento em forma de uma asa, com duas superfícies. A frente deste Kite apresenta regularmente aberturas em suas bordas de ataque para estabelecer uma pressão maior no

interior do Kite e manter a forma aerodinâmica. O Kite utilizado no navio mostrado na Figura 23 apresenta as típicas bolsas abauladas e as aberturas típicas de um SoftKite.

#### **2.2.4 Razão entre Força de Tração do Kite e Massa da Embarcação**

O projeto de um barco de apenas quatro metros de comprimento apresenta massa total pequena comparado com o empuxo gerado por um Kite em condições de vento forte e pode exceder o peso da embarcação. A utilização de linhas de material sintético expandiu os limites das possíveis forças máximas captadas pelo Kite. Linhas do material Dyneema ou Spectra atualmente, com dois mm de diâmetro apresentam resistência à ruptura de ca. 3.700 N, com diâmetro de 3 mm a tensão de ruptura é de 11.000 N.

Para a utilização de um grande Kite em navios não aparecem este tipo de reações extremas [Naajen, Koster 2007]. O empuxo do Kite se situa numa faixa abaixo de 5% da massa do navio.

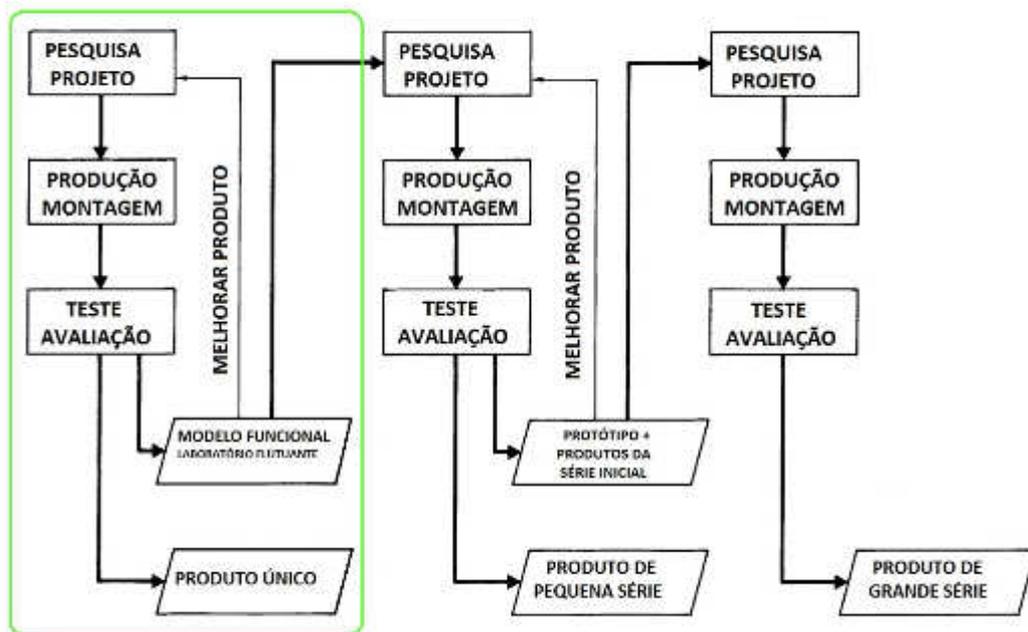
Em lanchas e iates a relação de peso e empuxo do Kite pode ser não crítica, porém pode causar reações bruscas no conjunto hidrodinâmico da embarcação.

### 2.3 Procedimento geral para Desenvolvimento e Construção de Produtos

A Organização básica do Projeto segue o conceito para projetos de produtos inovadores apresentado por Pahl e Beitz [2004].

Dentro de uma visão que extrapola o âmbito puramente acadêmico, o processo de projetar um barco movido por Kite direcionado para o público apresenta uma continuação das atividades acadêmicas, pois esta termina com a fabricação e utilização do barco laboratório enquanto que o projeto comercial envolve etapas subsequentes de aprimoramento e aperfeiçoamento de processos de fabricação como mostrado na Figura 26. A fabricação de um barco único para servir de laboratório flutuante diferencia-se da fabricação em pequena série ou em larga escala.

Figura 26: Ambito acadêmico do projeto (quadro verde) em relação com o contexto comercial geral



Fonte: Pahl & Beitz [2004]

### 2.3.1 Método de Desenvolvimento de Sistemas

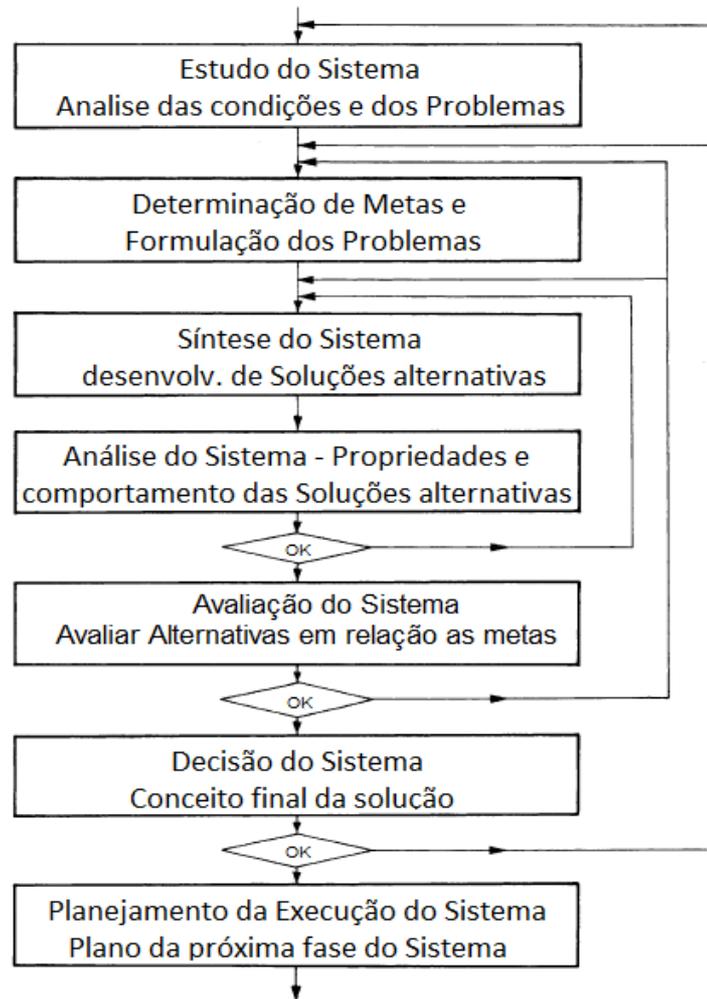
Para a criação e desenvolvimento contínuo do barco bidirecional tracionado por Kite é necessário a utilização de uma metodologia adequada. É indispensável que sejam considerados os fatores determinantes que influenciam o projeto e especificar indicadores para avaliar o desempenho da embarcação. No presente caso, estes fatores são descritos a seguir:

- Bom desempenho no mar
- Estética (Design)
- Segurança
- Ergonomia
- Manufatura
- Logística e transporte do barco em rodovias etc.
- Utilização e manuseio do barco na praia
- Manutenção
- Reciclagem
- Descarte
- Custo de produção

Observa-se que não há recursos ilimitados para elaborar sistemas experimentais, os quais ainda não foram aprovados em testes no mar. Desta forma é possível que o projeto de um barco protótipo utiliza-se de técnicas de manufatura inapropriadas para serem utilizadas em um barco destinado ao público, o projetista deve optar por soluções economicamente viáveis sem comprometer os recursos ao ponto de desacelerar o processo.

Dentro da embarcação tracionada por Kites, verifica-se a presença de diversos sistemas mecânicos, os quais integram o barco. A Figura 27 mostra a interdependência das sequências no desenvolvimento e aprimoramento destes sistemas de forma que a embarcação consiga atingir os fatores determinantes que influenciam o projeto.

Figura 27: Fluxograma do Método de Desenvolvimento e Sistemas



Fonte: Pahl & Beitz [2004]

A sequência de atividades mostrada na Figura 25 enfrenta tomada de decisões em qual alguma qualidade é avaliada. Com avaliação positiva o processo segue para o próximo estágio, com avaliação negativa, o processo retorna para um estágio anterior. Este processo recursivo caracteriza o projeto para os atuais sistemas incorporados no barco tracionado por Kite e forma a base para análise, planejamento, processos decisivos e otimização .

As definições das condições iniciais e/ou finais geralmente modificam-se com o tempo (por exemplo por causa de desenvolvimentos apresentados por outros pesquisadores etc). O projetista deve manter-se informado e estar ciente, que os desafios tecnológicos não são idênticos com as tarefas.

O Processamento de Informações envolve as etapas:

- Análise
- Síntese
- Raciocínio
- Combinação
- Desenvolvimento de Conceitos
- Cálculo
- Experimentos
- Elaborando e corrigindo esboços e desenhos
- Avaliando Soluções

Pahl & Beitz [2004] sugerem, que de forma geral os Métodos Recorrentes são constituídos por:

- Análise
- Abstração (simplificação, Generalização, Dispensar)
- Síntese (elaborar Correlações)
- Método de Perguntas específicas
- Método da Negação de Soluções de Detalhes e Concepção nova
- Método do Avanço múltiplo
- Método dos múltiplos Passos para trás
- Método da diminuição da Complexidade por Divisão em partes
- Método Variação sistemática de Parâmetros
- Divisão de Tarefas e Cooperação

A aplicação desta metodologia básica possibilitou o desenvolvimento estruturado e contínuo do protótipo, apesar de dificuldades e imprevistos durante a execução do projeto, a fabricação e os testes.

### 2.3.2 Metodologia do Projeto de Barco tracionado por Kite

Para simplificar a abstração exibida na Figura 25, podemos tomar como exemplo o desenvolvimento do sistema de posicionamento angular da plataforma rotacional integrado no barco experimental.

O desafio tecnológico consistia na apresentação de um sistema de guiagem do barco, que necessita o controle do posicionamento angular da plataforma rotacional relativo ao casco flutuante.

A tarefa inicial que resulta deste desafio consiste no desenvolvimento de um ou mais sistemas mecânicos que possam proporcionar o controle direcional do barco de forma efetiva e segura.

Pela análise da operação do navegador percebe-se duas distintas tarefas:

1 – modificar o ângulo da plataforma rotacional para efetuar mudanças no rumo do barco através de esforço físico do usuário

2 – manter (travar) o ângulo da plataforma rotacional para superar longas distâncias com o mesmo rumo sem causar cansaço físico ao usuário.

Com estas tarefas detalhadas definidas foi possível a determinação dos requisitos, neste caso foi considerada uma força disponível de 200 N para ação braçal e de 500 N para acionamento pelas pernas do usuário.

No próximo passo foram analisadas as possíveis soluções mecânicas: tracionamento por corrente, engrenagens cônicas, engrenagens retas ou angulares, tracionamento por correias ou por cabos. Todas opções poderiam gerar sucesso nesta fase. O fator dos custos indicou a realização inicial de um sistema por tracionamento através de cabo com 12 mm de diâmetro que necessitaria de construção de um anel cônico no convés além de dois guias para passagem do cabo até a posição adequada para o manuseio do usuário. Esta solução constituiu o primeiro pré-projeto, foram definidas as dimensões das peças e esta solução foi executada como projeto integral. As peças ainda foram adaptadas e o posição das argolas modificadas para não interferir com outros elementos durante o movimento angular completo.

O passo final seria a prática na operação do novo sistema com o barco no mar sujeito as condições de movimentos complexos e acelerações bruscas. Nestes testes foram encontradas falhas fundamentais inerentes á solução e após análise foi concluído, que o sistema para operação do controle direcional do barco por cabo não ofereceu a confiabilidade operacional necessária.

Desta forma houve um retrocesso na solução do sistema: Apesar de apresentar custo baixo, o acionamento por cabo no posicionamento da plataforma rotacional teve que ser descartado e o projeto retornou ao estágio de procura de soluções e estruturas.

Na segunda tentativa optou-se pela divisão dos sistemas para satisfazer as duas tarefas: um sistema utilizando engrenagens retas para posicionamento braçal e outro sistema, também através de engrenamento com dentes retos para travar e destravar através de acionamento por pedal. Logicamente, este sistema se tornou mais complexo em suas estruturas e o custo para fabricação é superior, mas a realização não ficou inalcançável e durante os testes no mar, este sistema apresentou o funcionamento adequado com ótima confiabilidade, possibilitando o avanço do projeto para outros sistemas mecânicos.

### **Capítulo 3 – Desenvolvimento Metodológico do Projeto**

Em grandes partes, o projeto e a construção do barco seguiu basicamente as recomendações da União de Engenheiros da Alemanha, a VDI- Richtlinien [VDI-Richtlinie 1997]. O projeto do barco movido por Kite se enquadra nas VDI-Richtlinien, mas outros sistemas e métodos para projetos poderiam levar a resultados equivalentes.

Segundo Pahl & Beitz [2005], a Análise científica dos sistemas tecnológicos e respectivo ambiente para estabelecer regras para desenvolvimento de componentes é denominada Ciência do Projeto. Por outra parte, a Metodologia de Projeto consiste no procedimento planejado com instruções concretas provenientes da Ciência do Projeto combinado com a experiência e intuição do projetista, desta forma é possível elevar o grau de Inovação. Pahl & Beitz apresentam métodos para diminuir a dependência do fator intuitivo, o qual não se encaixa de maneira clássica na elaboração de soluções tecnológicas, em quais as tarefas de projeto e desenvolvimento estejam nitidamente definidos.

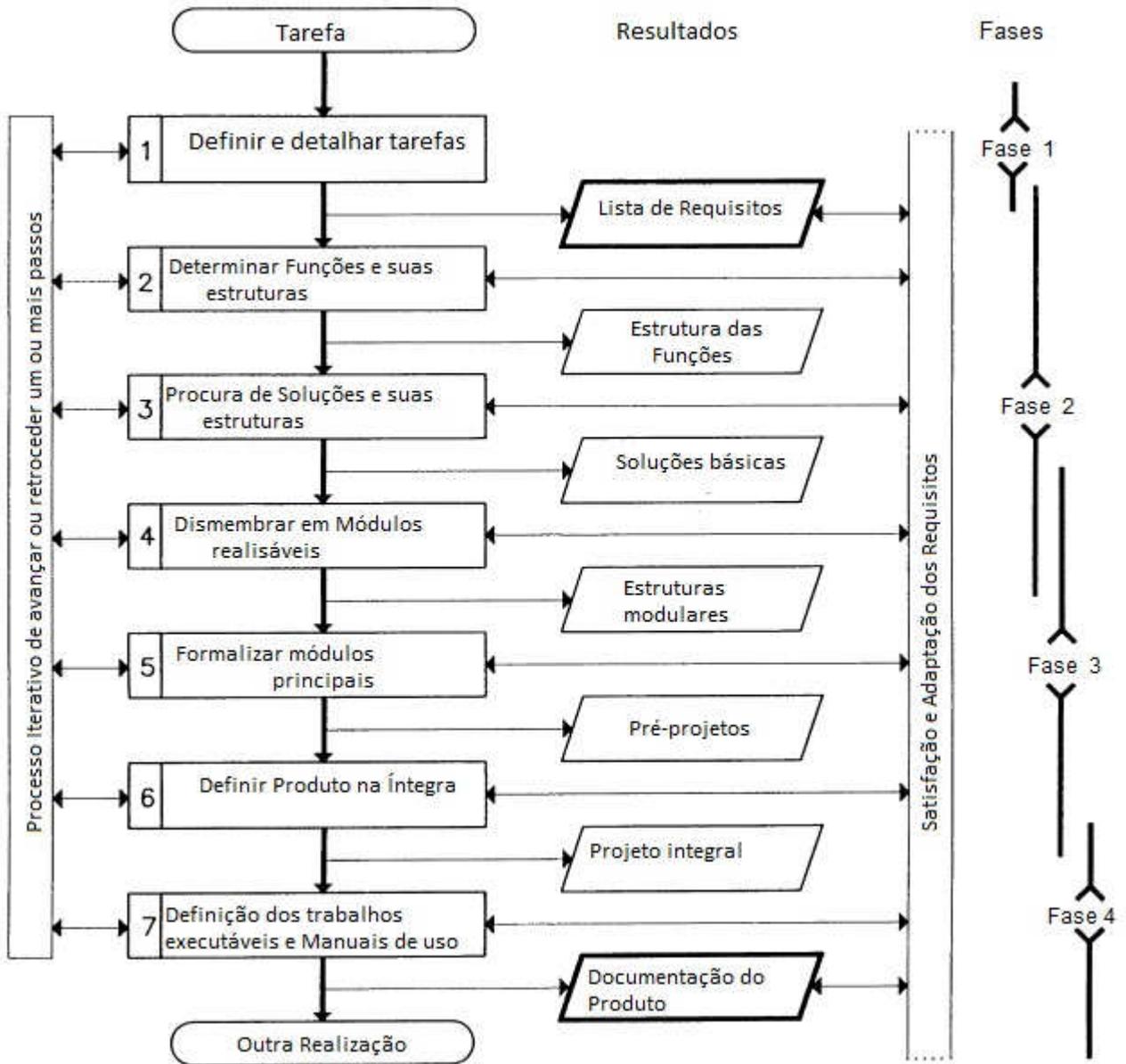
A seguir são descritos os métodos de projetos que são utilizados no presente trabalho incluindo o projeto geral e os métodos de projetos dos mecanismos e do casco.

#### **3.1 Procedimento geral no Desenvolvimento e Projeto do Produto**

A Figura 28 mostra a recomendação publicada pelo VDI (Verband Deutscher Ingenieure - União de Engenheiros Alemães) para elaboração de projetos inovadores.

De acordo com Pahl & Beitz, este fluxograma é aplicável a projetos de inovação tecnológica em todos os setores das Engenharias. Serve para promover a inventividade e conhecimentos e facilitar novas soluções. É compatível com métodos e conhecimentos de outras disciplinas. Serve para gerar soluções não apenas aleatoriamente. Permite transferir soluções para tarefas parecidas, é adequado para utilização computacional, o ensino deste método é compreensivo, facilita os serviços, economiza tempo e evita decisões erradas, através da cooperação dos funcionários.

Figura 28: Recomendação das VDI-Richtlinien para Projetos Inovadores



Fonte: VDI-Richtlinien 2222

A idéia básica deste método consiste em facilitar o processo de criação através do planejamento e controle de equipe interdisciplinar e gerar princípios e orientação para gestores e as equipes de desenvolvimento.

Considerando o gráfico acima o projeto do Barco Bidirecional tracionado por Kite é projetado levando em consideração as Fases 1, 2 e o início da Fase 3, tendo em vista que as Fases 3 e 4 consideram atividades não acadêmicas do projeto:

### **3.1.1 Aplicação do Procedimento geral no Projeto de Barco movido por Kite**

Aplicando a VDI-Richtlinien 2222 mostrado na Figura 28 para o projeto e a manufatura de um protótipo de um barco experimental, serão considerados as Fases 1, 2 e parte da Fase 3

### **3.1.2 Fase 1**

#### **Nível 0: Tarefa fundamental**

Construir e manufaturar Barco com capacidade de transportar seguramente duas pessoas para fins de esporte e lazer, com as características:

- A - propulsão por Kite
- B - operação do barco bidirecional
- C - operação manual

#### **Nível 1: Definir e detalhar Tarefas:**

- A- conexão das linhas do Kite diretamente no barco
- B - elaborar mecanismo de controle direcional do barco
- C - definir as dimensões do barco
- D - definir posição (localização no barco) do piloto e do acompanhante

#### **Lista de requisitos:**

- A1 - Controle direcional do Kite montado no barco
- A2 - Controle do ângulo de ataque do Kite montado no barco

- A3 - Conexões das linhas do Kite no barco equipado com desconectores de segurança
- A4 - Fácil operação pelo piloto
- B1 - Capacidade de percorrer cursos na orça
- B2 - Capacidade de mudança intencional do curso do barco com pouca latência (tempo de resposta reduzido)
- B3 - Capacidade de modificar a velocidade escalar do barco (frear ou acelerar)
- B4 - Fácil operação pelo piloto
- C1 - Flutuação adequada - estabilidade intacta
- D1 - O piloto deve manter contato visual com o Kite
- D2 - Conforto adequado para o piloto e o passageiro

### **3.1.3 Fase 2**

#### **Nível 2: Determinar Funções e Estruturas**

A1.1 - As duas linhas traseiras do Kite controlam a direção do voo do Kite através da variação do comprimento relativo entre elas. É necessário integrar um sistema mecânico na embarcação para possibilitar a variação do comprimento das linhas traseiras do Kite. É possível optar por apenas o encurtamento de uma das linhas (ação simples) ou por um sistema de ação dupla com o encurtamento de uma das linhas e ao mesmo tempo prolongamento da outra linha traseira. O sistema de ação dupla oferece reação na mudança de direção do voo do Kite mais rápida que o sistema de ação simples. O controle de direção do Kite apresenta dinâmica contínua devido á falta de uniformidade do vento incidente no Kite - o sistema de controle direcional do Kite é operado continuamente pelo piloto.

A2.1 - A maioria dos Kites utiliza duas linhas "de força" conectadas na borda frontal do Kite. O ângulo de ataque do Kite determina a possibilidade do Kite de alcançar velocidades elevadas dentro da Janela de Vento (ângulo de ataque reduzido ou zero) ou movimentação lenta com diminuição da região da Janela de Vento (ângulo de ataque elevado). O ângulo de ataque do Kite pode ser revertido proporcionando a capacidade de voar "para trás" - esta habilidade pode ser útil em caso de o Kite ter pousado (acidentalmente ou intencionalmente) na água. O controle do ângulo de ataque do Kite é realizado com a modificação do comprimento relativo das linhas dianteiras do Kite em relação às linhas traseiras. Na prática a frequência da modificação do ângulo de ataque é inferior ao controle direcional do Kite (A1.1) - o piloto não precisa modificar continuamente o ângulo de ataque do Kite durante um curso estabelecido - isto é necessário apenas em manobras pontuais ou para melhorar o desempenho do Kite com ventos fracos. É necessário integrar ao barco um sistema que possibilita a variação controlada do comprimento relativo entre as linhas dianteiras e traseiras. Isto pode ser alcançado através de sistema que permite a redução ou o aumento simultâneo do comprimento relativo das duas linhas traseiras em relação às linhas dianteiras. Outra possibilidade é a integração de sistema que possibilita a redução ou o aumento simultâneo do comprimento relativo das linhas dianteiras em relação às linhas traseiras.

A3.1 - Por questões de segurança e para facilitar a conexão das linhas do Kite no barco antes de iniciar a navegação é necessário instalar pelo menos dois sistemas paralelos de conectores integrados no barco. Estes conectores/ desconectores devem permitir a desconexão de urgência de inicialmente três das quatro linhas e em casos extremos permitir, que também a quarta e última linha do Kite seja desconectada. A conexão ou a desconexão são requisitos primordialmente de segurança e não são utilizados em navegação regular.

A4.1 - Os sistemas descritos em A1.1, A2.1 devem estar localizados de forma que o piloto tenha acesso permanente e confortável durante a navegação. Os sistemas descritos em A3.1 devem estar localizados em posição adequada para que seja acionado rapidamente pelo piloto.

B1.1 - O barco bidirecional deverá ser equipado com sistema de controle direcional adequado. Basicamente podem ser consideradas duas opções:

1: uso de leme(s). Observa-se que lemes requerem profundidade de água adequada, a função bidirecional exige considerações especiais sobre o perfil dos lemes, é necessário projetar um conjunto de peças móveis robustas o suficiente para suportar erros de navegação tais como navegação em águas rasas e impacto dos lemes no fundo do mar. Ainda devem ser manipulados após o lançamento do barco da praia (águas rasas) para serem acionadas em águas suficientemente profundas.

2. Alternativa para o sistema de controle direcional, consiste em deslocamento do ponto de aplicação das forças de tração do Kite ao longo do eixo longitudinal do barco. Esta função pode ser exercida por diferentes sistemas por meio de translação ou através de sistemas de rotação instalados no barco.

B2.1 - Ambas alternativas descritas em B1.1 oferecem possibilidade de manobrar o barco satisfatoriamente, considerando o dimensionamento adequado dos sistemas.

B3.1 - É possível projetar o sistema de controle do Kite adaptado para realizar diminuição da força motriz do Kite ou também a reversão. O controle de direção do Kite deve ser projetado para operar em conjunto com o controle direcional do barco.

B4.1 - O sistema de controle direcional do barco deve ser posicionado no barco de forma que permite acesso permanente e confortável ao piloto, considerando a força física humana limitada para operá-lo.

C1.1 - Volume do casco adequado para operar no mar e suportar o peso total do barco incluindo piloto e passageiro. A forma do casco deve proporcionar fácil manuseio na praia (leveza) e conter uma quilha bem desenvolvida para permitir a navegação em cursos na orça. Podem ser considerados monocascos ou multicascos.

C1.2 - Visto de cima o centro de gravidade do piloto e passageiro deve se localizar próximo ao centro de gravidade do barco (equilíbrio e estabilidade intacta)

C1.3 - Visto de lado o centro de gravidade do piloto e passageiro devem se localizar o mais baixo possível (estabilidade intacta)

D1. - O assento do piloto deve mover-se acompanhando a movimentação do Kite.

D2.1 - O encosto dos assentos do piloto e passageiro devem ser projetados para assegurar conforto e segurança.

### **Nível 3: Procura de Soluções e suas Estruturas**

SA1.1 - É possível instalar uma barra de direção para controle direcional do Kite apoiada em posição adequada no barco em seu centro, permitindo movimento de vasculhamento desta barra. As linhas traseiras do Kite são conectadas nas extremidades da barra, a qual é montada permitindo movimento angular limitado. Outra possibilidade é a utilização de laços conectados ao final das linhas traseiras os quais são manipulados continuamente pelo piloto. Esta solução inibe o piloto de realizar outras tarefas como operar o controle do ângulo de ataque do Kite ou o controle direcional do barco.

SA2.1 - Deve ser projetado sistema para manipular o comprimento relativo das linhas traseiras e dianteiras do Kite. As duas alternativas descritas em A2.1 oferecem vantagens e desvantagens: Ao prolongar ou encurtar as linhas dianteiras o sistema mecânico pode ser projetado de forma relativamente simples: É necessário apenas considerar os dispositivos de desconexão das linhas descritas em A3.1. No entanto as linhas dianteiras são consideradas linhas de força do Kite, isto é: as forças de tração do Kite podem superar a capacidade humana de manipulá-las e assim sendo é necessário

incluir no projeto um sistema que permite ao piloto manipulá-lo com sua força física limitada. A outra alternativa consiste na manipulação do comprimento relativo das linhas traseiras. Durante a navegação regular, as linhas traseiras não exercem muita força de tração e a operação do sistema pelo piloto é adequada quanto á força física do piloto. No entanto o projeto desta alternativa envolve complexidade muito superior, pois além da integração do sistema de desconexão das linhas do Kite ainda devem permitir o manuseio da direção do Kite exercida pela variação do comprimento relativo das linhas traseiras do Kite descritas em A1.1.

SA3.1-Dispositivos de conexão e desconexão de linhas com boas funcionalidades podem ser adquiridos no mercado de peças marítimas ou projetadas.

SA4.1-Cristaliza-se a alternativa de projetar uma plataforma montada em cima do casco flutuante que apresenta um (1) grau de liberdade em relação ao casco, isto é rotação azimutal. O princípio da plataforma azimutal está descrita na patente publicada pelo autor. Nesta plataforma azimutal serão instalados os assentos (encostos) do piloto e passageiro assim como os controles do Kite descritos em A1.1, A2.1 e A3.1. Esta opção permite também que possa ser realizado um layout dos sistemas para corresponder á função descrita em A4.1.

SB1.1- É possível integrar na plataforma azimutal, descrita acima, também o controle direcional do barco parecido com o projeto apresentado na patente, deslocando o ponto de aplicação das forças do Kite para um ponto fora do eixo vertical central do barco. É necessário considerar que o movimento azimutal da plataforma modifica durante a navegação o ponto de aplicação das forças do Kite relativo ao eixo longitudinal do barco gerando forças (momentos) sobre a plataforma azimutal. Estas forças podem facilmente exceder a capacidade humana de controlá-las diretamente e para isto devem ser tomadas medidas para que haja possibilidade de manuseio da posição azimutal da plataforma pelo piloto.

SB2.1- A instalação de lemes se torna complicada e desnecessária ao utilizar o sistema da plataforma azimutal. O controle direcional através do deslocamento do ponto de aplicação da força do Kite ao longo do eixo longitudinal é eficaz e menos susceptível

á quebra durante a navegação, tanto regular como em situação perto da praia em águas rasas.

SB3.1- A plataforma azimutal descrita em SA4.1 com as características descritas em SB11 e SB21 pode ser projetada de forma para satisfazer B3.1.

SB4.1- A plataforma azimutal descrita em SA4.1 com as características descritas em SB11 e SB21 pode ser projetada de forma para satisfazer B4.1.

SC1.1- Fica definida a utilização de uma embarcação multicasco do tipo catamarã por apresentar a possibilidade de integrar a plataforma azimutal sobre o convés. Uma vez definida, é possível estipular a capacidade total necessária de flutuação e o volume total dos flutuadores para assegurar a estabilidade.

SC1.2- Os assentos do piloto e do passageiro são instalados na parte central da plataforma azimutal.

SC1.3- A plataforma azimutal deve ser constituída com assentos localizados o mais baixo possível, sem prejudicar a hidrodinâmica, isto é: em operação regular não deve ser afetada por ondas.

SD1.1- Sendo o assento parte integral da plataforma azimutal, o piloto sempre terá a visão voltada para o Kite.

SD2.1- O encosto deve apresentar uma inclinação adequada para que o piloto possa acompanhar a movimentação do Kite, o qual pode ser dirigido desde algum local perto d'água até a região acima do barco. A inclinação do encosto deve ser regulável entre 60 e 45 graus.

### **3.1.4 Fase 3**

#### **Nível 4: Desmembrar em módulos realizáveis**

Para assegurar o funcionamento requerido é possível determinar os principais elementos constituintes do barco movido por Kite:

- Casco flutuante – catamarã

- Plataforma azimutal
- Acoplamento da plataforma Azimutal no casco flutuante
- Sistema para direção do barco
- Sistema de trava da plataforma azimutal
- Sistema para controle do Kite
- Assento e encosto

Tabela 1: Funções e Soluções dos Módulos realizáveis

Módulos realizáveis	Funções e Estruturas	Soluções e suas Estruturas
Casco flutuante	B1.1, C1.1, C1.2, C1.3	SB1.1, SC1.1, SC1.2, SC1.3
Plataforma azimutal	B1.1-2, B4.1, D2.1	SA4.1, SB1.1, SB2.1, SB3.1, SB4.1
Acoplamento da plataforma Azimutal	B1.1, B2.1, B3.1, B3.2	SA4.1, SB1.1, SB2.1, SB3.1, SB4.1
Sistema para direção do barco	C1.1, B2.1, B4.1, D2.1	SA4.1, SB1.1, SB2.1, SB3.1, SB4.1, SC1.1
Trava da plataforma azimutal	B1.1, B2.1, B3.1, B4.1	SB1.1, SB2.1, SB3.1
Sistema para controle do Kite	B1.1, B2.1, B3.1, D2.1	SA1.1, SA2.1, SA3.1, SA4.1
Assento e encosto	C1.1, C1.2, C1.3, D1.1, D2.1	SC1.2, SC1.3, SD1.1, SD2.1

Com a extensão do projeto definida, é possível estabelecer as atividades para projetar o casco e a plataforma azimutal com seus conjuntos de mecanismos. É necessário levar em consideração a infraestrutura para produção e logística da produção. Tendo a possibilidade de terceirizar a produção, o projeto mecânico do barco protótipo deve ser mantido flexível ao ponto de permitir adaptações casuais devido a limitações impostas pelos processos produtivos em uso.

## **3.2 Casco**

O barco protótipo é composto do casco e a plataforma azimutal, a qual integra os mecanismos de controle do Kite e o controle direcional da embarcação. Devido as características únicas do voo do Kite, optou-se por um casco bidirecional. O casco não necessita de mecanismos móveis senão a plataforma azimutal. O mecanismo de direcionar o barco em determinado rumo é localizado na plataforma azimutal, o barco equipado com a presente tecnologia dispensa o uso de lemes.

A manufatura do casco é terceirizada na empresa de fabricação e manutenção de barcos veleiros „Jacaremarine“ localizada em Cabedelo/PB. A escolha da Jacaremarine levou em consideração a experiencia na prática de construção de barcos veleiros em material composto.

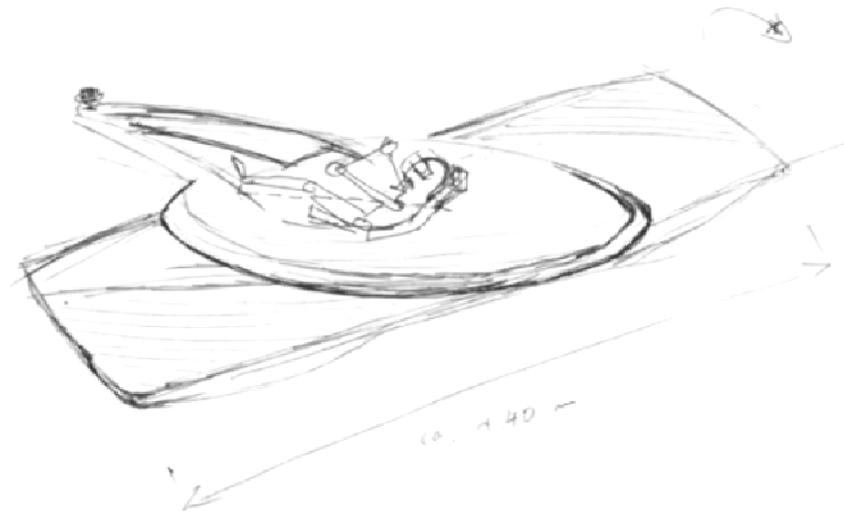
A procura de empresa com experiencia, qualificação e capacidade para realizar a manufatura na região metropolitana do Recife foi frustrante: Nenhuma das empresas dispostas a realizar a manufatura utiliza tecnologias de laminação a vácuo. Desta forma optou-se por uma laminação simples do casco, mesmo sem as tecnologias avançadas que seriam necessárias para obter peso baixo.

O peso do barco diminui as velocidades alcançadas da embarcação mas não impede a análise das funções mecânicas introduzidas no presente trabalho.

### **3.2.1 Forma**

Os primeiros desenhos do barco protótipo foram elaborados em 2004 pelos desenhistas industriais Alberto Stasiukynas e Monique Polous (Figuras 29 – 31), ambos com moradia na Alemanha. Posteriormente, o desenho foi adaptado para assegurar o empuxo necessário para a operação segura no mar. Também tiveram de ser adaptados outros componentes devido a técnicas de laminação disponível.

Figura 29: Desenho elaborados pelo desenhista Alberto Stasiukynas



Inicialmente não foi determinado o comprimento final da embarcação, mantendo uma liberdade artística para os desenhistas. Foram elaborados diversos estudos pelos desenhistas citados acima, houve considerações estilísticas e o processo evolutivo até a forma finalizada é exemplificada nas Figuras a seguir:

Figura 30: Desenho da vista lateral elaborado por Alberto Stasiukynas

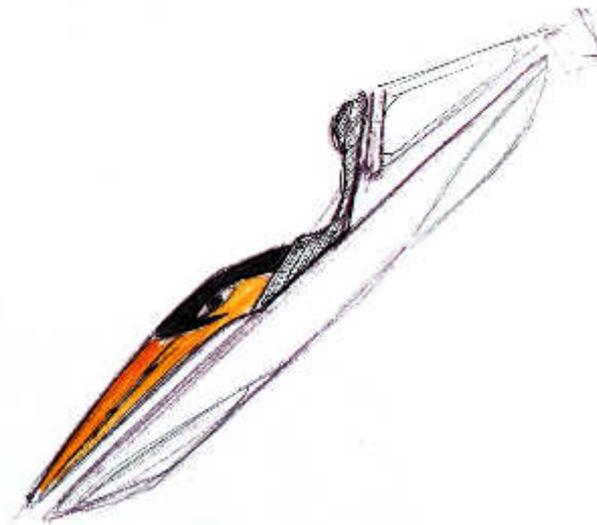
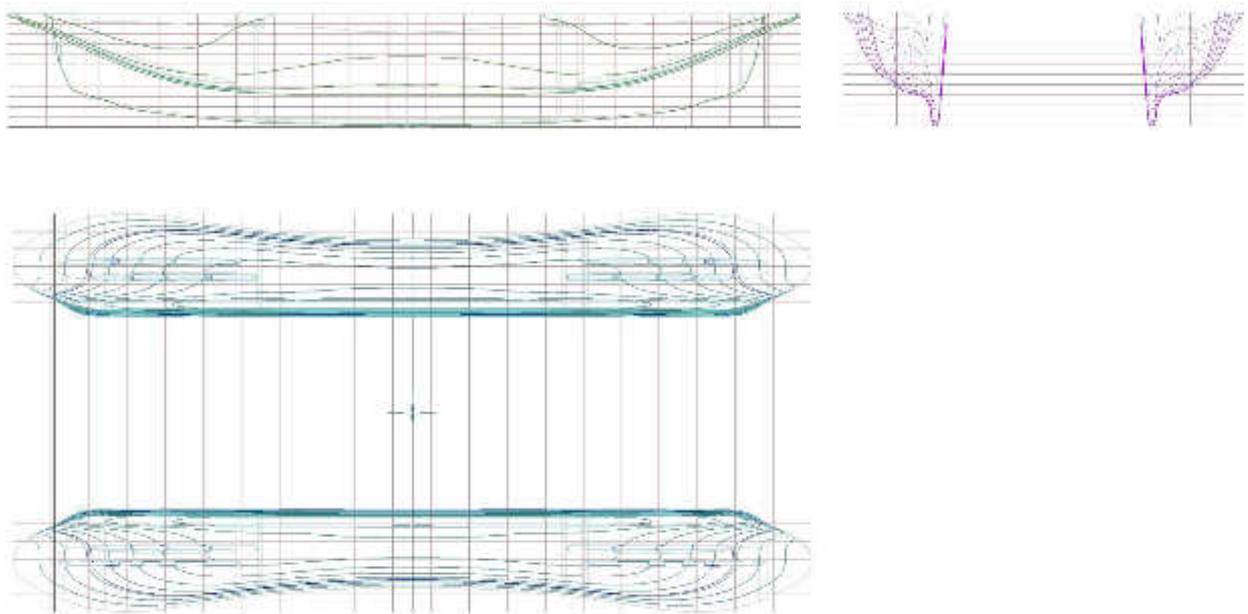


Figura 31: Desenho conceitual elaborado pela desenhista industrial Monique Polous



Os desenhos conceituais deram origem ao desenvolvimento de um casco novo. Verifica-se que os conceitos iniciais ainda apresenta um leme, o que posteriormente mostrou-se desnecessário, uma vez que a tecnologia com base na plataforma azimuthal dispensa este equipamento. A Figura 32 mostra as três vistas com planos de linha elaboradas para a fabricação da nova embarcação.

Figura 32: Planos de linha das três vistas do casco



### 3.2.2 Estimativa de Peso

Avaliação preliminar de peso leve

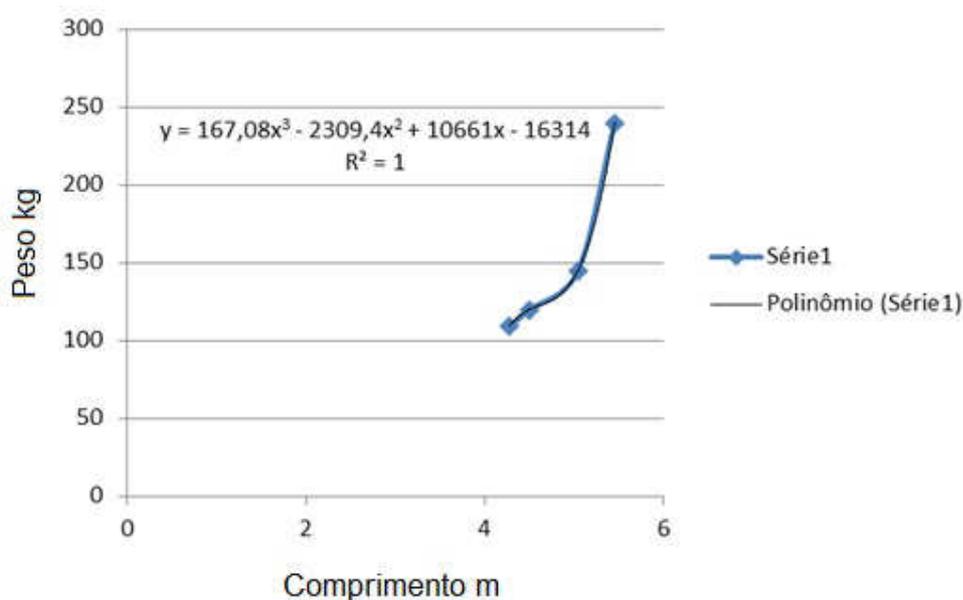
Para estabelecer o peso leve preliminar do barco e elaborar os cálculos de estabilidade e equilíbrio foram pesquisados os valores dos pesos de barcos veleiros construídos em fibra de vidro com comprimento próximo á 4 metros. Estes são apresentados na seguinte Tabela 2:

Tabela 2: Comparação de Pesos e Medidas de barcos veleiros

Descrição	Comprimento	Peso leve kg	Referência
Hobie Cat 14´	4,27m	109	<a href="http://www.hobiecat.com/forums/viewtopic.php?f=17&amp;t=12786">http://www.hobiecat.com/forums/viewtopic.php?f=17&amp;t=12786</a> - acesso em 05-02-2015
Hobie Cat 16´	5,04m	145	<a href="http://www.hobiecat.com.br/sail/hobie-16/specs/">http://www.hobiecat.com.br/sail/hobie-16/specs/</a> - acesso em 05-02-2015
Wild Cat	5,45m	240	<a href="http://www.hobiecat.com/sail/wild-cat/specs/">http://www.hobiecat.com/sail/wild-cat/specs/</a> - acesso em 05-02-2015
Alizan (monohull)	4,5m	120	<a href="http://sailboatdata.com/viewrecord.asp?class_id=6994">http://sailboatdata.com/viewrecord.asp?class_id=6994</a> - acesso em 05-02-2015

A regressão realizada com a dados obtidas e a fórmula para o cálculo estimado do barco protótipo é mostrado na Figura 33 a seguir:

Figura 33: Regressão matemática da Relação entre peso e comprimento de Barcos



Extrapolando os valores de barcos acima podem ser obtido uma estimativa para o peso movido por Kite entre 72 e 95 kg. Devido a diferenças no projeto entre barcos veleiros tradicionais e o novo barco movido por Kite considera-se que devem ser acrescentados até 50% no peso, tendo em vista a utilização de sistemas diferentes (e desconhecidos) daqueles utilizados em barcos tradicionais.

Desta forma consideramos o peso do barco sem passageiro em 140 kg, representando um valor adequado para elaborar os cálculos preliminares de estabilidade e equilíbrio.

### **Avaliação preliminar do peso operacional**

A embarcação é projetada para uso de esporte e lazer e deve levar duas pessoas em regime regular. As condições de carregamento que são consideradas são apresentadas na tabela 3 a seguir:

Tabela 3: Condições de Carregamento da Embarcação

Descrição	Peso leve (kg)	Número de passageiros	Peso de passageiros	Peso operacional
Condição 0: leve	140	0	0	140
Condição 1: com piloto	140	1	80	220
Condição 2: com piloto e 1 passageiro	140	2	160	300
Condição 3: com piloto e carga extraordinária	140	3	240	380

### **Previsão da posição do centro de gravidade na condição leve**

A Figura 34 a seguir mostra a previsão inicial para a altura e posição longitudinal do centro de gravidade, devido ao fato que a presente embarcação não tem semelhantes, é realizada uma estimativa inicial da posição relativa do centro de gravidade na altura do pontal da emparcação, ou seja 0,67 m considerando o peso da plataforma azimutal mais o peso do casco.

Figura 34: Estimativa da localização do centro de gravidade vertical da embarcação leve

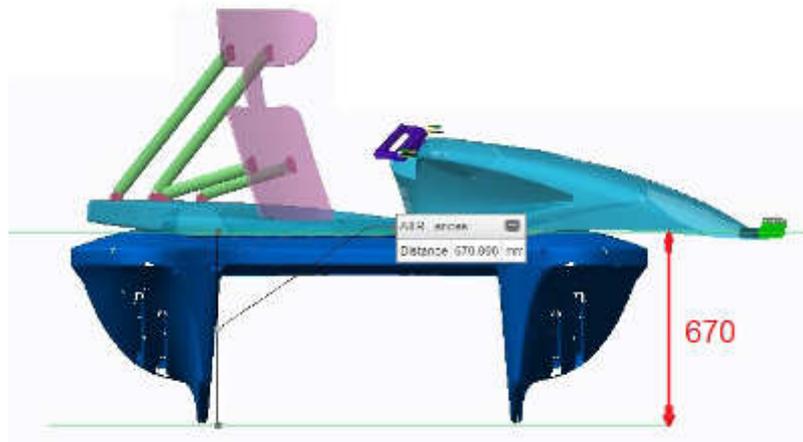


Tabela 4: Dados estimados Condição Leve

No.	Item	Peso (kg)	LCG (m) Em relação à meia nau	KG (m) Em relação à quilha
1	Embarcação	140	0	0,67

LCG ou posição longitudinal do centro de gravidade é considerada na meia nau da embarcação, .

KG ou posição vertical do centro de gravidade é considerado em 0,67m acima da linha base, como mostrado na Figura 35:

### Previsão da posição do centro de gravidade com carregamento

Para determinar o centro de gravidade da embarcação com carga deve ser efetuada a medição estimada do centro de gravidade das cargas, isto é, do piloto mostrado na Figura 35 e calcular a média ponderada dos respectivos centros de gravidade para determinar o centro de gravidade total da embarcação. Para as condições de carga 2 e 3 são consideradas as mesmas posições do Centro de gravidade do piloto.

No presente projeto não é considerado a trimagem da embarcação. A força do kite pode gerar desalinhamentos distintos e dinâmicos da linha d'água durante a navegação. O efeito da

trimagem não pode ser estipulado sem definição da força e da posição do kite além de outros fatores como forma do casco e peso da carga.

Figura 35: Estimativa do centro de gravidade vertical do piloto da embarcação

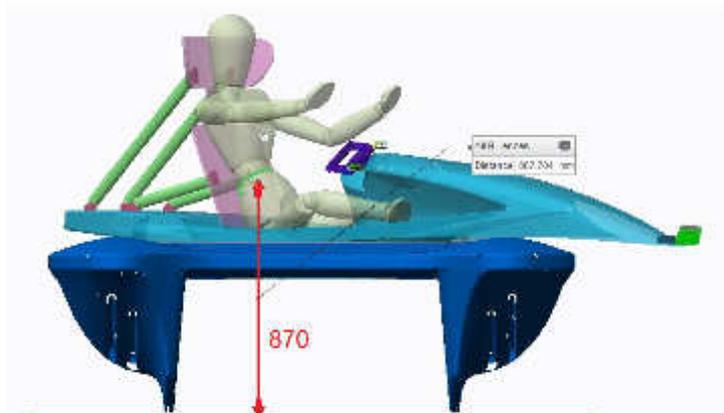


Tabela 5: Previsão da posição do centro de gravidade com piloto

no	Item	Peso (kg)	LCG (m) Em relação à meia nau	KG (m) Em relação à quilha
0	Embarcação	140	0	0,67
1	Piloto	80	0	0,87
	Total	220	0	0,74

Tabela 6: Previsão da posição do centro de gravidade com piloto e 1 passageiro

no	Item	Peso (kg)	LCG (m) Em relação à meia nau	KG (m) Em relação à quilha
0	Embarcação	140	0	0,67
1	Piloto	80	0	0,87
2	Passageiro	80	0	0,87
	Total	300	0	0,78

Tabela 7: Previsão da posição do centro de gravidade na condição excepcional

no	Item	Peso (kg)	LCG (m) Em relação à meia nau	KG (m) Em relação à quilha
0	Embarcação	140	0	0,67
1	Piloto	80	0	0,87
2	Passageiro	80	0	0,67
3	carga excepcional	80	0	0,87
	Total	380	0	0,80

## Características hidrostáticas

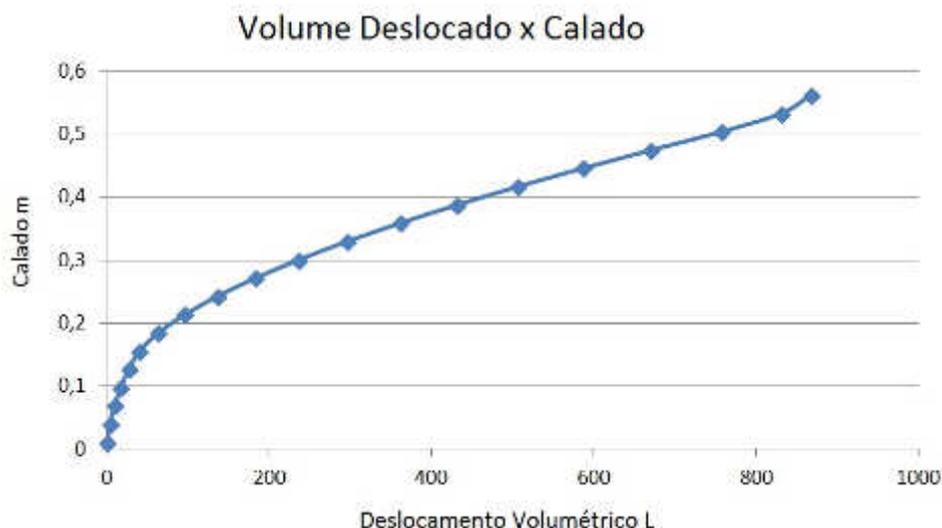
É utilizado o software Maxsurf Stability Advanced x64 19.0 com permissão da Bentley Systems para estabelecer os valores dos parâmetros envolvidos, exibidos nas tabelas 9 e 10. A curva de volume deslocado é determinada e apresentada na seguinte Figura 36.

Os calados obtidos para as condições de carregamento utilizadas são listadas na Tabela a seguir:

Tabela 8: Pesos e Calados em condições leve e carregado

Condição	Peso operacional (kg)	Calado (m)
Condição 0: leve	140	0,246
Condição 1: piloto	220	0,293
Condição 2: piloto e 1 passageiro	300	0,333
Condição 3: piloto e carga excepcional	380	0,368

Figura 36: Curva hidrostática de volume deslocado em função do carregamento total



## Cálculo de arqueação

De acordo com as Normas da Autoridade Marítima para Embarcações empregadas na Navegação Interior NORMAM-02/DPC publicadas pela Marinha do Brasil,

A arqueação bruta (AB) será calculada por intermédio da seguinte expressão:

$AB = K1 V (6)$ , onde:

$K1 = 0,2 + 0,02 \log_{10} V$  (ou conforme tabulado no Anexo 8-E); e

$V =$  volume total de todos os espaços fechados da embarcação, em m<sup>3</sup>.

Obs: os valores obtidos deverão ser arredondados para baixo sem decimais

Vol = 867 litros dividido por 1,025 MAR)

0,846 m<sup>\*\*3</sup>

lg 0,846 = -0,0726

$0,2 + 0,02(-0,0726) = K1 = 0,1985$

$AB = 0,1985 \times 0,867 = 0,1721$

De forma rigorosa, a arqueação do protótipo é igual a zero, pois a norma acima indica, que a arqueação é representada apenas por um número inteiro e os números após a virgula serão truncados.

### **Requisitos legais e regulamentares**

No Brasil os regulamentos relativos a embarcações de esporte e recreio estão descritos na NORMAM 01 e 03 - Normas da Autoridade Marítima de Serviço de Tráfego de Embarcações.

O barco tracionado por Kite é classificado como Embarcação Miúda e apenas embarcações com arqueação bruta acima de 100 são sujeitas a inscrição nas CP/DL/AG. A Arqueação do Barco Protótipo apresenta um valor inferior a 1 (um), representando um valor muito baixo em relação aos requisitos legais, uma vez que embarcações miúdas com arqueação inferior a 50 não são sujeitas a qualquer registro. Não há necessidade de vistorias. Não há requisitos legais a respeito da capacitação do piloto.

Desta forma as exigências legais são cumpridas, contudo que o manuseio do barco segue as instruções de segurança e responsabilidade no tráfego marítimo. Será imperativo o uso de colete salva-vida, e não será permitido o uso do barco em tráfego noturno (o barco não apresenta iluminação).

### 3.2.3 Equilíbrio e Estabilidade

#### Pequenos ângulos

Esta análise é realizada para verificar que a embarcação se encontra flutuando adequadamente em todas as condições consideradas e apresenta uma adequada estabilidade intacta a pequenos ângulos.

Tabela 9: Pesos e Medidas consideradas em 4 condições de carga

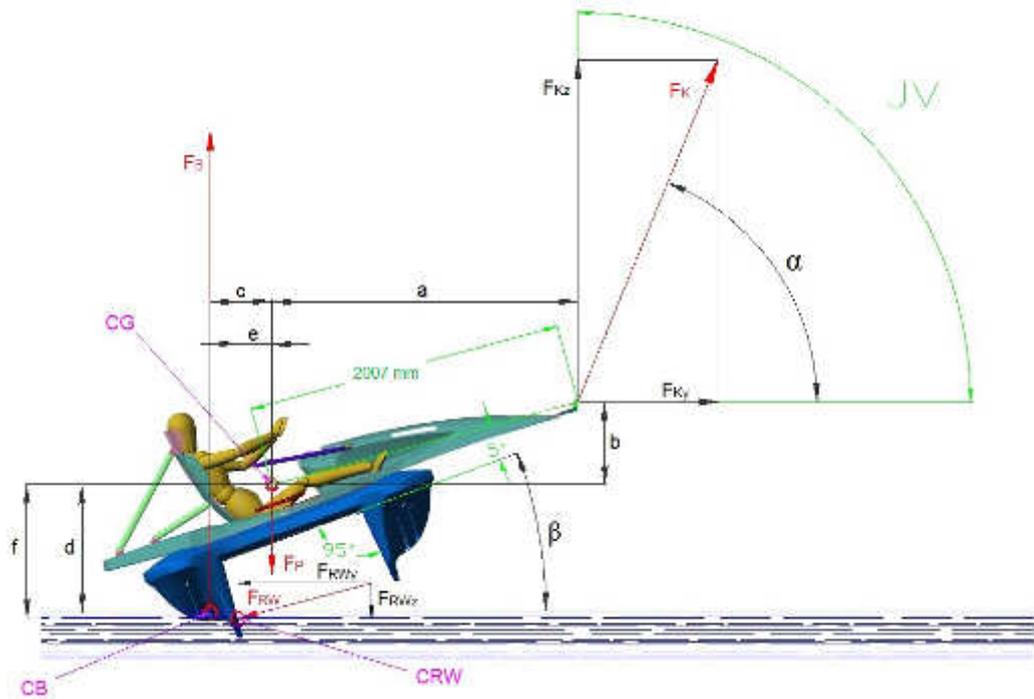
Condição	Peso total kg	Calado (m)	Trimado (m)	GMt (m)	GML (m)	KG fluid (m)	LCG (m)
0 - leve	140	0,246	0	3,938	6,474	0,651	0
1 - piloto	220	0,293	0	3,195	5,658	0,736	0
2 - 2 pessoas	300	0,333	0	2,713	5,167	0,767	0
3 - piloto+carga excepcional	380	0,368	0	2,380	4,848	0,784	0

Os cálculos elaborados por meio do programa Maxsurf Estability Advanced x64 19.0 consideram a embarcação na água, sem forças exercidas pelo Kite. Os valores das alturas metacêntricas transversais GMt e longitudinais GML são elevados o suficiente para determinar que a embarcação apresenta estabilidade.

#### Grandes ângulos

A embarcação será tracionada por Kites com uma força máxima efetiva de 6000 N que representa a capacidade de ruptura das quatro linhas do Kite. Uma característica específica da embarcação consiste na presença de forças geradas pelo Kite para cima. Ainda devem ser considerados, que tanto a posição na Janela de Vento do Kite como sua intensidade da força variam de forma complexa. A Figura 37 mostra um momento em qual o barco levanta o lado sotavento da embarcação devido á força do Kite.

Figura 37: Forças atuantes no Barco Protótipo durante uma Manobra de mudança de rumo



Onde:

- $F_K$  Força exercida pelo kite
- $F_{K_y}$  Projeção lateral da força do kite
- $F_{K_z}$  Projeção vertical da força do kite
- $F_{RW}$  Força resistiva da água
- $F_{R_{wy}}$  Projeção lateral força resistiva
- $F_{R_{wz}}$  Projeção vertical da força resistiva
- CG Centro de gravidade
- CB Centro de volume deslocado
- CRW Ponto para aplicação das forças resistivas
- $\alpha$  ângulo entre a linha principal do Kite e a horizontal
- $\beta$  ângulo entre a linha d'água e a inclinação do barco
- a distância lateral entre centro de gravidade e ponto de saída das linhas do Kite
- b distância vertical entre centro de gravidade e ponto de saída das linhas do Kite

- c distância lateral entre centro de gravidade e centro de flutuação
- d distância vertical entre centro de gravidade e centro de flutuação
- e distância lateral entre centro de gravidade e centro das forças laterais resistivas
- f distância vertical entre centro de gravidade e centro das forças laterais resistivas

A Figura 37 apresenta as forças atuantes de forma simplificada em um dado momento de uma manobra para mudança de rumo do barco bidirecional do presente projeto. Durante a manobra a força do Kite pode efetuar o levantamento do lado sotavento da embarcação. Verifica-se que a forma do lado interior do casco do catamarã não apenas vai gerar forças contrárias ao empuxo lateral do Kite, mas em inclinações acima de 5° a força do arrasto lateral da água vai também atuar no casco com forças no sentido vertical, quase que puxando a embarcação para dentro d'água ( $F_{RWz}$ ).

Antes de iniciar a manobra, a soma das forças laterais não é igual a zero, Com a ação do Kite haverá movimento lateral da embarcação, no entanto as forças resistivas da água impede uma aceleração contínua na direção lateral da embarcação. Após uma fração de segundo a velocidade lateral da embarcação gera resistência igual a componente horizontal da força do Kite.

Desta forma

$$\sum F_y = 0 \quad (11)$$

A soma das forças verticais durante a manobra também não é constante: Durante a manobra a força do Kite aumenta gradativamente e provoca o levantamento do lado sotavento da embarcação.

Do início até a metade da manobra

$$\sum F_z > 0 \quad \rightarrow \quad \sum F_z = 0 \quad (12)$$

Após inicialmente aumentar a força, as forças do Kite diminuem gradativamente na segunda parte da manobra, e

$$\sum F_z = 0 \quad \rightarrow \quad \sum F_z < 0 \quad (13)$$

Em um momento instantâneo no meio da manobra, os momentos exercidos no eixo longitudinal da embarcação é igual:

$$\sum M_x = 0 \quad (14)$$

A aplicação para o barco protótipo mostrado na Figura 36 determina a estabilidade em grandes ângulos:

$$\sum F_y = F_{Ky} + F_{RWy} = 0 \quad (15)$$

$$\sum F_z = F_{Kz} + F_B + F_P + F_{RWz} = 0 \quad (16)$$

$$\sum M_x = |a F_{Kz}| - |b F_{Ky}| - |c F_B| + |e F_{RWz}| - |f F_{RWy}| = 0 \quad (17)$$

Em ângulos  $\beta$  maiores que  $30^\circ$  ou  $35^\circ$  este efeito se torna mais complexo, pois a massa d'água acima da superfície lateral interna da embarcação apresenta efeito hidrodinâmico da superfície d'água. A região molhada no lado de barlavento (Figura 36) na superfície lateral interior sofre acúmulo de água causado pelo movimento lateral da embarcação provocado pela componente lateral da força do Kite.

O centro de flutuação parece que poderia ser determinado facilmente, pois a primeira vista só depende da forma do casco, a carga (peso) e o ângulo de inclinação da embarcação. O efeito da força do Kite aumenta quando o Kite é movimentado em ângulos  $\alpha$  mais elevados. O efeito hidrodinâmico resultante da movimentação lateral do barco protótipo interfere na localização do centro de flutuação. Ainda é de se considerar a movimentação de rotação do eixo vertical da embarcação inerente à manobra.

O desenvolvimento de equações decorrentes da Figura 36 limitadas a faixa de ângulos  $\beta$  entre  $5^\circ$  até  $35^\circ$  e com valores para  $\alpha$  limitados entre  $\beta+15^\circ$  até  $85^\circ$  e considerando simplificações dimensionais é apresentado a seguir. Considerando dimensões aproximadas do barco protótipo obtemos a relação entre carga (peso total) da embarcação, a força do Kite, a inclinação do Kite na Janela de Vento e a inclinação da embarcação.

## Cálculo simplificado da Força do Kite em Manobra de mudança de rumo da embarcação

Considerando as limitações dos efeitos hidrodinâmicos da quilhas, o seguinte desenvolvimento apresenta resultados satisfatórios para ângulos de inclinação da embarcação entre 15° e 30°.

Observa-se que a embarcação apresenta os dados dimensionais inerentes:

- A distancia entre centro de gravidade e ponto de aplicação das forças do Kite, i.é. o ponto de saída das linhas é considerado 2007 mm, o ângulo da linha formada pelo centro de gravidade e o ponto de saída das linhas é -5°, como mostrado na Figura 36.

- As laterais internas dos flutuadores formam um plano inclinado com ângulo de 95° com a direção referencial lateral da embarcação

- centro de gravidade CG, a região do centro do empuxo CB

- centro das forças de arrasto exercidas pela resistencia da agua CRW

Em sistema de coordenadas relativo ao casco do barco,(em posição horizontal) são estipulados:

posição relativa de CG para CB :  $\Delta y = -750$ ,  $\Delta z = -900$   
em coordenadas polares:  $\Delta R = 1171.5775$ ,  $\Delta \theta = 230,1944^\circ$

posição relativa de CG para CRW:  $\Delta y = -510$ ,  $\Delta z = -680$   
em coordenadas polares:  $\Delta R = 850$ ,  $\Delta \theta = 233,1301^\circ$

- o peso do barco protótipo é considerado nas 3 condições de carga:

condição de carga 1: embarcação e piloto	220 kg
condição de carga 2: embarcação e 2 pessoas	300 kg
condição de carga 3: embarcação em condição extrema	380 kg

Partindo de:

$$\sum F_y = F_{Ky} + F_{RWy} = 0 \quad (15)$$

$$\sum F_z = F_{Kz} + F_B + F_P + F_{RWz} = 0 \quad (16)$$

$$\sum M_x = |a F_{Kz}| - |b F_{Ky}| - |c F_B| + |e F_{RWz}| - |f F_{RWy}| = 0 \quad (17)$$

então

$$F_{Ky} = F_K \cos \alpha$$

$$F_{Kz} = F_K \sin \alpha$$

$$a = 2007 \cos(\beta - 5)$$

$$b = 2007 \sin(\beta - 5)$$

$$c = 1171.5775 \cos(230,1944 + \beta)$$

$$d = 1171.5775 \sin(230,1944 + \beta)$$

$$e = 850 \cos(233,1301 + \beta)$$

$$f = 850 \sin(233,1301 + \beta)$$

$$F_P = -220 \text{ (condição de carga 1)}$$

Da equação  $\sum F_y = F_{Ky} + F_{RWy} = 0$  obtemos

$$F_{Ky} = -F_{RWy} \quad \text{e}$$

$$F_{RWy} = -F_K \cos \alpha$$

$$F_{RWz} = -F_K \cos \alpha \operatorname{tg}(\beta - 5)$$

Da equação

$$\sum F_z = F_{Kz} + F_B + F_P + F_{RWz} = 0$$

$$F_K \operatorname{sen} \alpha + F_B + F_P + F_{RWz} = 0 ,$$

obtemos

$$F_B = |F_P| - |F_K \operatorname{sen} \alpha| + |F_{RWz}|$$

Considerando as tres condições de carga

$$F_{P1} = - 220 \text{ kg-f (padrão)}$$

$$F_{P2} = - 300 \text{ kg-f}$$

$$F_{P3} = - 380 \text{ kg-f}$$

$$F_B = -F_P - (F_K \operatorname{sen} \alpha) - (-F_K \cos \alpha \operatorname{tg} (\beta - 5))$$

$$F_{B1} = 220 - F_K \operatorname{sen} \alpha + F_K \cos \alpha \operatorname{tg} (\beta - 5)$$

$$F_{B2} = 300 - F_K \operatorname{sen} \alpha + F_K \cos \alpha \operatorname{tg} (\beta - 5)$$

$$F_{B3} = 380 - F_K \operatorname{sen} \alpha + F_K \cos \alpha \operatorname{tg} (\beta - 5)$$

$$\text{Da equação } \sum M_x = |a F_{Kz}| - |b F_{Ky}| - |c F_B| + |e F_{RWz}| - |f F_{RWy}| = 0$$

$$+ |a F_{Kz}| - |b F_{Ky}| - |c F_B| + |e F_{RWz}| - |f F_{RWy}| = 0$$

com

$$a = 2007 \cos(\beta - 5)$$

$$F_{Kz} = F_K \sin \alpha$$

$$b = -2007 \sin(\beta - 5)$$

$$F_{Ky} = F_K \cos \alpha$$

$$c = 1171.5775 \cos(230,1944 + \beta)$$

$$F_{B1} = 220 - F_K \sin \alpha + F_K \cos \alpha \operatorname{tg}(\beta - 5)$$

$$e = 850 \cos(233,1301 + \beta)$$

$$F_{RWz} = -F_K \cos \alpha \operatorname{tg}(\beta - 5)$$

$$f = 850 \sin(233,1301 + \beta)$$

$$F_{RWy} = -F_K \cos \alpha$$

a equação se torna

$$\begin{aligned} &+ | (2007 \cos(\beta - 5)) * F_K \sin \alpha | \\ &- | - (2007 \sin(\beta - 5)) * F_K \cos \alpha | \\ &- | (1171.5775 \cos(230,1944 + \beta)) * (220 - F_K \sin \alpha + F_K \cos \alpha \operatorname{tg}(\beta - 5)) | \\ &+ | (850 \cos(233,1301 + \beta)) * (-F_K \cos \alpha \operatorname{tg}(\beta - 5)) | \\ &- | (850 \sin(233,1301 + \beta)) * (-F_K \cos \alpha) | = 0 \\ &- | (1171.5775 \cos(230,1944 + \beta)) * (220 - F_K \sin \alpha + F_K \cos \alpha \operatorname{tg}(\beta - 5)) | \end{aligned}$$

Podemos separar com facilidade a força do Kite  $F_K$  em função dos ângulos  $\alpha$  e  $\beta$  e da carga:

$$\begin{aligned} &| F_K * (2007 \cos(\beta - 5)) * \sin \alpha | - \\ &| F_K * (2007 \sin(\beta - 5)) * \cos \alpha | - \\ &| ((1171.5775 \cos(230,1944 + \beta)) * (220) - F_K * ((1171.5775 \cos(230,1944 + \beta)) * \sin \alpha) + F_K * ((1171.5775 \cos(230,1944 + \beta)) * (\cos \alpha \operatorname{tg}(\beta - 5)))) | + \\ &| F_K * ((850 \cos(233,1301 + \beta)) * (\cos \alpha \operatorname{tg}(\beta - 5))) | - \\ &| F_K * ((850 \sin(233,1301 + \beta)) * \cos \alpha) | = 0 \end{aligned}$$

considerando que

$$5^\circ < \alpha < 89^\circ \quad e$$

$$5^\circ < \beta < 38^\circ \quad e$$

$$\alpha > \beta$$

$$- | ((1171.5775 \cos(230,1944 + \beta)) * (220) - F_K * ((1171.5775 \cos(230,1944 + \beta)) * \sin \alpha) + F_K * ((1171.5775 \cos(230,1944 + \beta)) * (\cos \alpha \operatorname{tg}(\beta - 5)))) |$$

=

$$- | (1171.5775 \cos(230,1944 + \beta)) * (220) | + | F_K * ((1171.5775 \cos(230,1944 + \beta)) * \sin \alpha) | - | F_K * ((1171.5775 \cos(230,1944 + \beta)) * (\cos \alpha \operatorname{tg}(\beta - 5))) |$$

obtemos para condição de carga 1:

$$F_K = -((1171.5775 \cos(230,1944 + \beta)) * (220) / ((2007 \cos(\beta - 5)) * \sin \alpha - (2007 \sin(\beta - 5)) * \cos \alpha + |((1171.5775 \cos(230,1944 + \beta)) * \sin \alpha)| - |((1171.5775 \cos(230,1944 + \beta)) * (\cos \alpha \operatorname{tg}(\beta - 5)))| - (850 \cos(233,1301 + \beta)) * (\cos \alpha \operatorname{tg}(\beta - 5)) + ((850 \sin(233,1301 + \beta)) * \cos \alpha) )$$

Para condição de carga 2:

$$F_K = -((1171.5775 \cos(230,1944 + \beta)) * (300) / ((2007 \cos(\beta - 5)) * \sin \alpha - (2007 \sin(\beta - 5)) * \cos \alpha + |((1171.5775 \cos(230,1944 + \beta)) * \sin \alpha)| - |((1171.5775 \cos(230,1944 + \beta)) * (\cos \alpha \operatorname{tg}(\beta - 5)))| - (850 \cos(233,1301 + \beta)) * (\cos \alpha \operatorname{tg}(\beta - 5)) + ((850 \sin(233,1301 + \beta)) * \cos \alpha) )$$

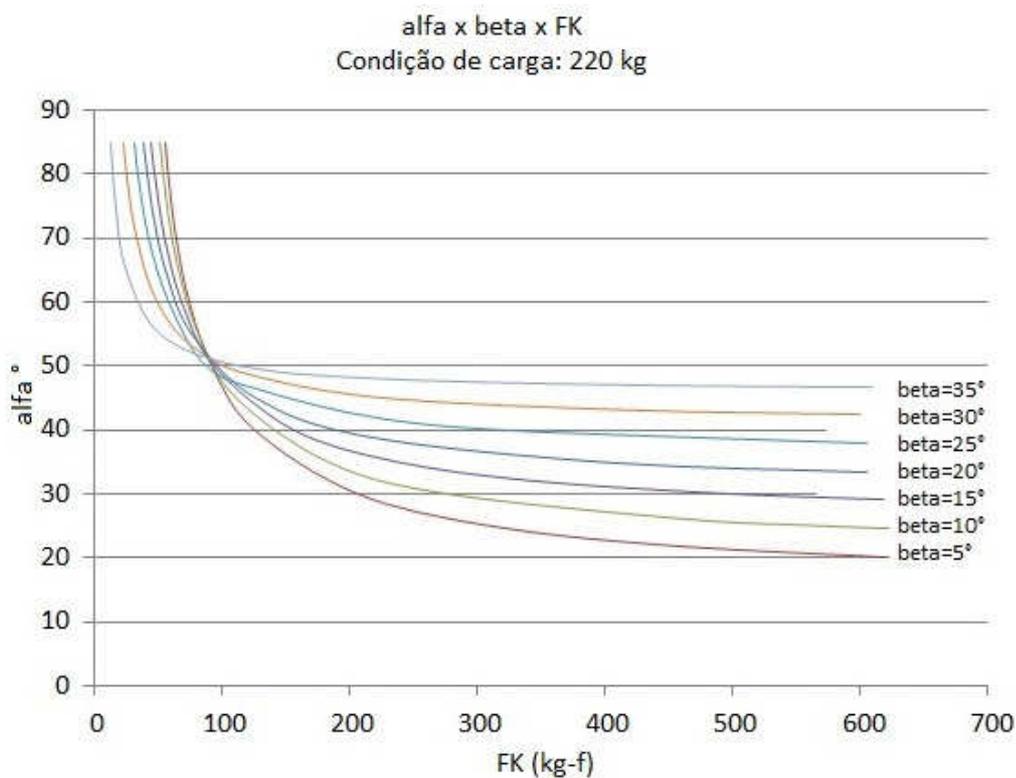
Para condição de carga 3:

$$F_K = -\frac{(1171.5775 \cos(230,1944 + \beta)) * (380) /}{( (2007 \cos(\beta - 5)) * \sin \alpha - (2007 \sin(\beta - 5)) * \cos \alpha + |((1171.5775 \cos(230,1944 + \beta)) * \sin \alpha) | - | (1171.5775 \cos(230,1944 + \beta)) * (\cos \alpha \operatorname{tg}(\beta - 5)) | - (850 \cos(233,1301 + \beta)) * (\cos \alpha \operatorname{tg}(\beta - 5)) + ((850 \sin(233,1301 + \beta)) * \cos \alpha) )}$$

As fórmulas acima não tem validade para ângulos  $\beta$  inferiores a  $5^\circ$ . Abaixo de  $5^\circ$  o flutuador do lado sotavento contribui com o empuxo total da embarcação. Este caso não é considerado.

A partir do valor de  $\beta$  superior a  $30^\circ$  ou  $35^\circ$ , a simplificação assumida na localização do centro de flutuação CB gera erros demasiados. Para um cálculo com validade mais abrangente será necessário considerar a exata localização do centro de massa KG, o deslocamento do centro de flutuação CB assim como a interação com as forças geradas pela reação d'água na lateral interna do lado barlavento da embarcação. A Figura 38 representa as respectivas linhas de equilíbrio do barco para a carga de 220 kg:

Figura 38: Gráfico FK x alfa x beta x Condição de carga 220 kg



A curva de uma determinada inclinação beta da embarcação representa em função da inclinação do Kite na Janela de Vento alfa a força necessária a ser exercida pelo Kite para manter a embarcação estacionada nesta inclinação. Daí o piloto do barco procura manter o Kite em inclinações mais baixas quando são exercidas grandes forças pelo Kite, isto é, em ventos fortes.

A Figura considera a capacidade total de ruptura das linhas em 600 kg-f. Em operação regular, o Kite utilizado em testes com 12 metros quadrados de área velica raramente exerce forças superiores a 150 kg-f.

Observa-se também, que, uma vez que o piloto do barco tenha conseguido levantar o lado sotavento da embarcação através de manobra radical com o Kite em um ângulo acima de 35°, então a inclinação do barco segue ao padrão da inclinação do Kite e o piloto estabiliza o barco através do posicionamento do Kite em ângulo alfa inferior.

As Figuras 39 e 40 mostram as condições descritas com cargas (peso total) maiores e confirmam que serão necessárias forças do Kite mais elevadas para provocar inclinações beta no casco da embarcação.

Figura 39: Gráfico FK x alfa x beta x Condição de carga 300 kg

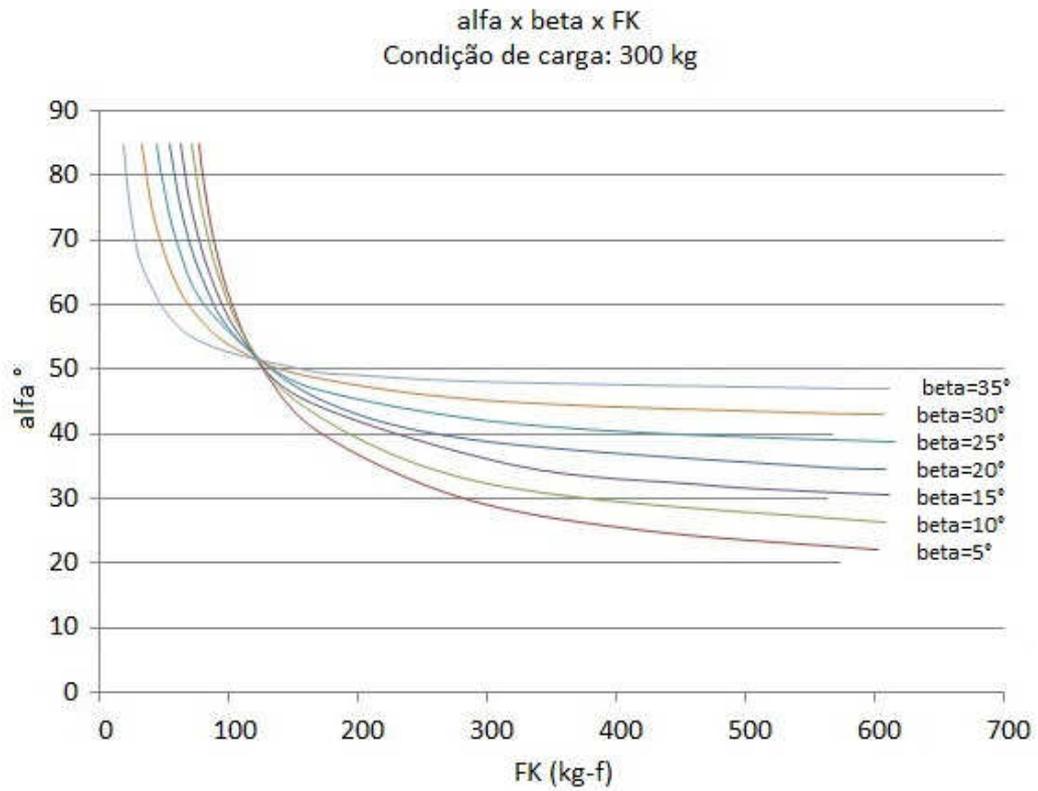
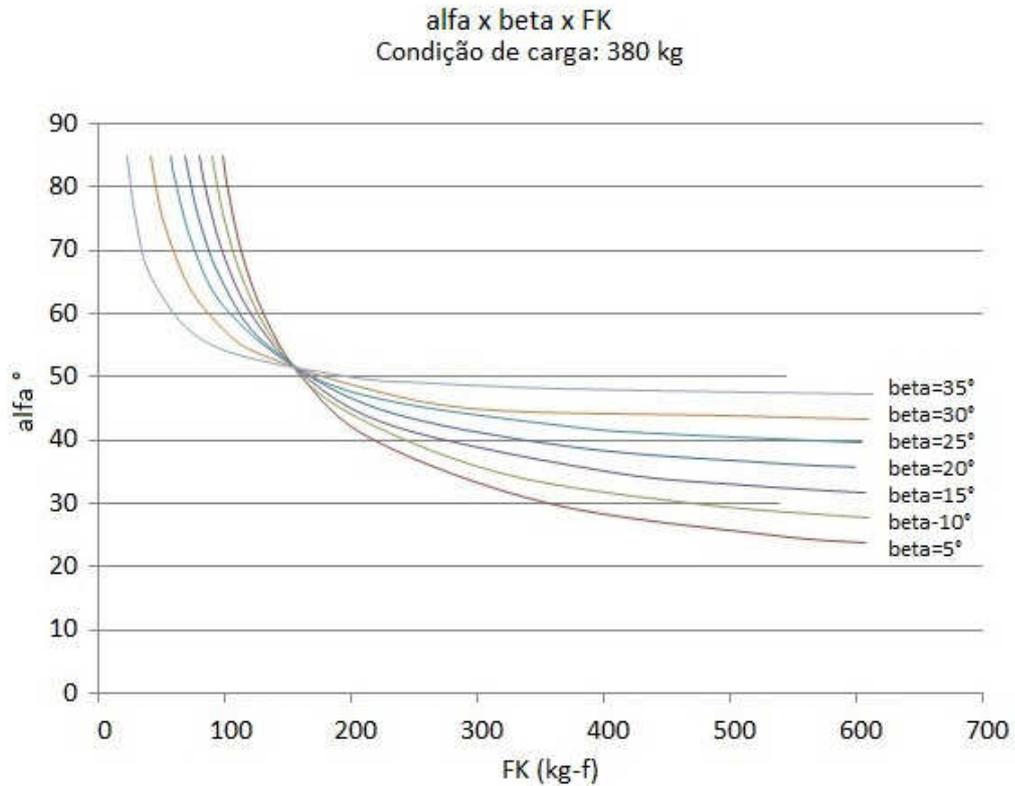


Figura 40: Gráfico FK x alfa x beta x Condição de carga 380 kg



### 3.2.4 Resistência ao Avanço

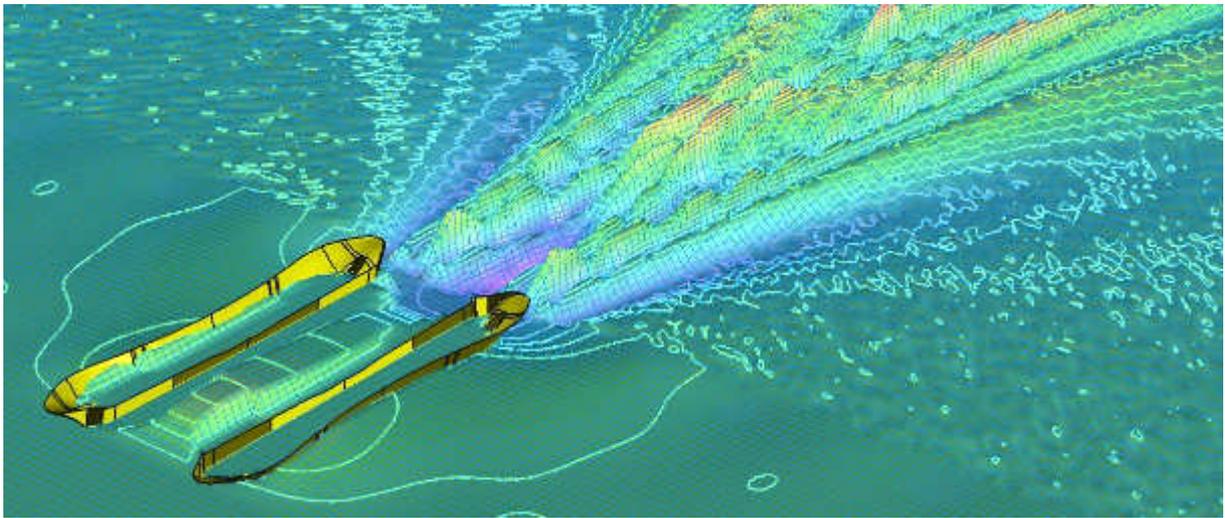
Foi utilizado o Programa “Maxsurf Resistance x64 19.0” com permissão da Benley Systems na condição de carga 1 (220 kg) com o barco carregado apenas com o piloto, para elaborar o cálculo da resistência ao avanço da embarcação em função da velocidade em nós. Os resultados estão representados na Tabela no Appêndice C. Os resultados são representados no Gráfico da Figura 41.

Figura 41: Gráfico da Resistência ao Avanço em função da Velocidade



Em determinada velocidade da embarcação, a projeção da componente horizontal da força do Kite na direção do rumo da embarcação será igual a força da resistência da água. Por exemplo: Para que o barco alcance uma velocidade de 10 nós, a componente horizontal da força do Kite projetada na direção do rumo do barco deve ser 62 kg-f. A Figura 42 mostra a representação gráfica calculada pelo método de corpos esbeltos para a velocidade de 10 nós.

Figura 42: Representação gráfica das ondas geradas pela embarcação navegando a 10 nós



Elaborado com Programa CAE „Maxsurf Resistance x64 19.0“ com permissão da Benley Systems

### 3.3 Plataforma Azimutal

O barco protótipo é equipado com sistema de controle de direção alternativo. No lugar do leme, que em embarcações tradicionais exerce um determinado momento azimutal sobre o casco do navio ou barco através de forças hidrodinâmicas geradas pelo próprio leme, o momento azimutal gerado no casco do barco protótipo será exercido pela força do Kite.

O ponto de aplicação da força do Kite em relação ao eixo longitudinal do casco do barco pode ser deslocado controladamente para frente ou para trás. Ao deslocar o ponto de aplicação da força do Kite para fora do centro longitudinal do casco, esta força gera um momento no casco do barco, o qual apresenta grandeza suficiente para controlar o rumo do barco. Esta forma de manobrar um barco é inédita e os testes realizados com o protótipo devem comprovar e quantificar a eficácia deste sistema.

### 3.3.1 Acoplamento da plataforma Azimutal no casco flutuante

O acoplamento da plataforma rotativa pode ser efetuado através de roldanas que serão mantidas em uma guia integrada no casco flutuante (Figura 44) e fixadas no chassi da plataforma azimutal (Figura 43), onde também serão montadas a trava, a pequena engrenagem e a própria parte laminada da plataforma rotativa.

O sistema de acoplamento é basicamente constituído por:

4 rodas diâmetro 300 mm

4 rodas diâmetro 75 mm

Os conjuntos de roldanas com blocos de Nylon (Figura 45) podem sero fixadas em locais definidos em um chassi da plataforma com 4 parafusos cada bloco e podem ser ajustadas colocando placas finas entre os blocos e o chassi.

Figura 43: Conceito da Guia Azimutal e Roldanas

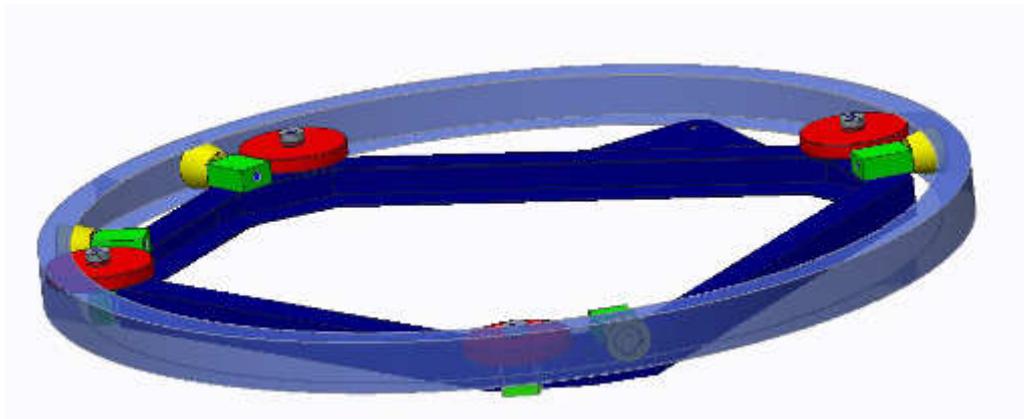


Figura 44: Giua Azimutal formada pela montagem da engrenagem no casco

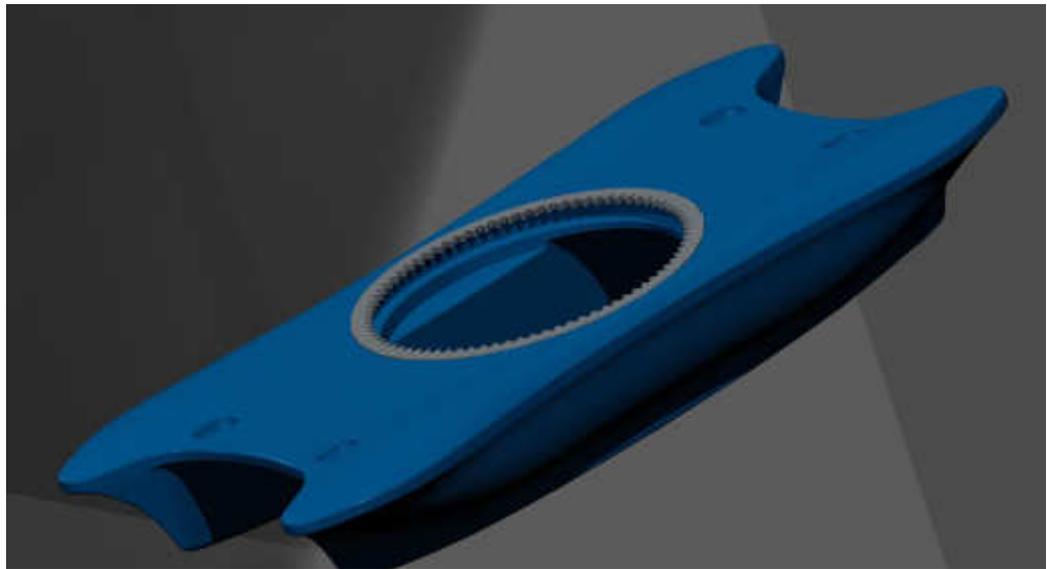
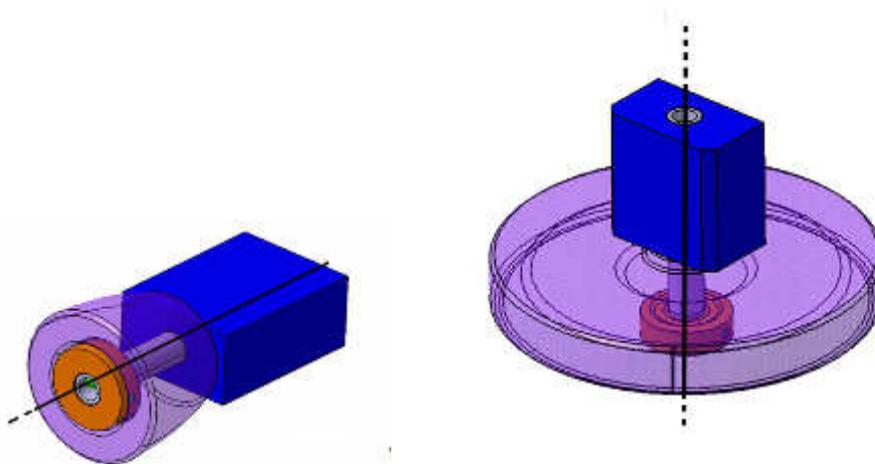
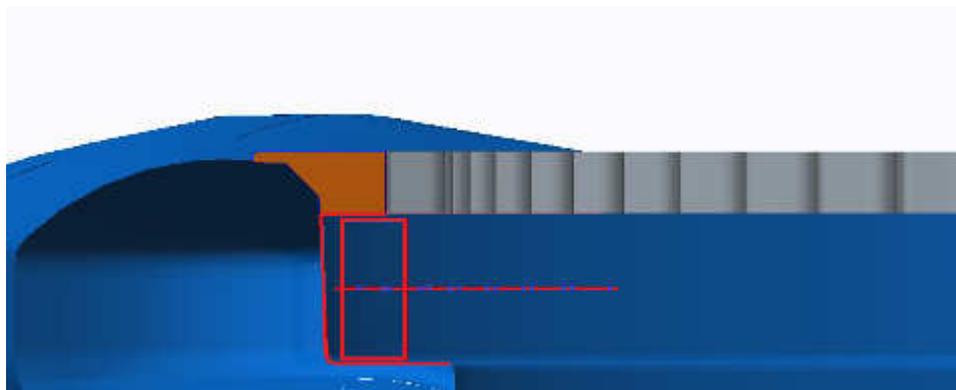


Figura 45: Projeto dos dois tipos de conjuntos de roldanas



A Figura 46 mostra um corte transversal indicando a posição de uma das roldanas para fixação azimutal.

Figura 46: Seção de corte perpendicular a Guia Azimutal e localização das roldanas axiais

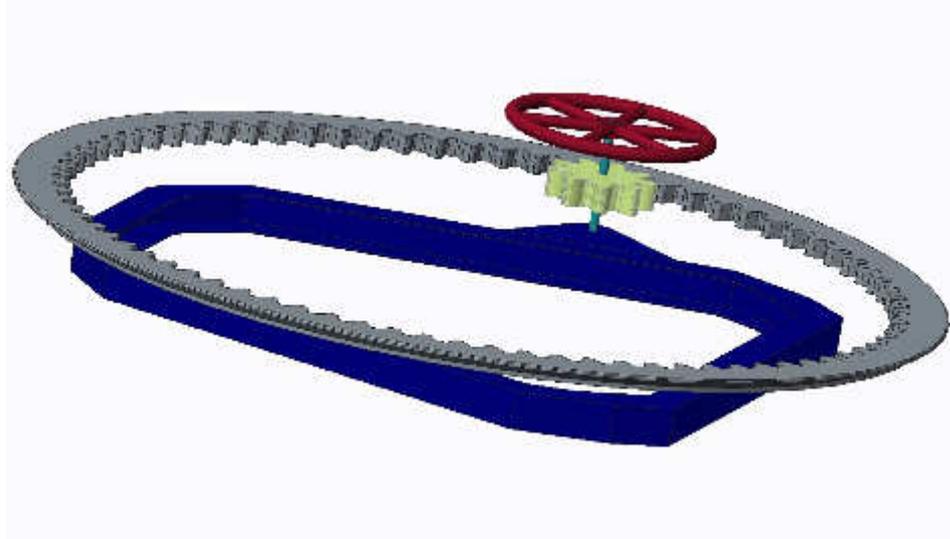


### 3.3.2 Sistema para direção do barco

O controle da posição da plataforma azimutal é necessário para efetuar o controle do rumo da embarcação. Durante o projeto conceitual foram estudadas as opções (soluções) e ficou definida a realização de um conjunto de engrenagens capazes de suportar uma tolerância de até 10 mm ditada pelos métodos adotados na fabricação do casco e os componentes envolvidos mostrado na Figura 47.

Desta forma ficou como parâmetro principal do projeto das engrenagens uma elevada altura de dentes a qual ficou definida em 40 mm. O número de dentes da engrenagem grande é igual 80. Uma vantagem adicional de aplicar uma engrenagem assim superdimensionada é a possibilidade de fabricar a engrenagem grande em fibra de vidro. Obviamente este conjunto de dentes suportará as forças incidentes relativamente pequenas. O uso da engrenagem é reduzido para ajustes eventuais – a produção de calor em regime contínuo de operação de engrenagens se torna desprezível.

Figura 47: Conceito da transmissão da força braçal do piloto ao chassis da plataforma azimutal



A outra grandeza considerada é a limitação da força braçal do piloto e desta forma, o número dos dentes da engrenagem pequena ficou com 9 dentes, garantindo uma cobertura de engrenamento satisfatória. O material da pequena engrenagem deve ser fabricada em polímero como Nylon para absorver choques no conjunto do sistema e evitar desgastes.

As dimensões principais das engrenagens são:

Diâmetro da cabeça dos dentes engrenagem grande:	1320 mm
Diâmetro do pé dos dentes engrenagem grande:	1400 mm
Diâmetro da cabeça dos dentes da pequena engrenagem:	1780 mm
Diâmetro do pé dos dentes da pequena engrenagem:	98 mm

A redução é de  $80 : 9 = 0,1125$ . Quando o piloto aciona o volante com força de 200 N, ele produz um momento de  $200 \text{ N} \times 0,68 \text{ m} = 136 \text{ Nm}$ . A ponta do bico da plataforma está localizada a 2000 mm do eixo central vertical da embarcação. Assim, o piloto consegue posicionar a plataforma, contanto que a projeção longitudinal da força exercida pelo kite não ultrapassa  $136 \text{ Nm} / 2 \text{ m} = 68 \text{ N}$ . Na prática, este valor é diminuído por causa das perdas devido a atrito e eficiência do par de engrenagens.

### 3.3.3 Sistema de trava da plataforma azimutal

A engrenagem grande é utilizada também no processo de manter a plataforma azimutal em posição fixa durante a navegação regular. O mecanismo é constituído por uma trava de acionamento negativo parecido com uma embreagem automotiva com a utilização de molas ou outros elementos elásticos. O princípio do funcionamento e a localização adequada do mecanismo estão representados nas Figuras 48 até 50.

Figura 48: Conceito do acionamento da Trava da plataforma azimutal livre (dir.) e travada (esq.)

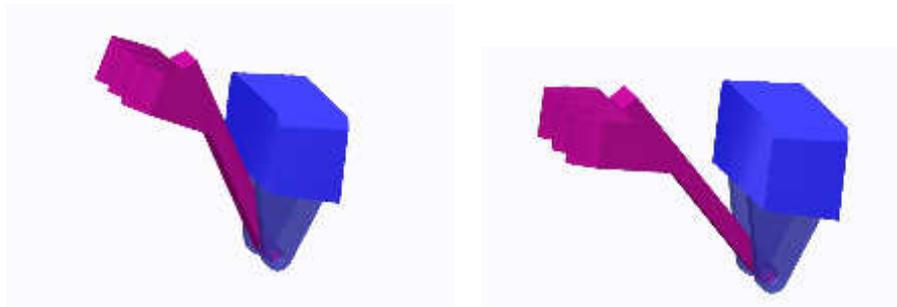


Figura 49: Localização adequada do mecanismo de trava integrado na plataforma azimutal

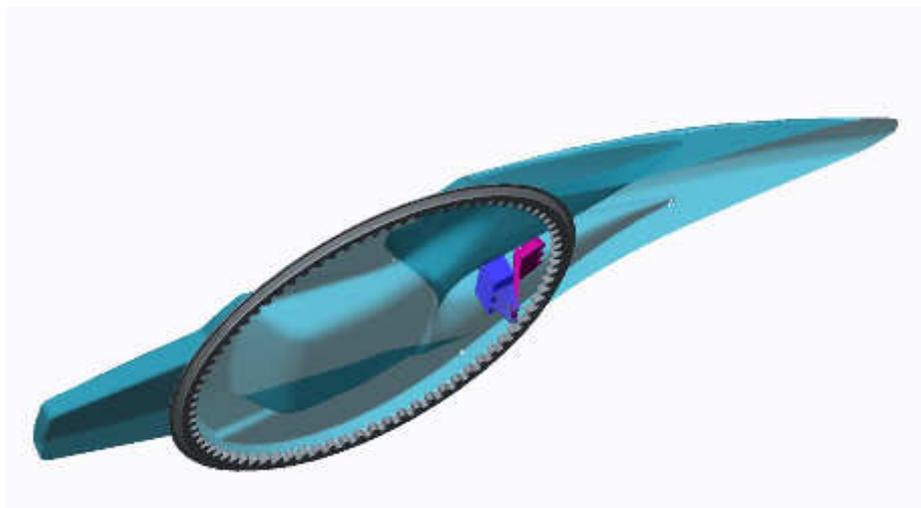
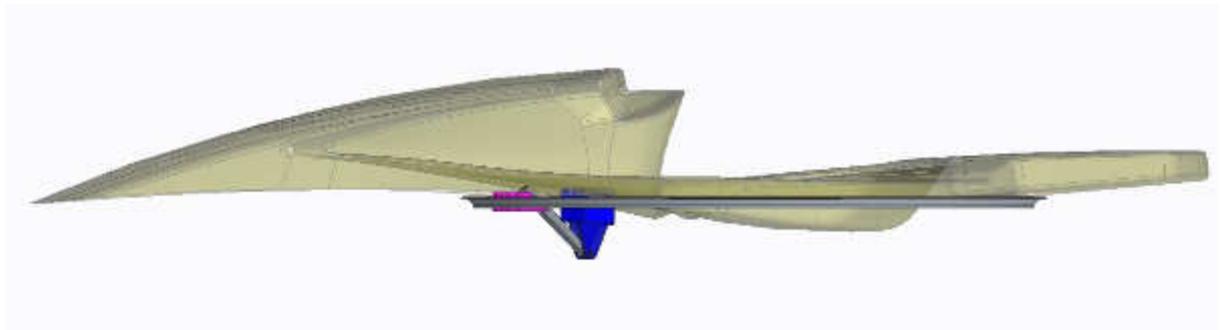


Figura 50: Vista lateral da trava engrenada



### 3.3.4 Sistema para controle do Kite

O controle do Kite deve incluir dois sistemas de manipulação das linhas com funções distintas além de possibilitar a soltura das linhas em caso de emergência. A saída das linhas do Kite deve ser localizada na extremidade do bico da plataforma azimutal e passam por roldanas montadas no bico da plataforma (Figura 51).

Os mecanismos de controle das linhas podem ser integrados dentro do espaço formado pelo bico da plataforma azimutal, proporcionando um ambiente com menos exposição ao vento e garantindo o funcionamento dos sistemas sem interferência de fortes ventos, que outrora podem reagir com as linhas e diminuir ou impedir o bom funcionamento.

Na Figura 52 é apresentada a solução para manipulação do ângulo de ataque do Kite através do alongamento e encurtamento de ambas as linhas dianteiras do Kite. Esta solução implica na utilização de um mecanismo para reduzir a força do Kite e possibilitar sua manipulação braçal pelo piloto. As forças exercidas neste conjunto são elevadas e requerem construção estável além de evitar desgaste e rompimento das linhas de Spectra (Dyneema). A linha azul representa o percurso das linhas dianteiras do Kite que ficam fixadas no dispositivo de soltura das linhas.

Figura 51: Manipulação das linhas dianteiras para definir o ângulo de ataque do Kite

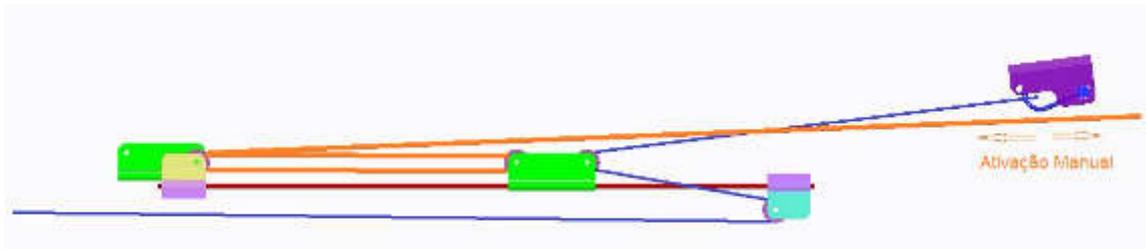
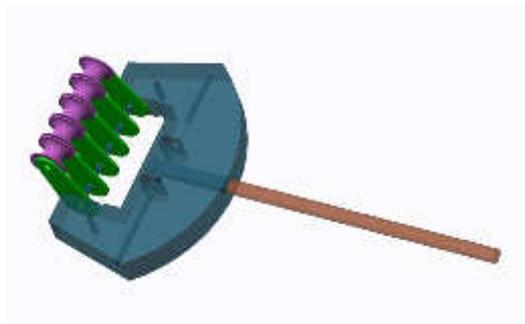
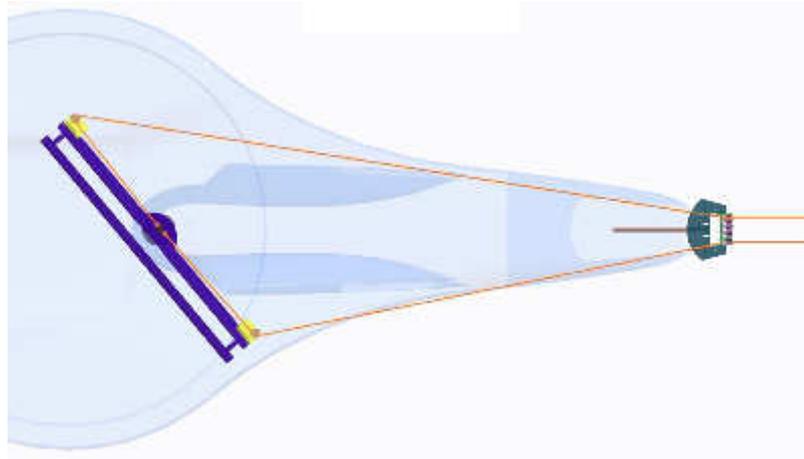


Figura 52: Conjunto de roldanas montado no bico do plataforma azimutal



A forma de dirigir o Kite dentro da Janela de Vento é realizada através do alongamento ou encurtamento do comprimento das linhas traseiras do Kite. A Figura 53 mostra o percurso das linhas traseiras com a utilização de uma barra de direção instalada na plataforma azimutal. As linhas traseiras do Kite são guiadas pela barra de direção e se juntam no centro da barra, onde é localizado outro dispositivo de soltura de linhas emergencial.

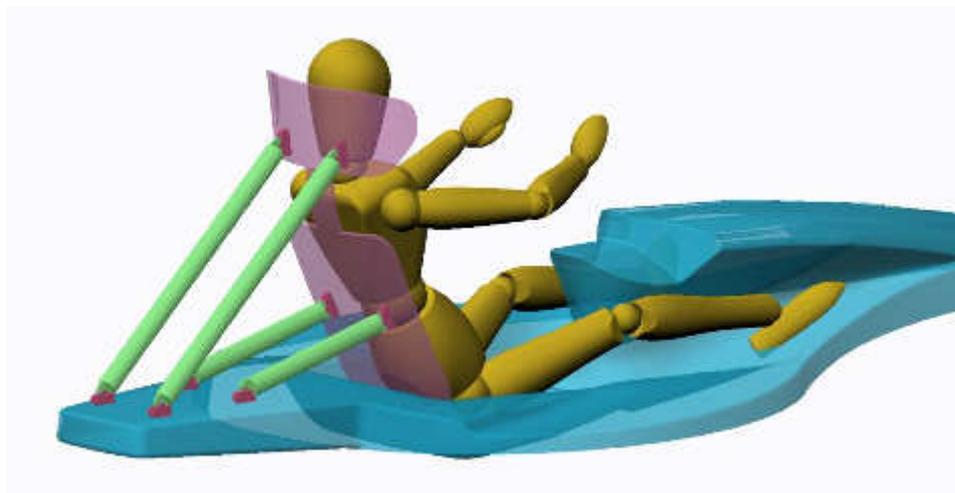
Figura 53: Traçado das linhas traseiras do Kite passando pela barra de direção



### 3.3.5 Assento e encosto

O assento pode ser dividido em parte inferior formado pelo laminado da plataforma azimutal e o encosto para o piloto. Durante a navegação o piloto terá de acompanhar visualmente a trajetória do Kite. Este pode se locomover em um ângulo entre a horizontal e a linha vertical e o piloto deve estar confortável para manter a cabeça e a visão direcionadas para o Kite (Figura 54). O encosto deve permitir o ajuste do ângulo e da posição para garantir ao piloto uma postura ergonomica adequada para navegação estendida.

Figura 54: Assento do piloto com cilindros de ajuste da posição e ângulo



### **3.4 Manobrabilidade e Capacidade de Orça**

O rumo do barco protótipo é estabelecido pelo posicionamento do Kite na Janela de Vento e a posição angular da plataforma azimutal em relação ao casco da embarcação. Se o Kite for mantido em uma região da Janela de Vento perante a navegação, então é apenas necessário controlar o ângulo relativo da plataforma rotativa em relação ao casco flutuante com suas quilhas, assim o piloto controla o rumo do barco. Desta forma, o leme pode ser descartado para o controle do rumo da embarcação.

Embarcações movidas pelo vento apresentam vantagens pelo uso de energia gratuita e sustentável. Mas há também limites: uma das características de embarcações movidas pelo vento é a incapacidade de navegar diretamente contra o vento.

Na prática de velejo moderno observa-se, que as embarcações não conseguem ir diretamente contra o vento, porém conseguem avançar contra o vento em percurso chamado contravento (Upwind). A capacidade de navegar com ângulos baixos ou elevados depende da forma do casco e características da propulsão eólica. O velejador pode navegar para um destino localizado diretamente contra o vento atmosférico: Para isto ele deve navegar com cursos transversais com frequentes mudanças de rumo entre rumo contravento BB e rumo contravento BE. Este Procedimento é conhecido como orçar.

#### **3.4.1 Definição de Orça**

As publicações científicas envolvendo citações de ângulos na orça de barcos veleiros e na prática de Kitesurf (ou Kiteboarding) são escassas, porém existe grande quantidade de comentários de velejadores sobre este assunto, de forma que pela própria quantidade destes comentários, este tipo de informação torna-se confiável:

Nos sites [http://de.wikipedia.org/wiki/Kurse\\_zum\\_Wind\\_\(Segeln\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Kurse_zum_Wind_(Segeln)) e [http://en.wikipedia.org/wiki/Sailing\\_against\\_the\\_Wind#Sailing\\_upwind](http://en.wikipedia.org/wiki/Sailing_against_the_Wind#Sailing_upwind)

são considerados vários tipos de barcos (e navios) veleiros, com diferentes tipos de velas e são citados valores típicos de ângulos obtidos na orça de diferentes tipos de barcos veleiros. Os ângulos na orça são medidos em relação a direção do vento, sendo que zero graus representam um curso exatamente contra o vento, curso que não pode ser realizado por nenhum tipo de embarcação movida exclusivamente pelo vento. Barcos veleiros modernos em geral alcançam ângulos na orça de 55 até 40 graus. Os barcos de competição do America's Cup alcançam um ângulo mínimo de 35 graus na orça.

Citação do site [http://en.wikipedia.org/wiki/Sailing\\_against\\_the\\_Wind#Sailing\\_upwind](http://en.wikipedia.org/wiki/Sailing_against_the_Wind#Sailing_upwind):

*Típicos ângulos mínimos na orça medidos em relação ao vento real são mostrados a seguir. Os rumos dos barcos devem considerar o acréscimo das forças em direção de sotavento.*

*cerca de 35 ° para iates de corrida modernos, que foram otimizados para performance a barlavento (como iates da America's Cup)*

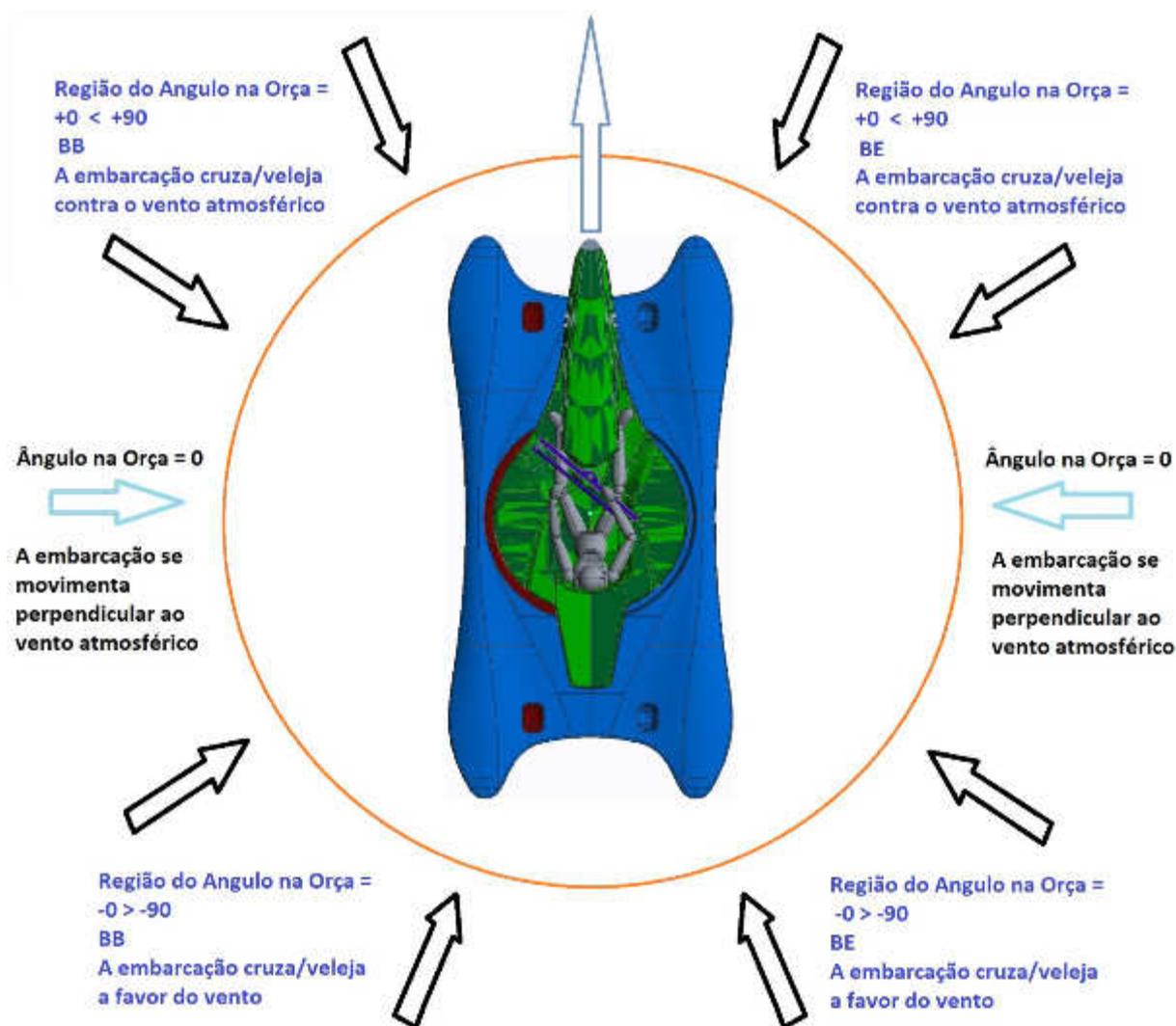
*cerca de 40 a 45 ° para modernos iates cruiser-racer (fast cruzeiro iates)*

*cerca de 50 a 60 ° para cruzeiros e barcos de trabalho com quilhas ineficientes, formas de casco ineficientes ou de baixo calado, quando comparados com embarcações projetadas para o desempenho, e para os barcos com dois ou mais mastros*

*perto de 90 ° para navios com velas quadrados e embarcações semelhantes, devido à forma da vela, que é muito ineficaz quando velejando contra o vento*

A forma de medir o ângulo na orça pode variar - algumas fontes relacionam o ângulo na orça com a direção do vento. Neste caso 0° significa rumo diretamente contra o vento. É o caso da citação acima. Outras citações relacionam o ângulo na orça com o curso na través, isto é, curso perpendicular ao vento. Neste Trabalho será assumido que se o ângulo na Orça seja igual a zero representa um rumo perpendicular ao vento atmosférico mostrado na Figura 55 a seguir.

Figura 55: Definições de Orça adotada



Também não foram encontrados publicações científicas com valores dos ângulos na orça na prática de Kitesurf. Em forums de Kitesurf na internet encontram-se muitas discussões e comentários, pode-se resumir que: O ângulo na orça na prática de Kitesurf depende da habilidade do desportista. Iniciantes em muitos casos não conseguem orçar, isto é o ângulo do curso em relação ao vento é superior á 90 graus. Desportistas habilidosos frequentemente alcançam ângulos na orça de  $10^\circ$  até  $20^\circ$  em relação a perpendicular da direção do vento e poucos praticantes alcançam ângulo maiores.

Citação do site <http://en.wikipedia.org/wiki/Kitesurfing> :

*Capacidade de percorrer no contravento (Upwind): Cerca de 70 ° em relação a direção do vento. Quanto mais a prancha aumenta a direção contravento, maior deve ser o ângulo do lado sotavento da borda da prancha na água para resistir as forças de arrasto laterais*

### **3.4.2 Capacidade de Manobras em Navios**

A Capacidade de uma embarcação de mudança de rumo é geralmente efetuada através da superfície de controle (leme) para levar a embarcação a executar uma dada manobra pretendida, como mostrado na Figura 56. Um barco movido por Kite e equipado com a tecnologia da plataforma azimutal para efetuar a mudança de rumo deve permitir que possa ser efetuada uma mudança de rumo semelhante. No entanto há de se conservar os limites da embarcação na orça. Manobras podem ser definidas como sequencias padronizadas de mudanças do rumo da embarcação.

Algumas manobras são quantificáveis e resultam em dados necessários para pilotar navios de médio e grande porte.

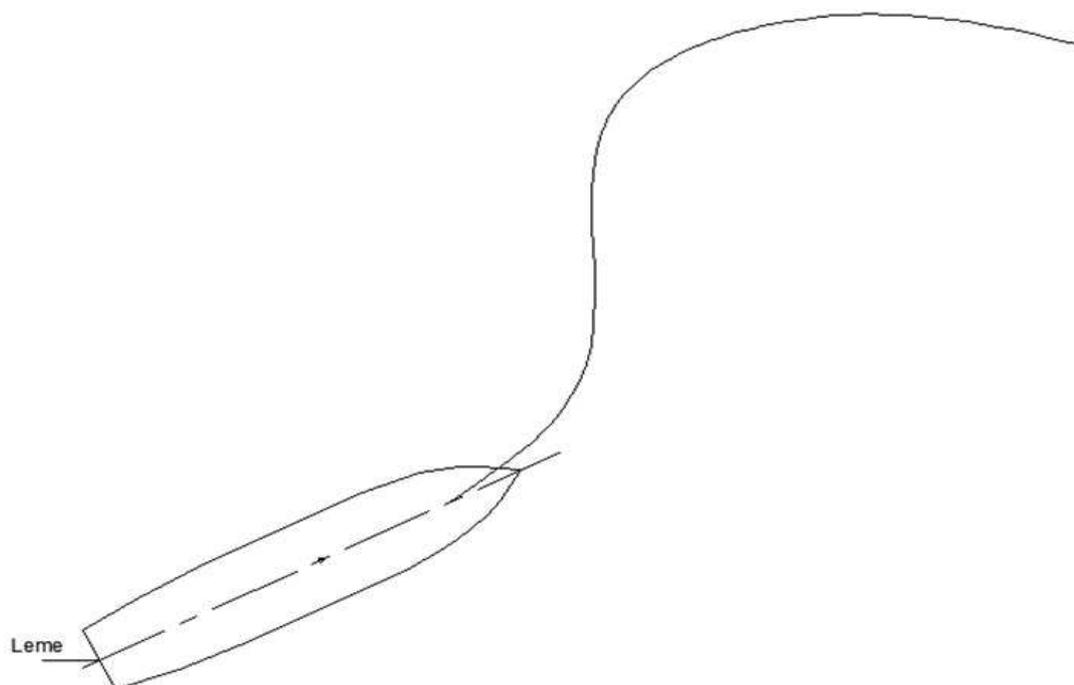
### **3.4.3 Manobras Padronizadas na Engenharia Naval**

A Tabela 10 mostra a relação dos tipos de manobras padronizadas para navios com propulsão por motores de combustão e as qualidades (respostas) requeridas. Os resultados obtidos destas manobras padronizadas são úteis ao tratarmos de embarcações motorizadas, mas em se tratar de propulsão eólica, verifica-se, que algumas destas manobras não podem ser realizadas de forma ampla, pois a direção do vento tem determinante influência na execução de manobras.

Tabela 10: Capacidade e Qualidades de Manobras Navais padronizadas

Capacidade de Manobras	Qualidade requerida	Manobra padronizada
	Manter o rumo estável	Espiral
Estabilidade direcional	Estabilidade de mudança de rumo	Zig-Zag
	Mudança de rumo	Curva de giro
	Resposta inicial ao efeito do leme	Curva de giro
Capacidade de mudança de rumo	Mudança de rumo rápida	Zig-Zag
	Parada	Parada brusca

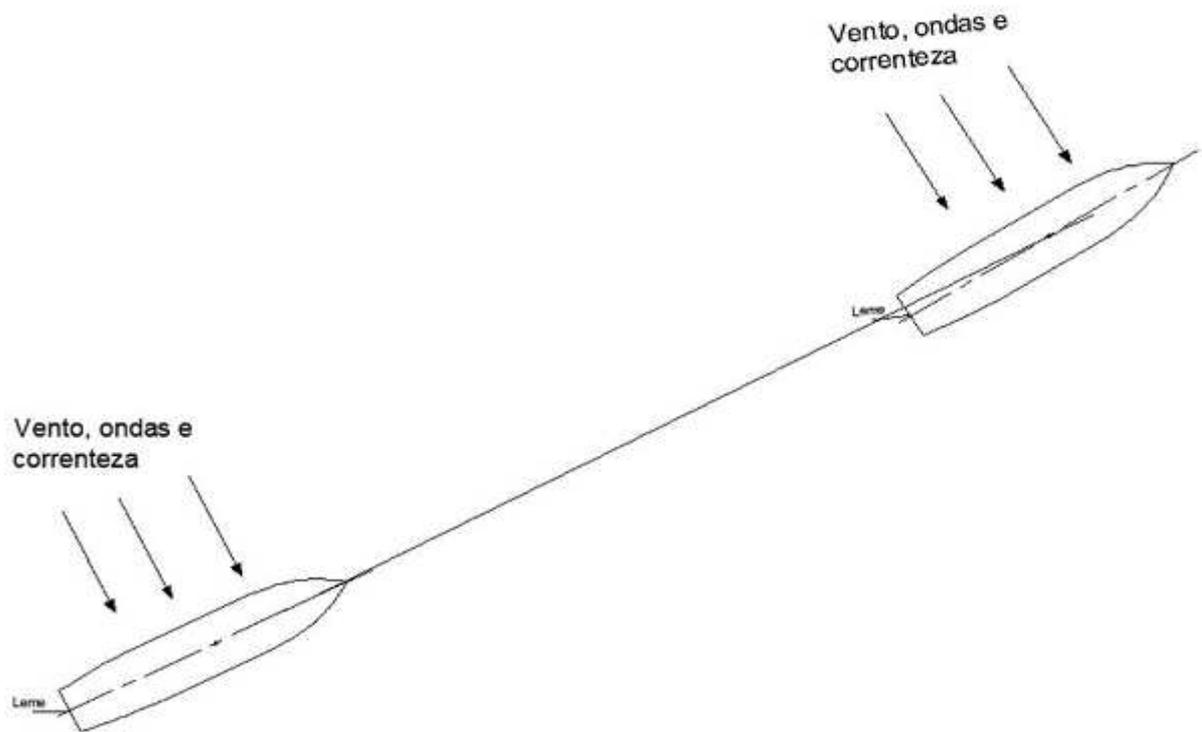
Figura 56: Trajetória de percurso de embarcação com mudanças de rumo



### Estabilidade direcional

A Capacidade de uma embarcação se manter em determinado curso independente de efeitos externos constitui a estabilidade direcional de uma embarcação. A Figura 57 mostra um navio sob influência de forças externas (vento e correnteza).

Figura 57: Trajetória de navio com percurso reto exposto a vento e correnteza



A Estabilidade Direcional é medida tomando um ponto inicial e um ponto final em uma trajetória reta de uma embarcação e verificar, qual é a distância da embarcação ao longo do percurso e a trajetória ideal, ou seja: uma reta.

### Curva de Giro

Trata-se da trajetória descrita pelo centro de gravidade de um navio numa evolução de  $360^\circ$ , em determinada velocidade e ângulo de leme (Figura 58). Pode-se utilizar a velocidade de serviço, mas a experiência mostrou que em outras velocidades, as características da curva de giro permanecem inalteradas. Nesta manobra ainda são elaboradas medições a respeito do ângulo de escora do navio (Figura 59) e o ângulo de deriva (Figura 60).

Figura 58: Curva de Giro de Navio com o Leme colocado em ângulo de 35°

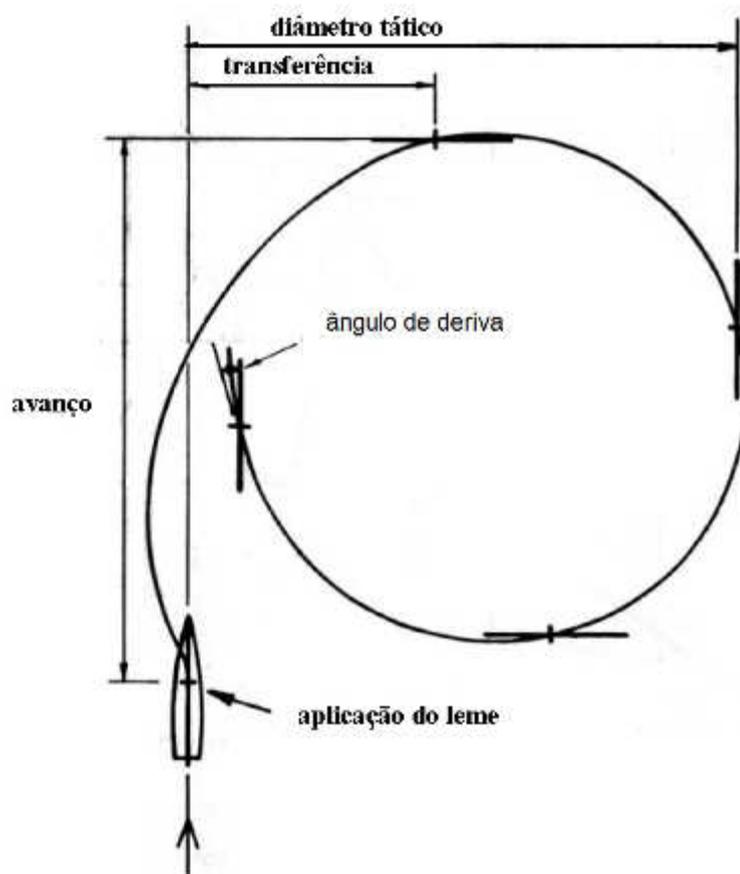


Figura 59: Definição do ângulo de escora de uma embarcação

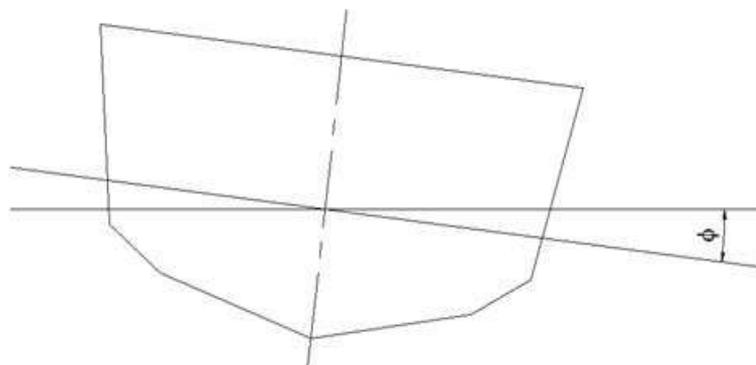
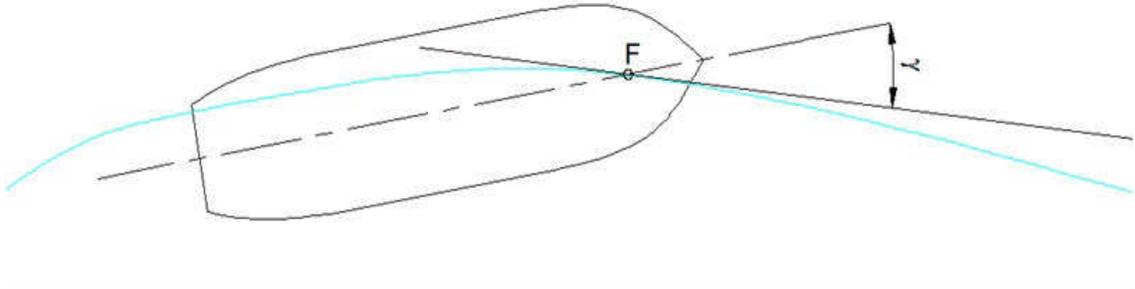


Figura 60: Definição do ângulo de Deriva de um Navio



As medições executadas durante a Curva de Giro e registrados são:

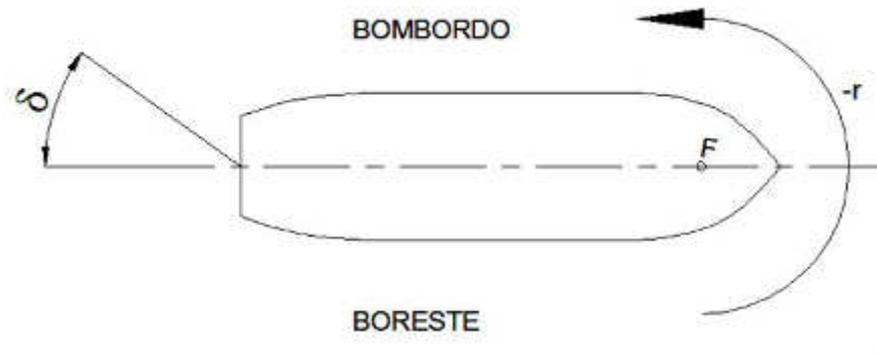
- Trajetoria desde o início da manobra
- Escala de tempo de cada ponto da trajetoria
- Ângulos de deriva ( $\gamma$ ) em cada ponto da trajetoria em relação a linha centro da embarcação.
- Ângulos de escora ( $\Phi$ )
- Velocidade da embarcação antes e durante a manobra.
- Ângulo do leme.

### **Manobra Espiral**

Medições executadas durante a Manobra Espiral:

Esta manobra é conhecida também como espiral de Dieudonne. Permite verificar a estabilidade direcional da embarcação. A Figura 61 mostra esquematicamente os vetores a serem medidos.

Figura 61: Posição do leme e reações da Manobra Espiral

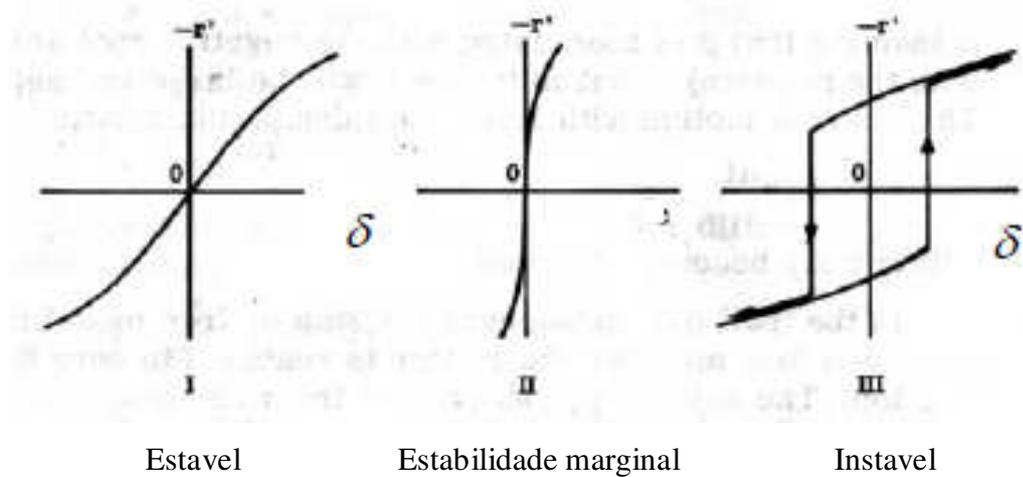


A execução da Manobra Espiral segue os seguintes passos:

- 1-Virar o leme  $15^\circ$  a bombordo, registrar a velocidade angular da mudança de rumo ( $-r$ ) quando esta seja estável por um minuto.
- 2-Diminuir o ângulo de leme para  $10^\circ$  a bombordo e registrar a velocidade angular da mudança de rumo ( $-r$ ) quando esta seja estável por um minuto.
- 3-Repetir o mesmo procedimento para ângulos de leme  $5^\circ$ ,  $4^\circ$ ,  $3^\circ$ ,  $2^\circ$ ,  $1^\circ$  a bombordo.
- 4-Posteriormente incrementar o ângulo do leme seguindo os passos descritos anteriormente até por o leme  $15^\circ$  ao boreste.
- 5-Repetir os passos anteriormente mencionados até por o leme outra vez a  $15^\circ$  ao bombordo.

Os Resultados da Manobra Espiral (Figura 62) indicam, se a embarcação é estável ou não.

Figura 62: Comportamento de 3 diferentes embarcações na Manobra Espiral



Parâmetros a serem registrados:

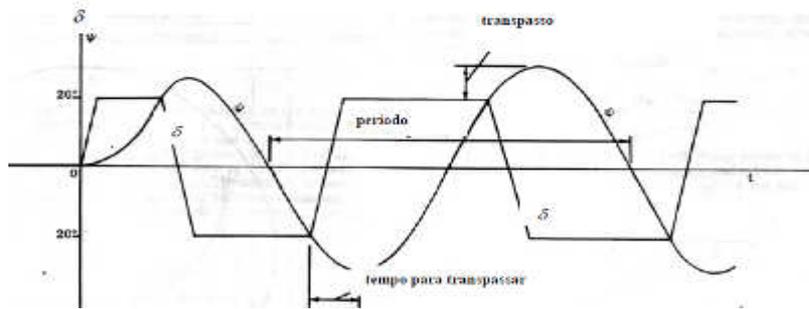
- Trajetoria
- Ângulo de leme
- Velocidade angular de mudança de rumo
- Tempo

### Manobra Zig-Zag

A Manobra Zig-Zag é conhecida também como manobra de Kempf. Ela permite verificar a capacidade de resposta da embarcação aos movimentos do leme.

O procedimento típico da Manobra Zig-Zag consiste em navegar com o navio com velocidade constante em curso retilíneo, então o leme é acionado e colocado a  $20^\circ$  para algum lado e mantido constante até o navio mudar de curso por  $20^\circ$  (Figuras 63 e 64). Em seguida o ângulo do leme é modificado para  $20^\circ$  do outro lado e assim por diante.

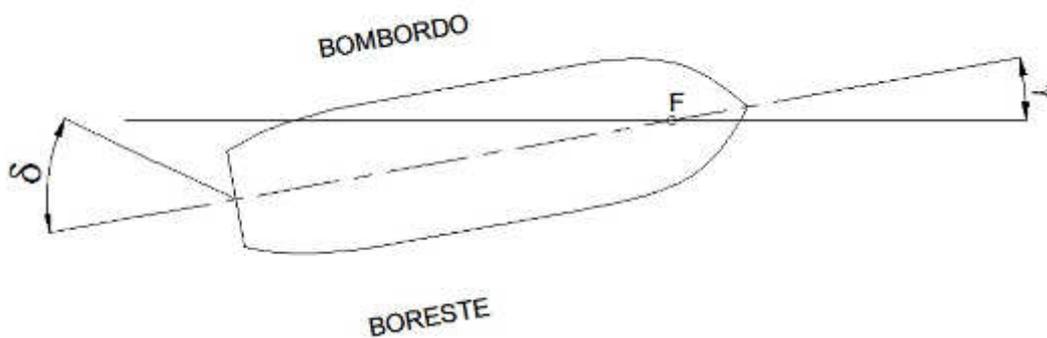
Figura 63: Exemplo de Resposta de embarcação durante a Manobra Zig-Zag



Os parâmetros a serem registrados durante a Manobra Zig-Zag são:

- 1) Tempo entre movimentos sucessivos do leme.
- 2) O ângulo de transpasso (ou de sobretiro), que mede o quanto que a direção do navio excede os  $20^\circ$  aplicados.
- 3) Ângulo do leme.
- 4) Ângulo de desvio em relação ao início da manobra.

Figura 64: Posição do leme e reações da Manobra Zig-Zag



Quando as manobras descritas acima forem aplicadas em navios tradicionais, podemos comparar qualidades entre navios tradicionais, equipados com moteres internos e equipamento de lemes para controlar a direção da embarcação. Mas no momento em qual apresentamos uma embarcação com um sistema de controle direcional diferenciado e inovador, o qual não utiliza algum leme sequer, algumas das manobras padronizadas não apresentam resultados significativos em relação a definição da capacidade de manobrabilidade da embarcação sem lemes.

A seguir são apresentados as considerações sobre as manobras padronizadas e correspondente forma de aplicar uma típica manobra em barcos com características diferentes, isto é

- 1) movidos por Kites
- 2) bidirecional
- 3) não apresenta lemes

#### **3.4.4 Validade de Manobras Padronizadas para Barcos Catamarãs Movidos por Kite**

As manobras padrões são manobras criadas para comparar algumas capacidades de manobrabilidade de navios e/ou embarcações convencionais no sentido de que as embarcações

- 1- dispõem de algum tipo de motorização interna
- 2- são projetados para seguir primordialmente em uma direção (monodirecional) e
- 3- dispõem de um leme para efetuar mudanças de rumo da embarcação.

Ainda seria possível citar mais condições aplicáveis para as manobras padrões, porem estas três condições não são válidas para o barco protótipo movido por Kite mostrado na Figura 65 a seguir:

Figura 65: Foto do Barco Protótipo sem lemes



### **Consequências da modificação da condição em 1:**

Ao modificar o tipo do tracionamento de propulsão interna para propulsão eólica, as condições do teste das manobras padrões sofre influencia significativa dos vetores do vento. A velocidade escalar do vento define a força exercida por uma vela ou por um Kite, enquanto que a força exercida de um motor interno de uma embarcação é de amplo controle pelo operador da máquina. A direção do vento limita as possíveis direções de cursos em barcos movidos pelo vento. Os barcos veleiros nunca se movimentam continuamente em direção contra o vento - dependendo de fatores aerodinâmicos (vela, Kite etc.) e hidrodinâmicos (forma do casco) os barcos veleiros alcançam ângulos na orça contra o vento de cerca 45 graus. O fenômeno é chamado de "ângulo morto" de um veleiro, isto é: existe uma gama de ângulos medidos diretamente em relação á direção do vento, por exemplo de -45 graus até 45 graus onde os veleiros nunca se movimentam continuamente, definindo neste exemplo assim um ângulo morto total de 90 graus.

Este fenômeno limita algumas das manobras padrão, porque a tração do veleiro não proporciona um funcionamento contínuo da propulsão em percorrer o curso do ensaio, vai existir pelo menos uma região com tracionamento descontínuo. Desta forma a comparação

de resultados dos testes com barcos/navios automotrizes e barcos ou navios movidos por energia eólica não podem coincidir em todos aspectos.

### **Consequências da modificação da condição em 2:**

Os navios comerciais são projetados para seguir uma direção primordial, são projetados com uma frente e uma traseira - proa e popa. Estas configurações são vantajosas nestas embarcações, podem ser elaborados formas dos cascos que diminuem a resistência hidrodinâmica mais efetivamente que cascos projetados para operar em duas direções.

O casco para operação bidirecional de uma embarcação é indicado para poucos casos: A propulsão através de Kites sugere a bidirecionalidade como opção vantajosa devido ao próprio potencial do Kite de ser movido controladamente dentro da Janela de Vento do Kite. A combinação do uso de um Kite e um casco bidirecional permite grandes mudanças de direções da embarcação, casualmente em tempo muito inferior que em uma embarcação convencional comparável.

### **Consequências da modificação da condição em 3:**

O leme é um instrumento que é capaz de introduzir um determinado momento no casco de uma embarcação . As manobras padrões foram elaboradas para avaliar a eficácia do leme no sentido de realizar uma determinada curva e/ou uma mudança do rumo da embarcação. As descrições para elaborar os testes em parte obrigam o operador para posicionar o leme em determinados ângulos. Observa-se que em embarcações automotrizes equipados com lemes, ao se posicionar o leme em algum ângulo e mantendo-o neste ângulo, o casco da embarcação vai receber continuamente um momento produzido pelo leme e conseqüentemente a embarcação vai cursar uma curva contínua e regular enquanto não for modificada a posição do leme, completando uma volta inteira ou mais.

O barco protótipo tracionado por Kite não apresenta leme. Diferente de embarcações tradicionais o protótipo utiliza outro método de modificação da direção do curso da embarcação. Basicamente também é necessário introduzir um momento ao casco para promover uma mudança de rumo. No entanto o momento não é produzido pela reação hidrodinâmica de um leme, porem através da ação do Kite em combinação com a característica

da resposta hidrodinâmica do casco. No barco protótipo atuam duas forças sobre o casco, formando um binário em equilíbrio: O desenho da parte superior do protótipo chamado de *plataforma azimutal*, permite alterar o ponto de aplicação da força do Kite em relação ao eixo longitudinal do barco. Ao transladar o ponto de aplicação da força do Kite, de forma controlada, para mais longe ou mais perto do centro do casco, a força exercida pelo Kite pode gerar um momento grande (ponto de aplicação da força do Kite longe do centro do casco), pequeno (ponto de aplicação da força do Kite perto do centro do casco) ou nulo (ponto de aplicação da força do Kite passando pelo centro do casco). Desta forma é gerado um dos dois momentos atuantes sobre o casco. O outro momento atuante no casco é a reação hidrostática e/ou hidrodinâmica do casco: Observa-se que a reação do casco a uma tração que passa pelo centro do casco sempre gera através das reações hidrostáticas/hidrodinâmicas do casco um posicionamento angular do casco perpendicular em relação á força aplicada. Independente da direção da força proveniente, se a força é aplicada ao centro do casco, o mesmo é rapidamente posicionado pela reação hidrostática/hidrodinâmica do casco em posição perpendicular á força.

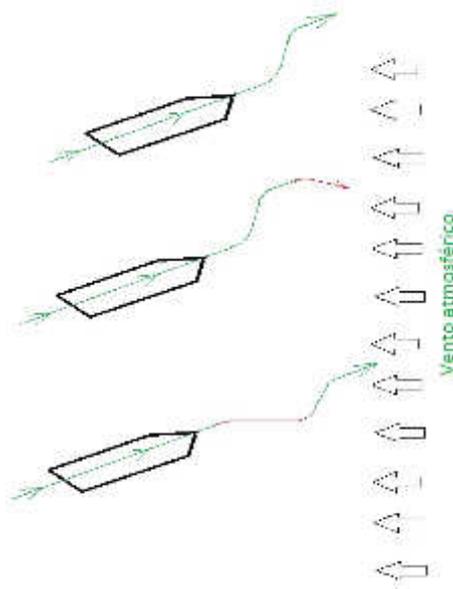
Não foram efetuados estudos minuciosos do presente casco para determinar a força dos momentos resultantes formado pelo casco para diferentes incidências do fluxo da água, porém é constatado o aumento proporcional do momento gerado pela reação hidrostática/hidrodinâmica do casco significativo o suficiente para estabelecer um equilíbrio com os momentos gerados pela força do Kite aplicada em uma distância do centro do casco ao longo do eixo longitudinal não nula. Cada ponto de aplicação da força do Kite em relação ao centro do casco gera um determinado momento sobre o casco, em reação o casco modifica sua direção, que gera reação hidrostática/hidrodinâmica modificada e estabelecendo novo binário equilibrado sobre o casco. Na prática o procedimento para manobras é diferente que em navios tradicionais: O operador do barco modifica intencionalmente o ponto de aplicação da força do Kite e com isto não é executada uma curva contínua, porem apenas uma mudança do rumo da embarcação: Ao finalizar a operação o casco do barco movido pelo Kite modificou a direção (rapidamente) e retorna a um novo rumo reto sem mais nenhuma intervenção do operador. Para conseguir o mesmo tipo de resposta em um navio convencional, o operador deve manipular o leme para um determinado ângulo diferente de zero, aguardar a resposta do casco e em seguida retornar o leme para a posição neutra.

No caso de uma manobra que envolve um trajeto circular o operador de um navio convencional posiciona o leme em um determinado ângulo definido pelas normas do teste e em seguida ele se mantém inativo: O navio deve mais cedo ou mais tarde concluir algum trajeto circular, que pode ser representativo para a manobrabilidade. Para efetuar um trajeto circular em um barco movido por Kite o operador deve manipular continuamente o ponto de aplicação da força do Kite até concluir o trajeto curvado. Se o operador se mantém inativo em meio do ensaio, o barco imediatamente começa a fugir do trajeto circular estabelecendo um trajeto reto adequado para a posição do ponto de aplicação da força do Kite. Enquanto que em navios convencionais a manobra com um trajeto circular envolve apenas grandezas hidrostáticas e hidrodinâmicas do casco e a habilidade do operador não interfere com o resultado, em embarcações movidos por Kites a habilidade do operador pode interferir significativamente no resultado.

A capacidade de mudança de rumo em navios convencionais envolvem apenas a modificação da posição do leme. O desenho do slide mostra exemplarmente um desvio na rota do navio. Para efetuar esta manobra, o operador modifica a posição do leme para uma posição favorável, aguarda a resposta do navio e em seguida ele posiciona o leme em posição oposta para gerar uma curvatura oposta ao novo rumo do navio. Após a reação do casco o operador deve novamente posicionar o leme no lado contrário até o navio executar a terceira curva e restabelecer o rumo original, momento este em qual o operador do navio deve posicionar o leme de volta a um ponto neutro. Os procedimentos para efetuar esta manobra por uma embarcação movida por Kite são diferentes:

O operador do barco protótipo movido por Kite segue inicialmente um rumo reto. Os procedimentos para fazer um desvio de um curso estabelecido são determinados pela direção do vento relativo ao curso inicial do barco e, dependendo da direção do vento, o desvio pode ser executado com duas operações distintas ou apenas com um determinado procedimento ou pode não ser realizado. O último caso envolve direções do rumo inicial com altos valores do ângulo na orça, onde um desvio do curso em direção contrária ao vento leva o barco a operar no ângulo morto do vento. Nesta situação os barcos movidos pelo vento apenas podem executar desvios do rumo inicial em direções relativas ao vento compatíveis, como mostrado na Figura 66:

Figura 66: Influência da Direção do Vento na Execução de Manobra

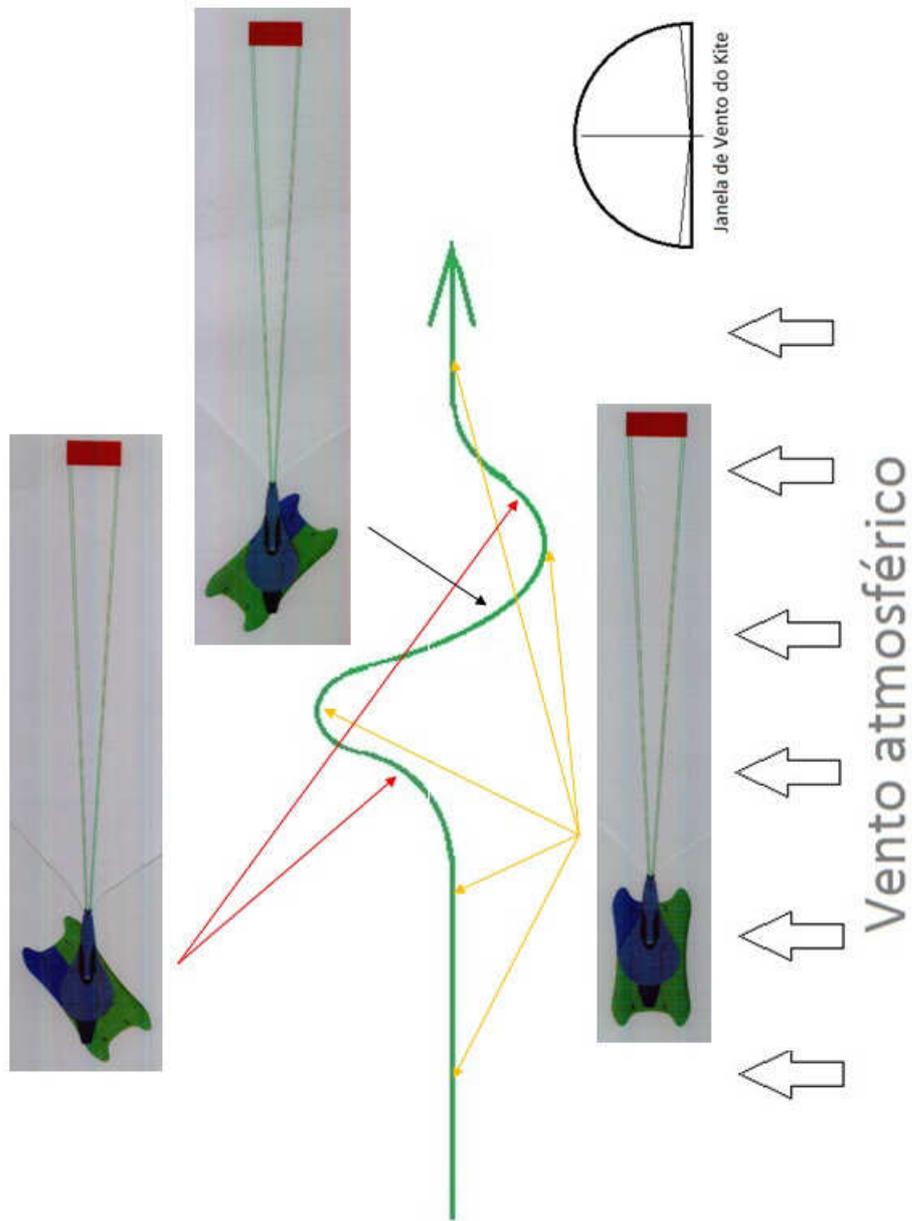


A primeira manobra mostrada na Figura acima é possível de ser realizada, porém as duas outras manobras não podem ser executadas - os trajetos em cor vermelha se encontram na região do ângulo morto.

Considerando esta limitação e evitando a execução de um desvio em uma direção desfavorável como mostrado na Figura 65, a execução de uma manobra de desvio de curso é executável através de dois alternativos procedimentos. A primeira alternativa consiste na variação do ângulo do plataforma azimutal em relação ao casco, o que corresponde á variação da distância longitudinal do ponto de aplicação da força do Kite até o centro do barco. A Figura 67 mostra a sequência dos posicionamentos do plataforma azimutal em relação ao casco para esta alternativa.

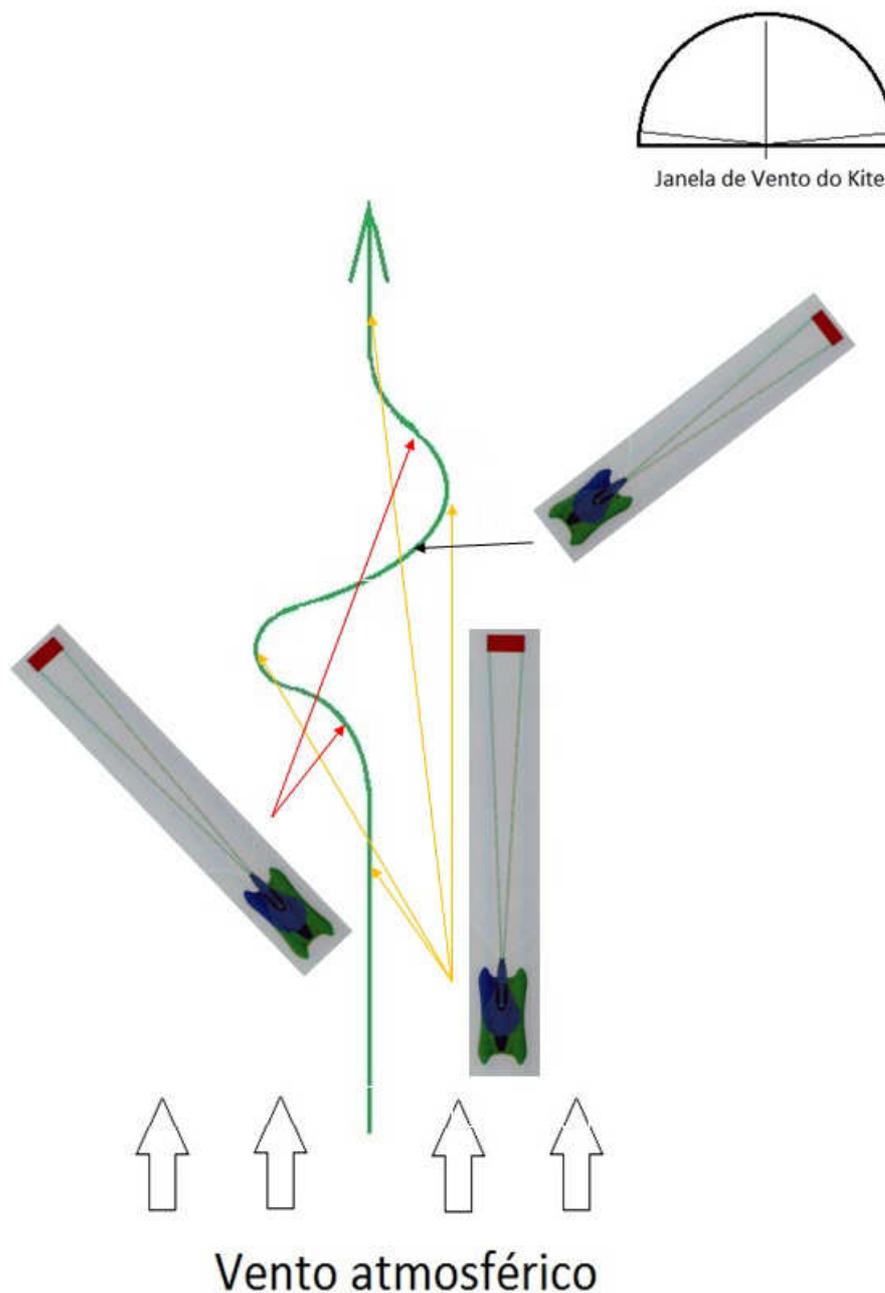
Uma outra alternativa para efetuar o desvio de um rumo pode ser considerada para alguns rumos, onde o vento atmosférico sopra primordialmente proveniente da popa do barco (Figura 68). Nestes rumos é possível utilizar apenas a capacidade do Kite ser posicionado em diferentes regiões dentro da janela do vento

Figura 67: Manobra Zig-Zag executada com Vento de Través (Onwind)



A Figura acima mostra uma das alternativas para executar um desvio com o barco movido por Kite, modificando o ponto de aplicação das forças do Kite em relação ao eixo longitudinal do barco, com vento atmosférico proveniente do lado da principal direção do rumo.

Figura 68: Manobra Zig-Zag executada com Vento de Alheta (Downwind)

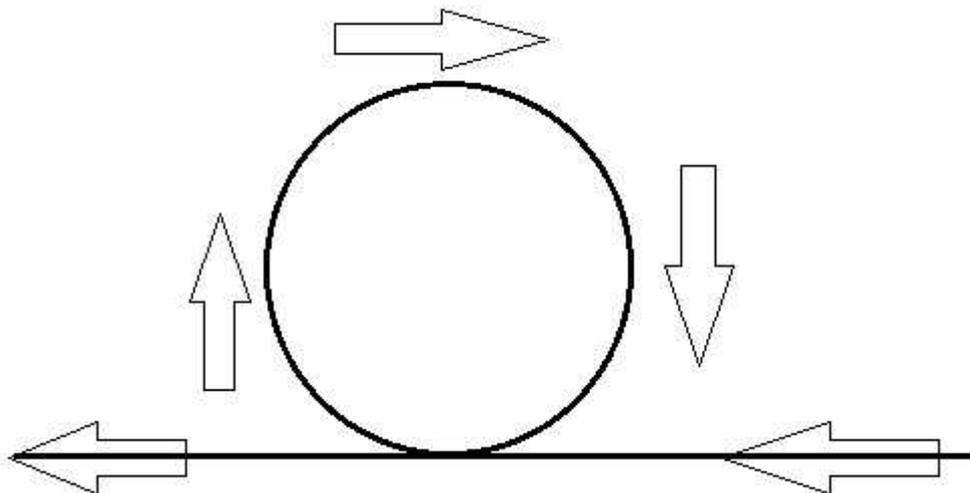


Nesta segunda alternativa para executar um desvio com o barco movido por Kite, apenas a posição do Kite na Janela de Vento é modificada

Varias manobras são aplicadas para a verificação da manobrabilidade de uma embarcação. Uma das manobras é descrita como manobra “Homem ao Mar”, isto é, Manobra de giro completo (Figura 69), na qual se presume que um dos tripulantes cai no mar e a

embarcação faz um círculo completo para retornar ao ponto, onde se encontra a pessoa boiando na água para salvá-la.

Figura 69: Manobra de Giro Completo

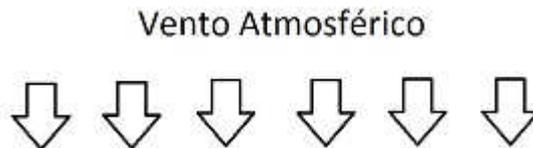


È necessário distinguir se a embarcação é movida por motores internos ou se é movida pelo vento, pois a direção da incidência do vento interfere com as possibilidades de executar a manobra: Uma embarcação movida pelo vento não tem força para movimentar-se contra o vento, ao dar uma volta completa, esta embarcação tem que superar o ângulo morto, que consiste em ângulo da direção do barco primordialmente contra o vento mais ou menos cerca de 45 graus. Desta forma uma embarcação movida pelo vento vai sofrer uma região de descontinuidade da força motriz, em veleiros tradicionais a própria inércia da embarcação é suficiente para superar e transpassar esta região a qual totaliza cerca 90 graus. No entanto, em barcos pequenos a inércia do movimento da embarcação é pequena e pode até impedir a conclusão desta manobra. Neste caso o barco deve fazer outro tipo de manobra, que consiste em retornar o barco atravessando a região oposta do vento, concluído cerca de 270 graus.

Mesmo que a ideia original de voltar ao ponto inicial de uma determinada manobra não se aplica em um barco bidirecional, pois existe a possibilidade de simplesmente retomar em sentido contrário em caso de naufrágio, esta manobra pode ser executada, com certas restrições:

Para as considerações á seguir consideramos o vento proveniente da direção superior da folha:

Figura 70: Direção do vento assumida



Nestas condições, a Janela do Vento do Kite está situada como mostrada á seguir:

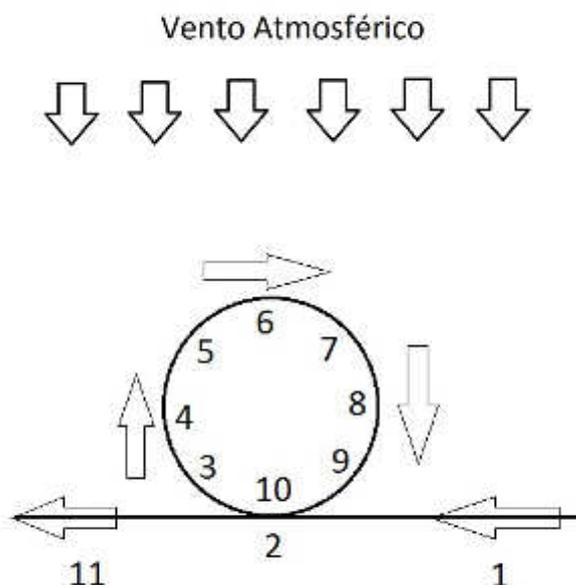
Figura 71: Posição da Janela de Vento assumida



Observa-se que existe uma região em ambos os lados de cerca 5 graus , em qual o Kite não voa, pois é necessário considerar não apenas a força estabelecido pelo Sustentação, mas a conjuntura de Sustentação e Arrasto. Para facilitar a demonstração á seguir, iremos considerar a janela constituinte de 180 graus. Esta simplificação não tem influência decisiva nas manobras, pois pode ser facilmente recompensada na prática.

Para isto é analisado a manobra Homen ao Mar de passo em passo mostrado na Figura 72 a seguir:

Figura 72: Definição de Regiões do Trajeto da Manobra Homem ao Mar



Analisando a sequência das posições de uma embarcação durante a Manobra de Giro Completo é verificado que ao contrário de navios com Motores internos a direção do Vento interfere em embarcações movidos por Kites.

### Sequência da Execução da Manobra de Giro Completo

No ponto inicial da manobra “1” o Kite está posicionado no lado esquerdo da janela do vento e a plataforma está em zero graus em relação com o casco:

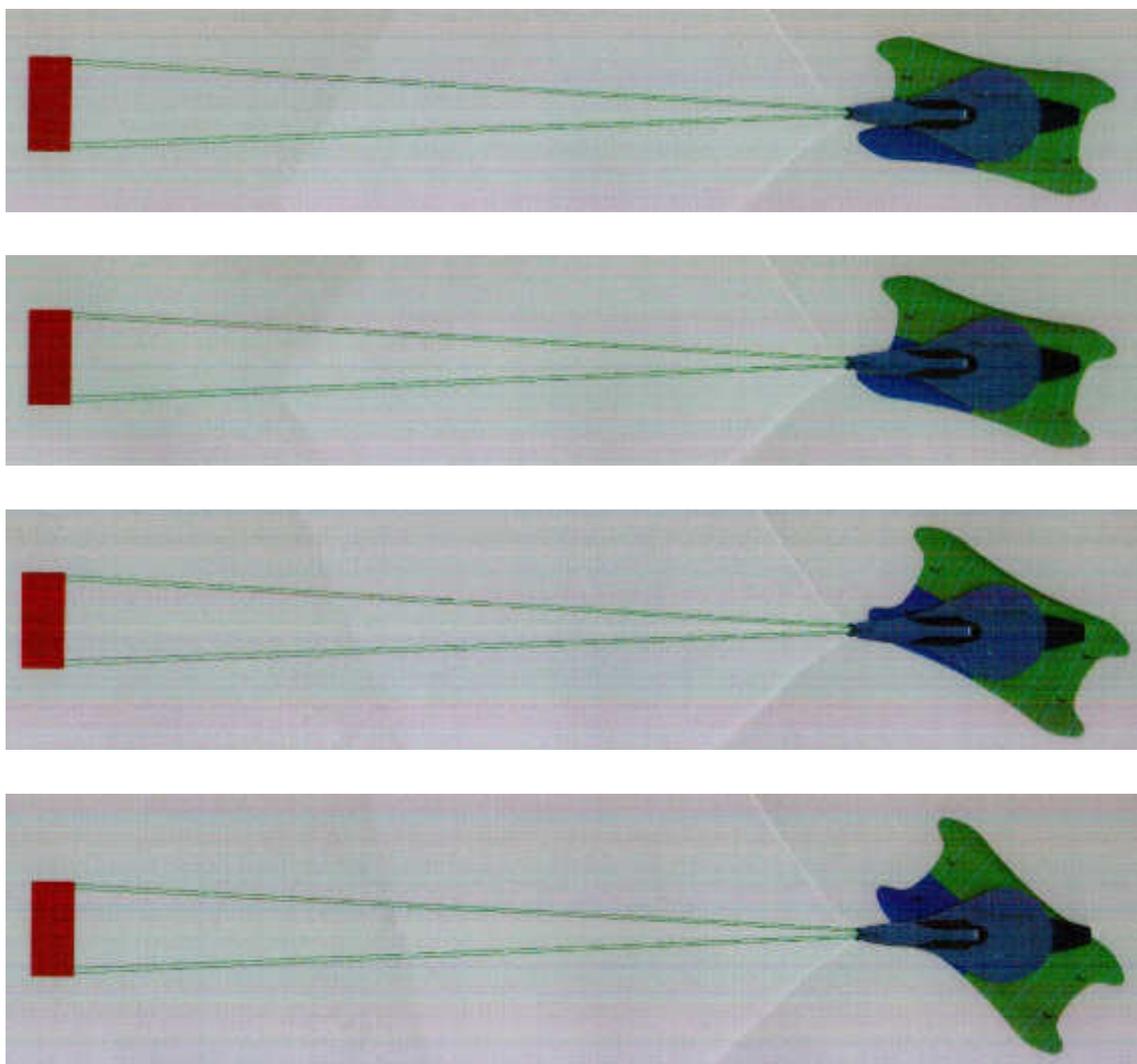
Figura 73: Ponto Inicial da Manobra Homem ao Mar



Obs.: Para distinguir a função da bidirecionalidade do barco nos desenhos do casco foram usados cores diferentes: em uma direção o casco é dividido em cor azul e verde e em outra direção o casco é todo verde.

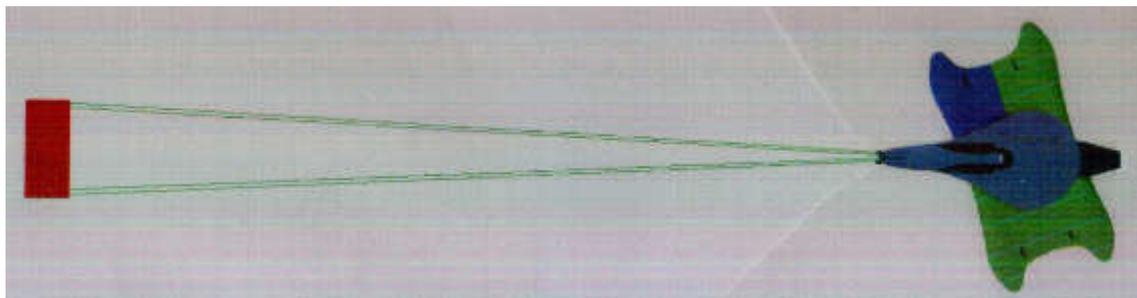
No ponto “2” é executada uma mudança contínua do ângulo da plataforma rotativa de zero graus para algum valor em torno de 45 graus até alcançar o ponto “3”:

Figura 74: Modificação gradual da Plataforma Azimutal entre os pontos 2 e 3 da Manobra



Após passar do ponto “3” continua-se incrementando o ângulo da plataforma até pouco antes de chegar ao ponto “4” (Figura 75). Observa-se que o ponto “4” é um ponto de descontinuidade da manobra com barcos movidos pelo vento, pois o vento incide com direção contrária à direção do barco.

Figura 75: Posição limite de Tração, em alguma região entre os Pontos 3 e 4



Para que seja completada a manobra é necessário que o casco do barco seja posto em direção tal, que não seja oposta ao vento. No caso de um barco bidirecional propõe-se que seja efetuada a mudança do sentido do barco (Figura 76) ao mesmo tempo que o Kite seja direcionado para o lado oposto da Janela de Vento:

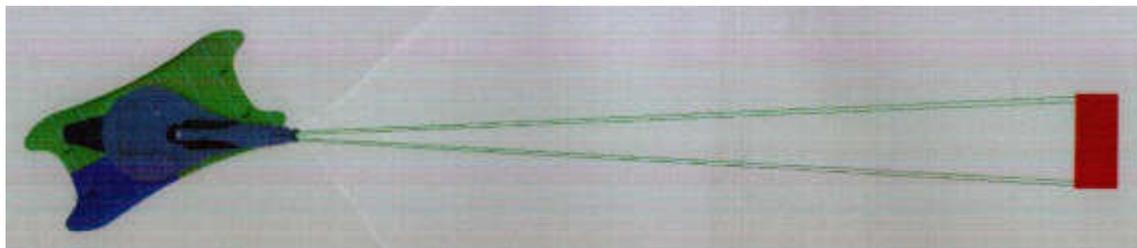
Figura 76: Kite guiado para o outro extremo da Janela de Vento e o Casco reposicionado



Obs.: Em barcos pequenos com inércia reduzida o ponto “4” consiste em direção impossível ou muito difícil a ser realizada de forma contínua. No barco bidirecional movido por Kite o piloto exerce a mudança da posição do Kite do ponto extremo esquerdo da Janela de Vento para o ponto extremo direito. Quando o Kite é levado de um ponto ao outro ele pode percorrer quase que “por cima” do barco, com isto é exercida uma força que tende a levantar o barco do lado onde se encontra a ponta da plataforma rotacional. Durante este procedimento o casco do barco é arrastado para uma posição conveniente e o piloto pode efetuar em seguida uma diminuta correção da direção do barco, posicionando o ângulo da plataforma como mostrado acima. O casco do barco agora está se movendo em direção oposta: o que era antes a popa tornou-se agora a proa.

Após efetuar estes procedimentos, o piloto diminui o ângulo da plataforma rotacional até atingir o ponto “5”, como mostra a Figura 76:

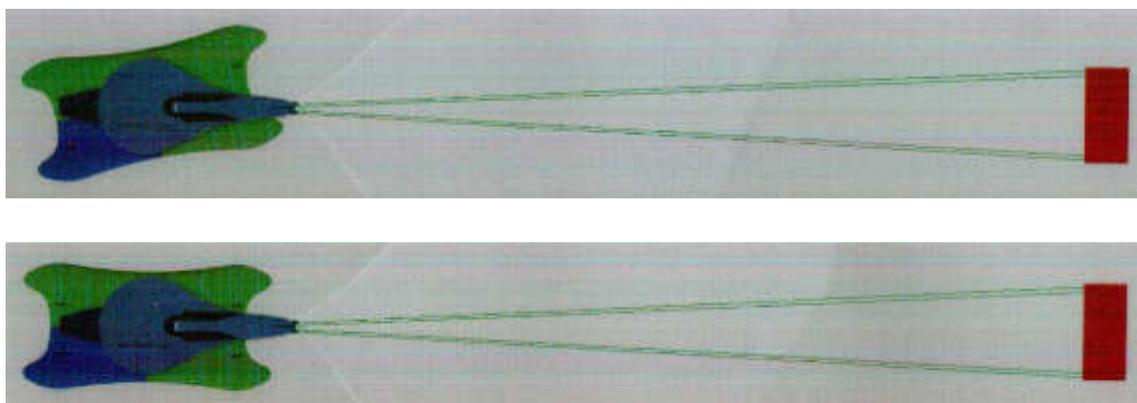
Figura 77: Posição da Plataforma Azimutal em Ponto 5 da Manobra



Obs.: Este procedimento neste ponto requer força física do piloto, pois é necessário vencer o momento de restauração direcional hidrodinâmico do casco.

Diminuindo o ângulo da plataforma continuamente até zero graus (relativo á direção oposta “toda verde”), é alcançado o ponto “6” mostrado na Figura 78:

Figura 78: Posições da Plataforma Azimutal ao chegar ao Ponto 6 da Manobra

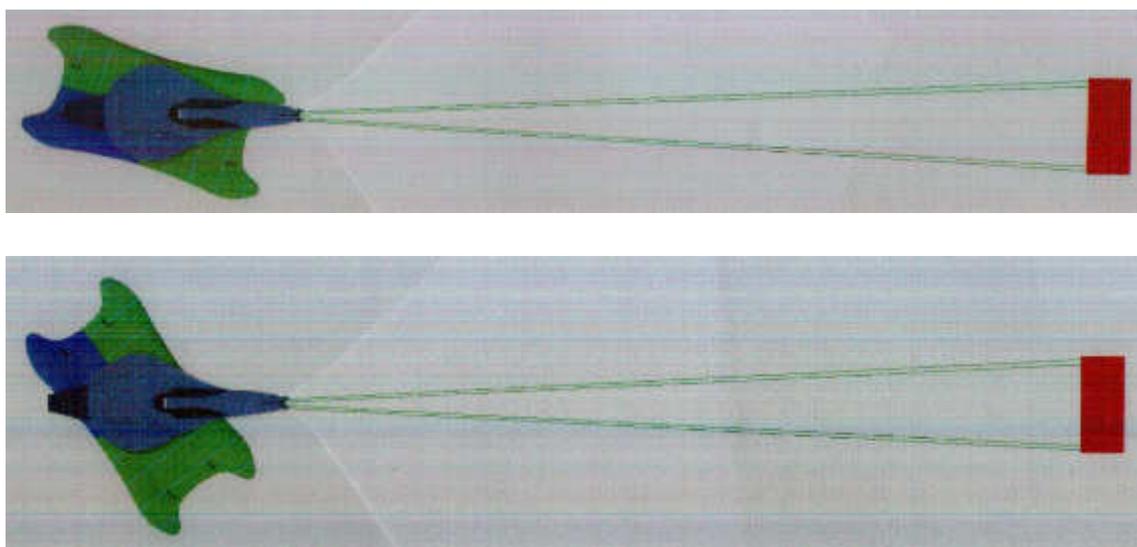


Ao alcançar o ponto “6” pode-se iniciar o retorno de duas alternativas maneiras: ou o Kite é utilizado no regime de Sustentação ou se aproveita o Arrasto para ir com o barco á favor do vento.

### Alternativa primeira –regime de Sustentação:

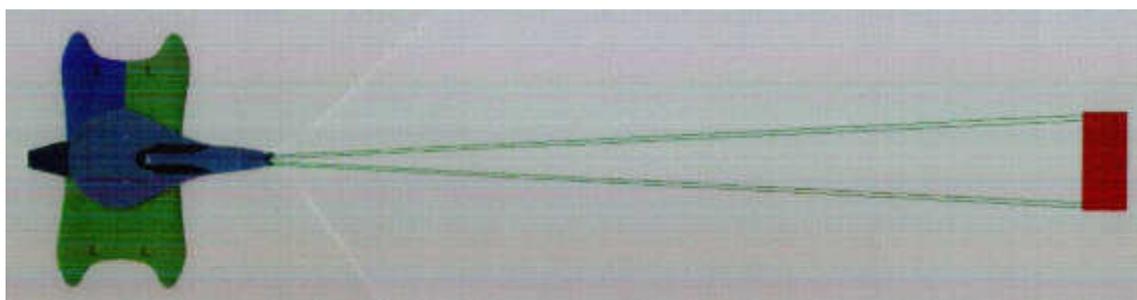
Aumenta-se o ângulo da plataforma rotacional para o lado oposto como mostrado abaixo,

Figura 79: Posições da Plataforma Azimutal entre os Pontos 6 e 7 da Manobra



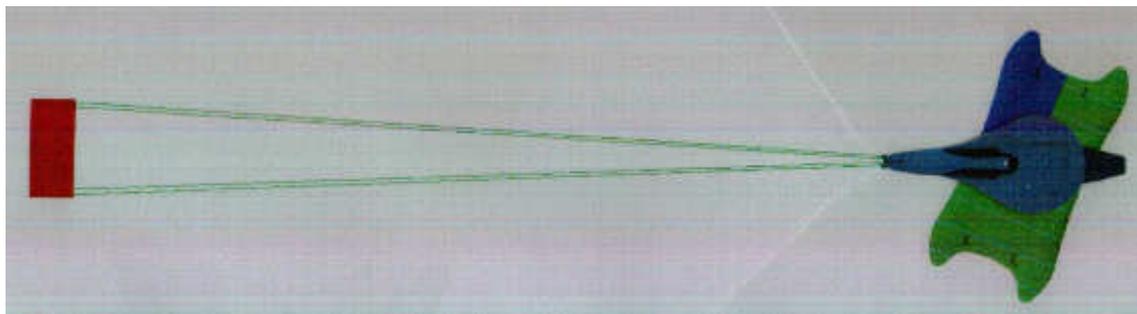
Neste caso o Ponto “8” é outro ponto descontínuo: é possível manter o Kite na posição de 90 graus em relação ao casco, porém o Kite quase não exerce força efetiva de tração:

Figura 80: Posição da Plataforma Azimutal no Ponto 8 da Manobra



No regime de Sustentação as velocidades do barco em favor do vento são superiores que em regime de Arrasto, porem se faz necessário outra mudança do posicionamento do Kite para o lado esquerdo da Janela de Vento como mostra a Figura 80.

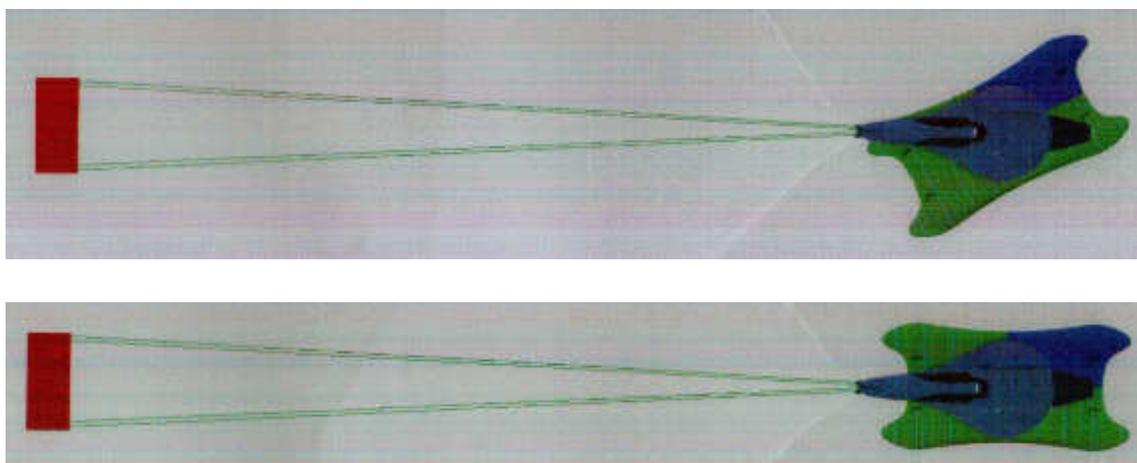
Figura 81: Posição da Plataforma Azimutal entre os Pontos 8 e 9 da Manobra



Obs.: Desta vez este procedimento não vai gerar muita modificação na direção do casco, pois o barco já se encontra primordialmente em direção á favor do vento.

Para alcançar o ponto “9” e concluir a manobra passando nos pontos “10” e “11” é necessário apenas diminuir o ângulo da plataforma rotacional (Figura 82):

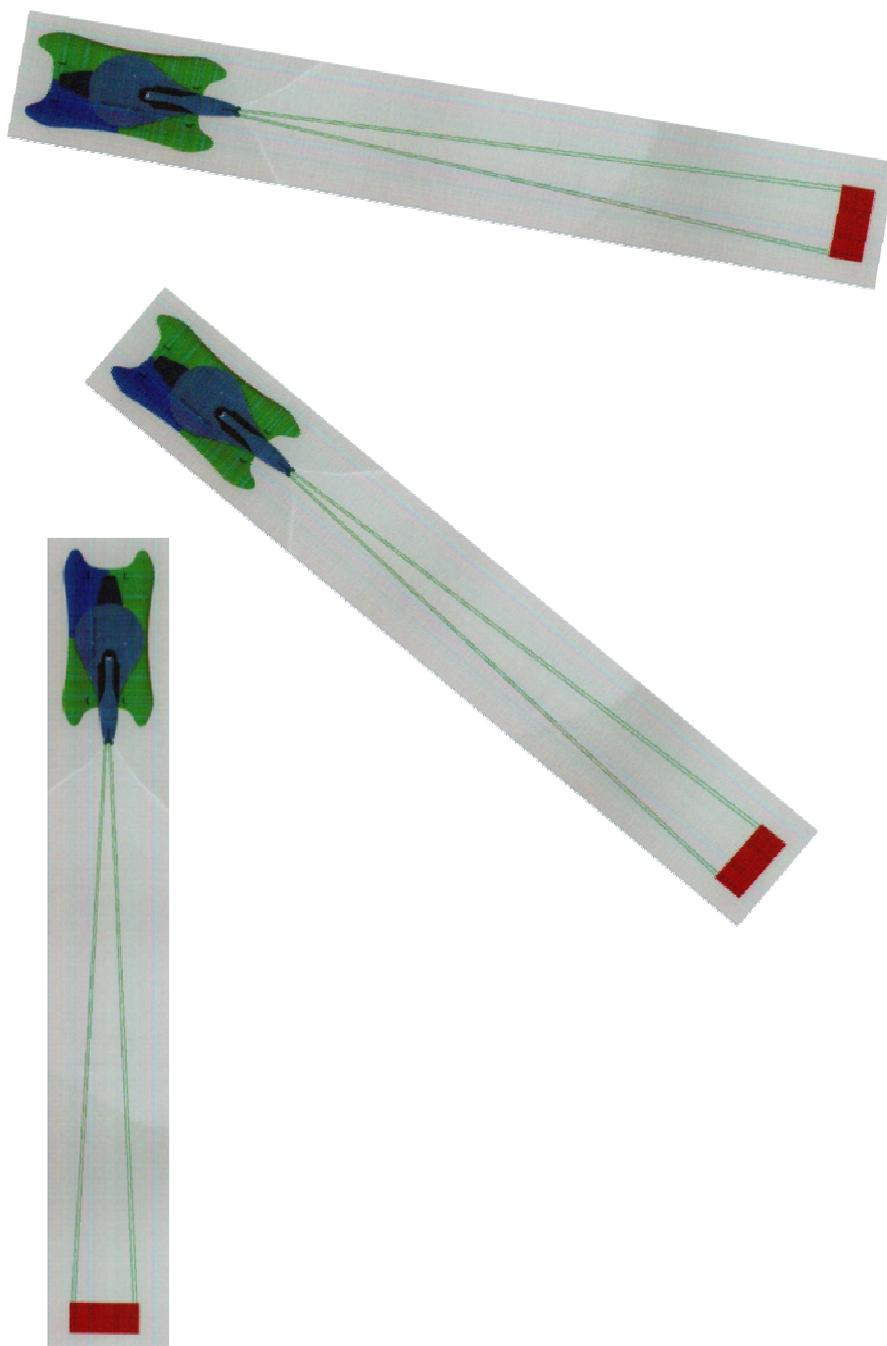
Figura 82: Posições da Plataforma Azimutal entre os Pontos 9 e 11 da Manobra



### Segunda Alternativa – regime de Arrasto:

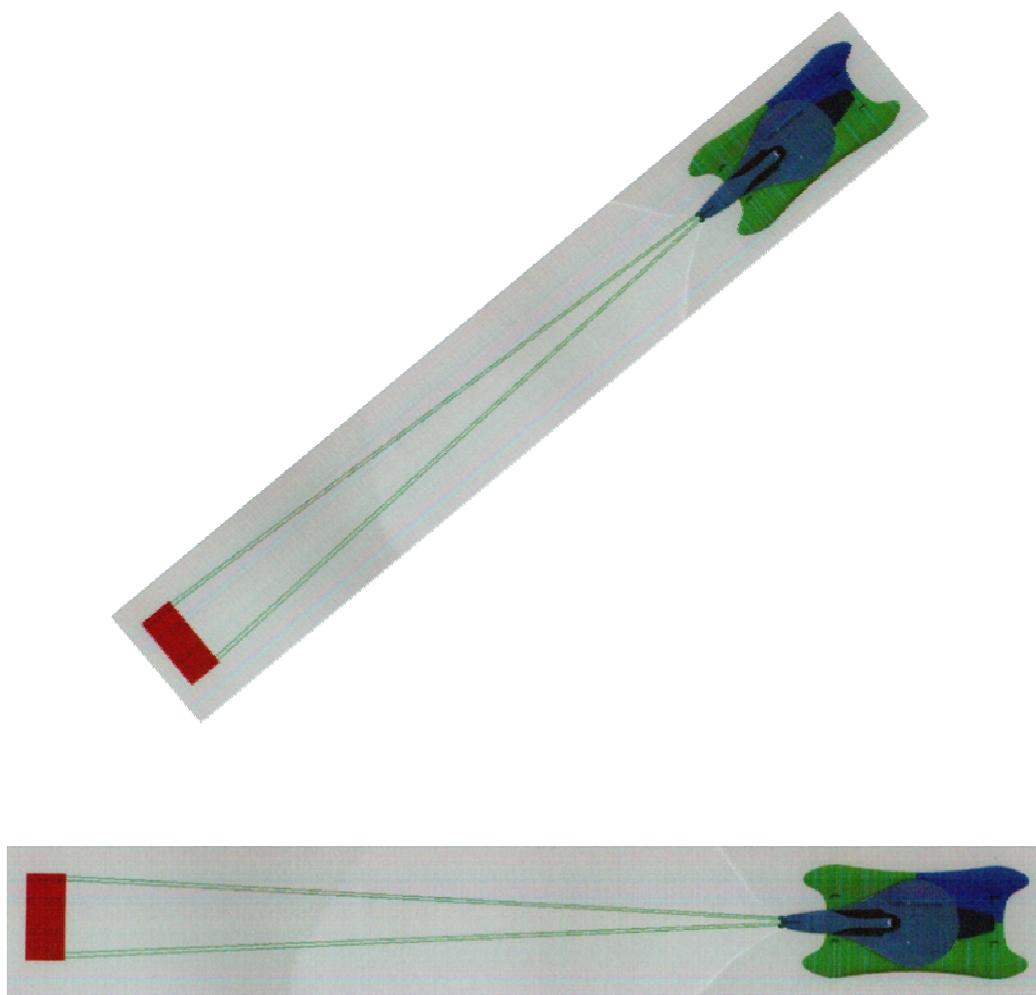
Após passar pelo ponto “6” da manobra é utilizada a propriedade do Kite de tracionar o barco em diferentes direções, contudo vai haver uma parcela de forças atuantes no Kite constituídas pelo Arrasto.

Figura 83: Mudança Gradual da Posição do Kite na Janela de Vento entre os Pontos 6 e 8



No Ponto 8 o regime de tração do Kite é caracterizado pela tração gerado unicamente pelo Arrasto. A direção do barco é idêntica com a direção do vento. Este tipo de tração é desfavorável á geração de velocidades superiores que a do vento. O Kite é levado para o lado esquerdo (visto do ponto de vista do piloto) da Janela de Vento, sendo mantido o ângulo da plataforma azimutal (Figura 84).

Figura 84: Modificação do Rumo entre os Pontos 9 até 11 da Manobra

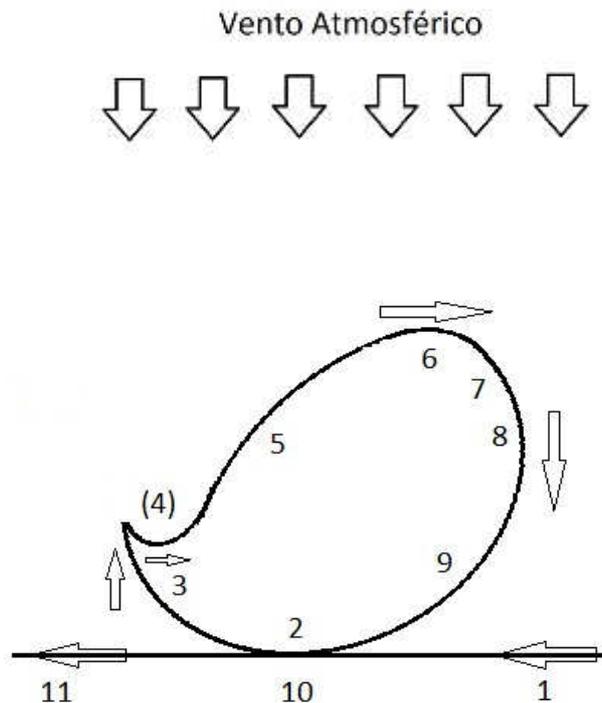


Obs.: Também nesta alternativa houve uma mudança de sentido da velocidade do casco – no início da manobra o lado do casco bicolor estava sendo a proa, ao final da manobra este mesmo lado esta sendo a popa.

A manobra executada com barcos movidos pelo vento com pouca inércia não forma um círculo perfeito. Havendo a necessidade de executar um procedimento diferenciado quando o

barco alcança uma direção com ângulo agudo contra o vento, a forma do trajeto percorrido assume uma forma parecida como ilustrado na Figura 85.

Figura 85: Exemplo de Manobra de giro completo executado por barcos movidos por Kites



Desta forma a manobra “Homem no Mar” é executada de forma diferente por embarcações movidos por Kites que em navios convencionais. O piloto da embarcação movida por Kite deve executar uma sequência de operações para ajustar o rumo da embarcação. No entanto a manobra não faz muito sentido prático, uma vez que o barco protótipo tem características bidirecionais e em caso de haver necessidade de retornar a algum ponto do percurso, é possível reverter a direção da embarcação e retornar diretamente sem necessidade de efetuar uma curva como mostrada na Figura 85.

## **Capítulo 4 – Desenvolvimento Metodológico da Fabricação do Protótipo**

O Projeto de Fabricação do Protótipo envolveu algumas adaptações necessárias ou pelo alto custo ou por processos de fabricação limitados. Basicamente o Protótipo foi fabricado no Estaleiro Jacaremarine de Cabedelo de acordo com os desenhos do Projeto.

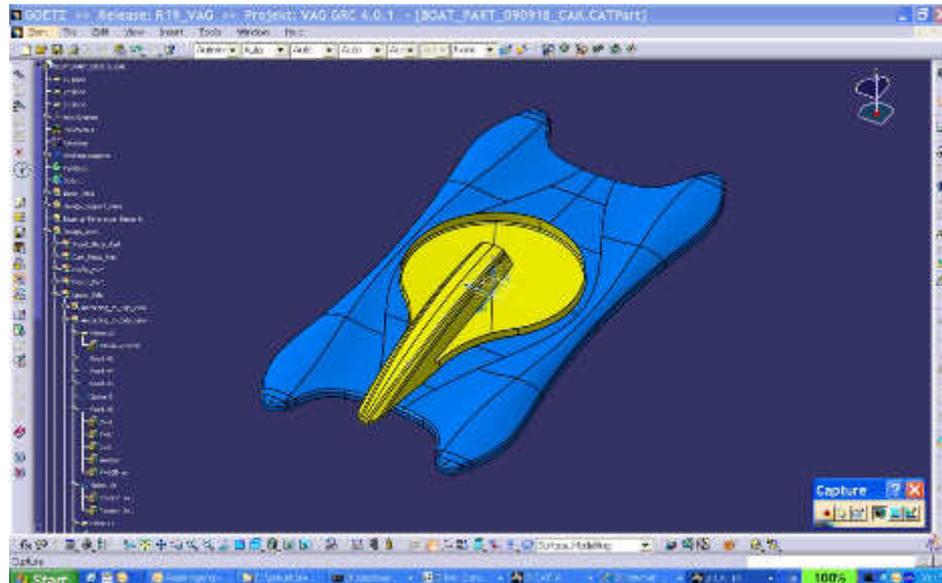
Houve bons resultados quanto á função dos componentes. Durante o periodo de fabricação houve frequentes visitas ao estaleiro para reuniões técnicas.

### **4.1 Manufatura de Barco movido por Kite**

A manufatura de um barco que deve servir como protótipo segue uma lógica individual: Considera-se que haja necessidade de acertos de calibragem de sistemas, é também frequente a geração de novos dados e conhecimentos através da utilização do protótipo na prática. Este processo pode se tornar custoso e demorado. As condições dimensionais finais podem variar significativamente do projeto original devido às propriedades de materiais e processos aplicados na fabricação.

A utilização de programas computacionais para o projeto de máquinas fornece a flexibilidade necessária para efetuar modificações dimensionais em peças e agregados tanto na produção industrial em série como na manufatura de protótipos. Foram utilizados sistemas de projeto de máquinas computacionais CAD em 3D mostrados na Figura 86

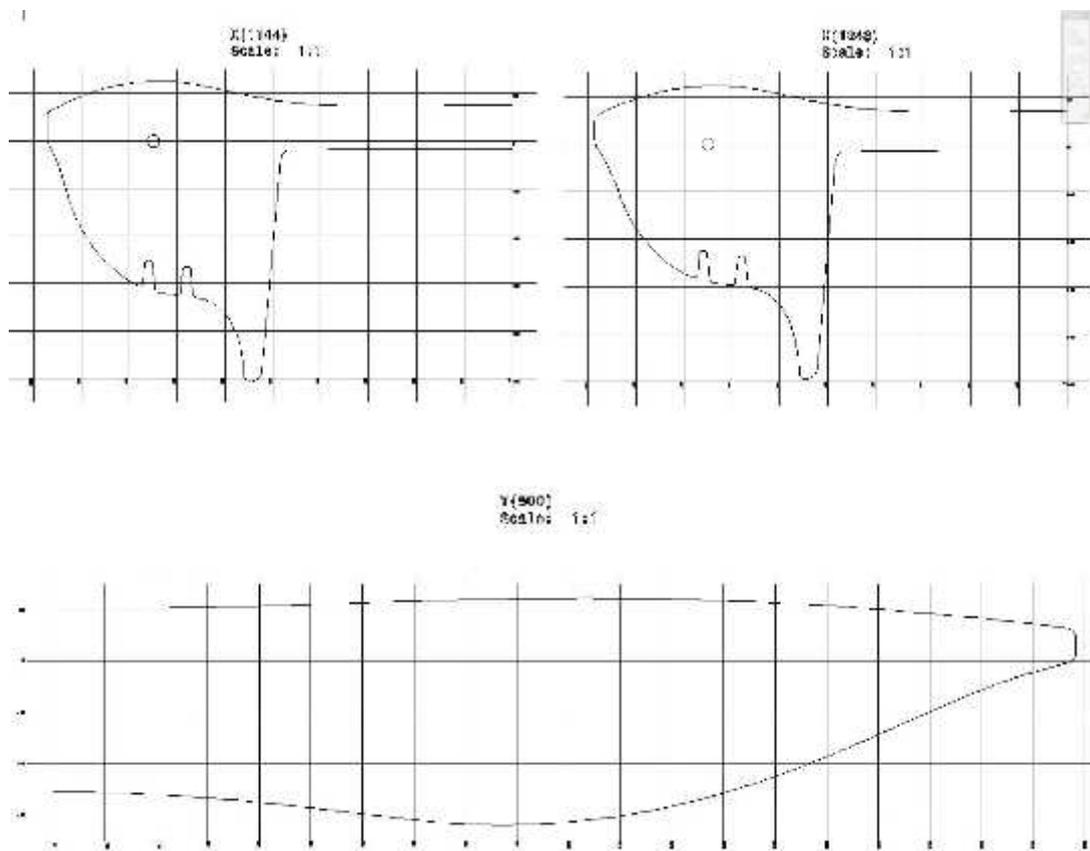
Figura 86: Modelo computacional tridimensional da estrutura básica do protótipo



## 4.2 Construção do Casco

Em sequência com a determinação dimensional do casco virtual são elaborados perfis equidistantes os quais são plotados em escala real (Figura 87) e servem para produzir um molde positivo inicial chamado de PLUG.

Figura 87: Três exemplos de perfis de corte extraídos do modelo computacional tridimensional



#### 4.2.1 Plugs e Moldes

Á partir dos dados computacionais foram gerados as curvas de corte em pontos equidistantes ao longo do comprimento do barco. Com estas curvas foi construído o "plug" do casco do barco, isto é um modelo positivo que serve para fabricar o molde negativo mostrado na Figura 88:

Figura 88: Duas fotos do modelo positivo real (Plug)



#### 4.2.2 Laminação, Materiais e Acabamento

No caso específico do projeto, com o barco representando dupla simetria, tanto através do plano transversal como no plano longitudinal do barco, foi possível diminuir os custos para a fabricação do plug e do molde, optando-se pela manufatura de apenas um lado longitudinal e obtendo-se duas peças iguais á partir do molde (Figuras 89, 90 e 91).

Figura 89: Duas fotos da fabricação do molde negativo



Figura 90: Duas fotos da parte inferior do protótipo durante o início da montagem



Figura 91: Duas fotos da fase de montagem intermediária do protótipo



Na montagem do casco ainda foram considerados dispositivos de segurança para evitar o afundamento pleno do protótipo em caso de avaria através do enchimento do volume do casco com garrafas PET além da divisão do casco em 2 vezes 3 compartimentos estanques, divididos por lâminas de fibra de vidro (Figura 92).

Figura 92: Garrafas PET para impedir o afundamento do barco em caso de avaria



O novo casco apresenta peso inferior ao casco do modelo do barco construído no período entre 2007 e 2008 pela utilização de métodos de manufatura mais especializada em barcos. A estanqueidade do casco ficou garantida com a montagem fixa do convés na parte inferior do casco (Figura 93).

Figura 93: Montagem final do casco flutuador do protótipo



### **4.3 Construção da Plataforma Azimutal**

A plataforma azimutal constituindo a parte superior do protótipo foi reaproveitada do modelo Mock-Up, isto é um modelo de estudo de desenho realizado anteriormente ao atual projeto e concluído em 2008. Originalmente a plataforma azimutal foi fabricada no intuito de verificar funções básicas e estética da embarcação. Apesar de manufaturada de forma artesanal, a plataforma recebeu alterações de diversos componentes mecânicos e pôde ser aproveitada no presente projeto,

#### **4.3.1 Plugs e Moldes**

Antes da fabricação do molde negativo foi elaborado o molde positivo da plataforma azimutal. Neste processo são utilizados materiais simples como madeiras e massa plástica. O plug não é re-utilizado. A Figura 94 mostra a foto tirada em meio da fabricação do plug da plataforma azimutal.

Figura 94: Plug da plataforma azimutal em meio da fabricação



#### **4.3.2 Laminação, Materiais e Acabamento**

A plataforma azimutal foi laminada com fibra de vidro a partir de um molde negativo. A parte inferior da plataforma azimutal foi equipada com uma estrutura de madeira robusta para suportar os possíveis elevados esforços e impactos submetidos pela ação de ondas. Foi efetuado o acabamento final das superfícies expostas.

O Mock-Up foi testado com diversas tecnologias experimentais sem precedentes (Figura 95). Em testes no mar algumas destas tecnologias foram aprovadas, principalmente a parte concernente ao controle do Kite. O leme foi descartado no presente projeto.

Figura 95: Fotos do barco Mock-Up com leme



A Figura 96 mostra a plataforma azimutal do Mock-Up de 2008 a qual posteriormente foi adaptada e montada no protótipo de 2011 e equipada com os novos subsistemas mecânicos para os controles do Kite, controle de rumo do barco e o encosto para um piloto.

Figura 96: Plataforma azimutal montada com os subsistemas mecânico



### 4.3.3 Acoplamento da plataforma Azimutal no casco flutuante

A plataforma azimutal deve ser montada no casco flutuante dentro permitindo apenas o movimento rotacional. A guia em suas partes inferior e lateral é formada pela parte laminada do casco e o lado superior da guia é formado pela engrenagem grande aparafusada no casco flutuante mostrado na Figura 97.

Na Parte inferior da plataforma azimutal encontram-se os dispositivos adjacentes mostrados na Figura 98, isto são as roldanas presas no chassis, a pequena engrenagem e a trava.

Figura 97: Montagem da engrenagem grande para formar a guia



Figura 98: Foto do lado inferior da plataforma azimutal



#### 4.3.4 Sistema para direção do barco

Para controlar o rumo do barco é necessária a instalação de um volante acoplado a uma engrenagem pequena com diâmetro externo cerca 350mm (Figura 97). O eixo com cerca 15 mm de diâmetro (5/8”) e comprimento de cerca 200mm que conecta o volante com a engrenagem é provido de dois furos especiais e reforçados de 5mm+ de diâmetro.

Concluiu-se a montagem da parte inferior do barco com a fixação da engrenagem utilizada para o controle direcional do barco mostrado nas Figuras 99 e 100.

Figura 99: Montagem da engrenagem do controle direcional do barco



Figura 100: Fotos Pequena engrenagem (direita) e Volante montado (esquerda)



#### 4.3.5 Sistema de trava da plataforma azimutal

A trava ajuda a manter o barco em curso. Foi executada em madeira dura (Jacarandá) mostrado nas fotos da Figura 101. As forças exercidas na trava são elevadas pela possibilidades de impactos durante a operação. A função da trava é travar o movimento rotativo da plataforma azimutal em relação ao casco flutuante. A forma da trava encaixa na engrenagem.

Figura 101: Fotos do sistema de trava utilizada no protótipo, em madeira



A trava é acionada por um pedal (Figura 102). A estabilidade do pedal é realizada pelo total de 4 tiras de material sintético (teflon) fixados na lateral do interior do plataforma azimutal os quais guiam o pedal.

Figura 102: Duas fotos detalhadas do acionamento da trava por pedal



O pedal e a trava são conectados por algum cabo fino (eventualmente 3mm Nylon ou Spectra). A trava deve ter acionamento positivo (travar) por um cabo elástico e acionamento negativo (isto é distravar) pelo pedal.

#### 4.3.6 Sistema para controle do Kite

O controle do Kite envolve basicamente quatro funções:

- Deslocamento de uma parte das forças do Kite para a ponta do plataforma azimutal

- Controle do ângulo de ataque do Kite
- Sistemas de segurança – desconexão de emergência
- Controle do rumo do Kite

Deslocamento de uma parte das forças do Kite para a ponta do plataforma azimutal

O sistema instalado para deslocar as forças do Kite para a ponta do plataforma azimutal é mostrado na Figura 103 abaixo.

Figura 103: Foto das roldanas instaladas no bico do plataforma azimutal



A construção do conjunto de roldanas deve proporcionar o bom funcionamento do sistema do controle do Kite, que envolve o controle direcional do Kite, o ângulo de ataque, é necessário que o escape das linhas em caso de emergência seja garantida, o que torna necessário a utilização de rolos bem maiores que aqueles utilizados sem sistema de segurança. As linhas do Kite apresentam capacidades elevadas de tração, mas esta capacidade é diminuída nos pontos onde seja necessário estabelecer nós, desta forma, o projeto das roldanas deve considerar o escape das linhas do Kite equipados com nós em suas extremidades e respectivas camadas protetoras das linhas.

## Controle do ângulo de ataque do Kite

A Figura 104 mostra fotos do sistema do controle do ângulo de ataque do Kite. O ângulo de ataque é responsável pela velocidade do Kite e tem influência sobre sua força. O ângulo de ataque é definido através do comprimento relativo entre as cordas dianteiras e a média de ambas as cordas traseiras. A solução adotada varia o comprimento das cordas dianteiras do Kite.

Figura 104: Dois sistemas de guia de cordas e o total de 14 roldanas



Para manter o ângulo de ataque em posição, a corda auxiliar é fixada com um prendedor de cordas“mostrado na Figura 105.

As linhas dianteiras do Kite (linhas de força) são conectadas diretamente no desconector de linhas em algum local apropriado dentro do plataforma azimutal, sem utilização de roldanas.

Figura 105: Prendedor para manter as cordas em posição requerida pelo piloto



### Sistemas de segurança – desconexão de emergência

Os sistemas de segurança para soltura das linhas do Kite são integrados no lado interior do bico da plataforma azimutal (Figura 106). O acionamento do dispositivo é provocado por puxada de linha de emergência localizada na lateral posterior do bico da plataforma azilutal.

Figura 106: Duas fotos dos desconectores das linha do Kite



Foram instalados 3 desconectores das linhas do Kite. A foto à esquerda da Figura 106 mostra aparelho que prende e desconecta uma linha dianteira ou as duas linhas dianteiras do

Kite. Outro desconector igual é montado atualmente no lado oposto do plataforma azimutal e tem a mesma função. O terceiro desconector está mostrado na foto da direita.

Os desconectores foram produzidos com placa de Nylon de cerca 110 x 60 e 8 mm de espessura. Tem um eixo de cerca 25 mm de comprimento e diâmetro de 15 mm (5/8") maciço furado e rosceado com rosca 5mm. Os ganchos com comprimento de cerca 150mm são de bastões curvados de inox e rosca 5mm em um lado. O sistema de liberar o gancho contem uma pequena mola em tubinho lateral. A mola fecha ou trava o gancho, uma corda (preta) fixada no pino que corre no tubinho aciona o liberação do gancho (e das cordas do Kite).

### **Controle do rumo do Kite**

O controle do rumo do Kite é efetuado através da variação do comprimento relativo das linhas traseiras do Kite. Para efetuar isto, será usada uma barra para dirigir o Kite, fabricada em madeira mostrado na Figura 107 abaixo.

Figura 107: Barra de direção para o controle direcional do Kite



#### 4.3.7 Assento e Encosto

O encosto do assento para o piloto mostrado na Figura 108 foi produzido em fibra de vidro e recebeu uma camada de borracha além de estatores para segurá-lo. Os estatores permitem a ajustagem da posição e do ângulo do encosto, de acordo com a estatura do piloto.

Figura 108: Foto do encosto para o piloto montado no protótipo



Desta forma obteve-se o conjunto completo de um novo barco com a parte inferior flutuante (casco) desenhada no CAD e a plataforma azimutal. A fabricação do protótipo foi finalizada com a montagem final dos componentes (Figura 109), o qual constitui a base do trabalho aqui apresentado. As medidas do protótipo fabricado são:

Casco:	4015 x 2000 x 680 mm;	peso: 140 kg
Plataforma azimutal:	3170 x 1370 x 710 mm;	peso: 125 kg

A extremidade do bico da plataforma montada está localizada a 2000 mm do centro longitudinal e transversal do casco (raio). A altura total (pontal) da embarcação montada é de 1450 mm.

Figura 109: Fotos do barco protótipo com novo casco e novos dispositivos



Após a conclusão da manufatura do novo barco foi iniciada a fase de testes e ajustes, para concluir o projeto com respectivas avaliações.

## **Capítulo 5 – Testes Realizados com o Protótipo**

Durante a fase de teste, foram observados todos os aspectos que envolvem a prática do velejo com o protótipo desde o manuseio até a praia até o retorno seguro após o teste no mar. Foram colhidos dados da navegação por aparelho GPS marítimo e os dados atmosféricos. Foi montada uma pequena estação meteorológica para medir a velocidade do vento. Outras grandezas como corrente marítima, temperatura e umidade do ar foram avaliadas.

Como não havia informações dos detalhes de pilotagem do protótipo, houve uma extensa fase de aprendizagem para pilotar o protótipo. O controle do Kite exige boa coordenação e um pouco de treino mas após acostumar-se, o piloto é capaz de controlar o barco nas diversas manobras.

### **5.1 Materiais e Metodologia para coleta de Dados**

O projeto prevê o uso de um programa CAD para definir a geometria dos componentes do barco, que deve ser manufaturado em seguida. Deverão ser elaborados testes no mar para obter dados práticos e os dados serão analisados, computados e cadastrados. São necessários meios computacionais, capacidade para manufatura de um barco protótipo utilizando materiais compostos e equipamento de leitura e processamento de dados obtidos em experimentos.

A metodologia segue o conceito do desenvolvimento de um barco protótipo inédito através do uso de programas computacionais paramétricos para projetar a integra do barco protótipo, definindo assim detalhadamente sua geometria. Com a geometria definida é possível executar a manufatura das peças constituintes do barco. Acompanhando a produção das peças com o retorno das informações obtidas no controle da qualidade das peças manufaturadas. Estas atividades citadas abrirão a possibilidade de velejar com o barco, utilizando apenas um Kite, executar experimentos, colher dados e processá-los para apresentação dos resultados em Tabela e sua interpretação.

## **Materiais**

Para executar os testes deste trabalho foram utilizados:

- Barco protótipo fabricado com material composto e componentes mecânicos
- Carrinho de reboque para o barco protótipo
- Kite *F-One Bandit Dos* 14 m<sup>2</sup>
- 4 linhas de Spectra  $\phi$  2 mm comprimento 20 m
- Medidor de velocidade do vento *Windmaster 2*
- Medidor de velocidade do vento *DeHygro*
- Aparelho GPS marítimo *Garmin Map 76S*
- Haste de madeira de 6 metros de comprimento
- Rosa de vento
- Biruta
- Bexiga de festa
- Suporte de madeira
- Bússola Magnética
- Webcam HD *Microsoft*
- Cabo Extensor USB com 10 metros e Amplificador
- Computador Laptop

## Montagem dos equipamentos

Os anemômetros, a webcam e o relógio foram fixados no suporte de madeira feito sob medida para comportá-los como mostrado na Figura 110 e colocado na ponta superior da haste com 6 metros de altura, mostrado na Figura 111. A base foi fixada na areia próximo ao mar e apoiada com a ajuda de três pinos de fixação e cordas ligadas ao mastro. Essa altura foi escolhida para medição do vento para se obter dados mais refinados pois, quanto mais próximo a superfície, mais turbulento se torna o vento e a literatura garante que a mais de 5 metros de altura esse efeito torna-se desprezível.

Figura 110: Parte superior da haste com 2 anemômetros, relógio e Webcam



A webcam utilizada para captação das imagens dos anemômetros e do relógio e com um cabo extensor USB de 10 metros foi ligada ao laptop. O relógio, sincronizado com o GPS, foi colocado entre os anemômetros e com isso foi possível verificar continuamente durante todo o percurso do barco a velocidade do vento, a temperatura e a hora da medição.

Figura 111: Haste com 2 anemômetros, relógio e Webcam montado



A direção do vento foi medida com uma biruta caseira feita com uma linha com as duas pontas fixadas na haste (Figura 112). A rosa dos ventos com precisão de  $15^\circ$  foi desenhada em uma tábua de madeira quadrada com um furo no centro para ser colocada na base (Figura 111). Nesta tábua encontram-se desenhados os nortes magnético e geométrico, que para Maria Farinha defasava-se de aproximadamente  $22,22^\circ$  W e para Barra de Cunhaú  $21,46^\circ$  W locais do percurso analisado com o barco. Com a ajuda da bússola magnética foi possível posicionar a rosa dos ventos na posição correta do norte geométrico como mostra a Figura 109.

Figura 112: Foto da Escala para Medição da Direção do Vento - Rosa de Vento



O aparelho GPS e a câmera foram fixados à plataforma azimutal do barco por suportes também em madeira. A câmera foi posicionada de forma a visualização completa do GPS e da plataforma azimutal para obter fotos durante o percurso para a posterior identificação do ângulo da plataforma azimutal e a hora específica marcada pelo GPS.

### **Coleta de Dados**

#### **- Corrente Marítima**

O primeiro passo para se iniciar a coleta de dados foi verificar a velocidade da corrente marítima. Para isto o GPS foi preso a uma bexiga cheia com água doce e um pouco de ar para garantir flutuabilidade e colocado a efeito correnteza. Em seguida os dados coletados foram descarregados no software Google Earth, que possui suporte para dispositivos Garmim. Os seguintes valores foram encontrados:

Maria Farinha – Velocidade Média = 0,0933 Km/h (desprezível)

Barra de Cunhaú – Velocidade Máxima = 2,63 km/h

#### **- Dados do Vento**

A velocidade do vento foi medida com os anemômetros e um vídeo feito com a webcam e gravado diretamente no computador durante todo o percurso do barco. A direção do vento e sua variação média foi medida com o a biruta e a rosa dos ventos. A coleta desta foi feita a cada cinco minutos e anotada em uma planilha. Este intervalo foi escolhido devido a grande estabilidade direcional do vento nas regiões de teste.

#### **- Umidade relativa**

A variação umidade relativa no local é desprezível e seu valor médio é 90%

#### **- Temperatura ambiente**

A temperatura foi medida com o anemômetro chinês que possui um termômetro.

#### **- Dados do teste do barco no mar**

Todo o percurso do barco foi coletado com o GPS Garmin 76. A visualização dos dados foi possível através do Google Earth que possui suporte para este GPS. Com isso, as posições, direção do barco e seus respectivos horários puderam ser obtidos para se calcular a velocidade do barco nas diferentes orientações durante o caminho.

### **Tratamento de dados**

Foi elaborada uma tabela para organizar os dados e calcular as velocidades do barco e direção em relação ao vento.

Os dados obtidos através do GPS foram:

- Posição Instantânea do Barco;
- Hora;
- Direção do Barco;

Dados obtidos através dos Anemômetros:

- Velocidade do Vento;
- Velocidade média do Vento;
- Velocidade Máxima do Vento;
- Temperatura.

Dados coletados manualmente:

- Ângulo do Convés
- Direção do Vento
- Variação da Direção do Vento

A partir desta coleta pode-se calcular na Tabela:

- Velocidade do Barco
- Velocidade média do Barco
- Variação da Direção do Barco
- Ângulo Máximo entre Direção do Vento e do Barco
- Ângulo Mínimo entre Direção do Vento e do Barco
- Ângulo Médio entre Direção do Vento e do Barco

## 5.2 Testes de Equilíbrio

Antes de navegar no mar foram testados os mecanismos de controle do Kite em terra, na praia, com um Kite de 5 m<sup>2</sup>. O controle direcional do Kite é exato e rápido. O controle do ângulo de ataque do Kite recebeu dois amarradores adicionais para suportar as forças transmitidas pelas linhas do Kite.

O barco protótipo mostrou-se subjetivamente estável na prática de navegação no mar. Em nenhum momento durante os numerosos testes a embarcação mostrou tendências de abalroamento ou perda de estabilidade hidrodinâmica. A avaliação numérica da impressão subjetiva positiva deve ser avaliada com futuros testes e equipamento de medição de acelerações instalados em tres ou mais pontos do casco e relacionado com medições da tensão nas linhas do Kite.

## 5.3 Testes de Resistência dos Componentes

Os testes no mar também serviram para verificar a resistência dos componentes do protótipo. Alguns incidentes com quebra de algum componente aconteceram inicialmente pela falta de habilidade de pilotagem: O Kite ficou danificado ao bater com violência na superfície d'água, e em outros testes três linhas romperam em decorrência de incidências com o Kite.

A maioria dos componentes não apresentou sinal de fadiga e funcionou adequadamente até o término dos testes. No entanto o mecanismo da trava da plataforma azimutal mostrou-se frágil no uso frequente e os elevados impactos provocados em algumas manobras superaram a resistência da laminação local resultando duas vezes em quebra da componente. Durante um teste no mar uma das cordas do sistema de acionamento da trava rompeu e a plataforma azimutal travou.

Outro sistema que teve que ser modificado após início dos testes foi o sistema de controle do ângulo de ataque do Kite que é sujeito no barco protótipo a cargas elevadas e recebeu duas amarras adicionais.

As roldanas localizadas no bico da plataforma azimutal foram fabricadas em Nylon comum sem a capacidade de absorver radiação ultravioleta por tempos prolongados sem tornar-se quebradiço.

#### **5.4 Teste de Segurança**

Antes de iniciar os testes no mar foram efetuados testes para verificar o funcionamento e a confiabilidade dos sistemas de soltura das linhas do kite. O sistema mostrou-se adequado, porém pode ser melhorado, pois sua ativação é morosa quando acionado em ventos fortes.

#### **5.5 Testes de Propulsão e Manobrabilidade**

A propulsão por meio de um Kite mostrou-se eficiente. A partir do início da navegação, a movimentação contínua da embarcação pôde ser percebida. Foram executados percursos em várias direções para demonstrar o efeito da direção do vento no desempenho da embarcação, os dados da navegação foram colhidos e processados.

Algumas das manobras executadas em teste no mar foram escolhidas e processadas para demonstrar a inovadora variedade das manobras realizáveis com o barco protótipo bidirecional.

## **Capítulo 6 – Resultados e Observações**

Foram realizados diversos testes no mar e foram colhidas informações a respeito do desempenho do barco protótipo através da captura de dados quantitativos durante um dos testes no mar. Para isto foi utilizado um dispositivo para captura de dados de posicionamento global obtidos por aparelho de GPS marítimo.

Também foram realizadas as manobras para avaliar a dirigibilidade do protótipo em operação no mar. Foram realizados testes no mar em Maria Farinha no Município de Paulista - Pernambuco assim como Barra de Cunhaú, na Paraíba para avaliar a qualidade dos inovadores componentes mecânicos instalados.

### **6.1 Operação do Protótipo no Mar**

A experiência presencial na navegação de um protótipo em escala real foi insubstituível no decorrer do projeto. A operação do barco no mar é diferente de outras embarcações e requer um pouco de costume. No início dos testes houve várias quebras em decorrência da inexperiência quanto a pilotagem. A navegação do novo barco requer a atenção focada no controle do Kite e o fato de o piloto permanecer de frente para o Kite facilita a operação da embarcação no mar.

Na prática o controle direcional do barco testado requer força física do piloto para o acionamento da roda de direção para posicionar a plataforma azimutal adequadamente. Operado em ventos fortes, algumas manobras são dificultadas. A operação do barco pode ser melhorada, mas uma nova caixa de redução não pôde ser testada antes da conclusão deste trabalho.

## **6.2 Dados quantitativos**

Foram realizados as leituras das medições das condições atmosféricas , isto é: a velocidade escalar do vento e sua direção. Os dados da velocidade escalar foram documentados por filmagem contínua de dois anemômetros instalados em uma haste com 6 metros de altura. Os dados da direção do vento foram protocolados manualmente em intervalos de 5 minutos. A temperatura durante os testes variou entre 26 e 29 °C.

### **6.2.1 Velocidade escalar do vento**

A Tabela da velocidade escalar do vento foi elaborada na base dos dados obtidos por câmera filmadora instalada de frente aos dois anemômetros, como mostra a Figura 113.

Foram registrados em cada intervalo de 5 minutos as velocidades máximas e mínimas de ambos anemômetros utilizados. Os valores divergem um pouco, o anemômetro DeHygro apresenta a tendência geral de velocidades máximas e mínimas maiores que os valores obtido do anemômetro Windmaster. A Tabela 12 apresenta os valores e definição da velocidade média.durante o teste realizado assim como a direção do vento registrada no intervalo.

Tabella 11: Medições da Velocidade do Vento

Hora local	V <sub>max</sub> DeHygro	V <sub>min</sub> DeHygro	V <sub>max</sub> Windmaster	V <sub>min</sub> Windmaster	V <sub>med</sub> km/h	V <sub>total</sub> Windmaster *	Beaufort Windmaster	Direção Vento
12h28m - 12h 33m	30,8	18,8	28	18,1	23,9	18,7	4	30°
12h33m - 12h 38m	27,4	19,4	26	17,5	22,6	18,7	4 -	30°
12h38m - 12h 43m	28,6	19,1	27	19,2	23,5	18,8	4	35°
12h43m - 12h 48m	27,2	18,6	26	17,0	22,2	18,9	4 -	40°
12h48m - 12h 53m	26,8	18,6	25	18,2	22,1	19,0	4	45°
12h53m - 12h 58m	26,6	19,4	26	19,5	22,9	19,1	4	50°
12h58m - 13h 03m	24,5	18,7	25	17,3	21,4	19,2	4 -	50°
13h03m - 13h 08m	28,8	21,2	28	21	24,8	19,3	4	55°
13h08m - 13h 13m	26,3	18,0	28	19,3	22,9	19,4	4	55°
13h13m - 13h 18m	27,0	20,5	28	19,0	23,6	19,5	4	55°
13h18m - 13h 23m	25,9	19,4	27	19,6	23,0	19,6	4	55°
13h23m - 13h 28m	27,4	21,6	29	19,0	24,3	19,8	4 +	55°
13h28m - 13h 33m	32,2	20,9	28	18,7	25,0	19,8	4	55°
13h33m - 13h 38m	30,1	22,0	27	18,1	24,3	19,9	4	55°
13h38m - 13h 43m	30,5	23,8	29	22	26,3	20	4 +	55°
13h43m - 13h 48m	32,6	22,2	29	19,1	25,7	20	4 +	55°
13h48m - 13h 53m	30,4	22,6	27	21	25,3	20	4 +	55°
13h53m - 13h 58m	27,4	21,7	29	19,0	24,3	20	4 +	55°
13h58m - 14h03m	28,9	23,6	26	19,8	25,1	20	4 +	55°
14h03m - 14h08m	30,2	23,3	28	20	25,4	20	4 +	55°

\* Os valores de  $V_{total}$  do anemômetro Windmaster foram incluídas na Tabela para conferir que houve um leve aumento da velocidade do vento durante o teste. O valor deste parâmetro não é incluído no cálculo da velocidade média.

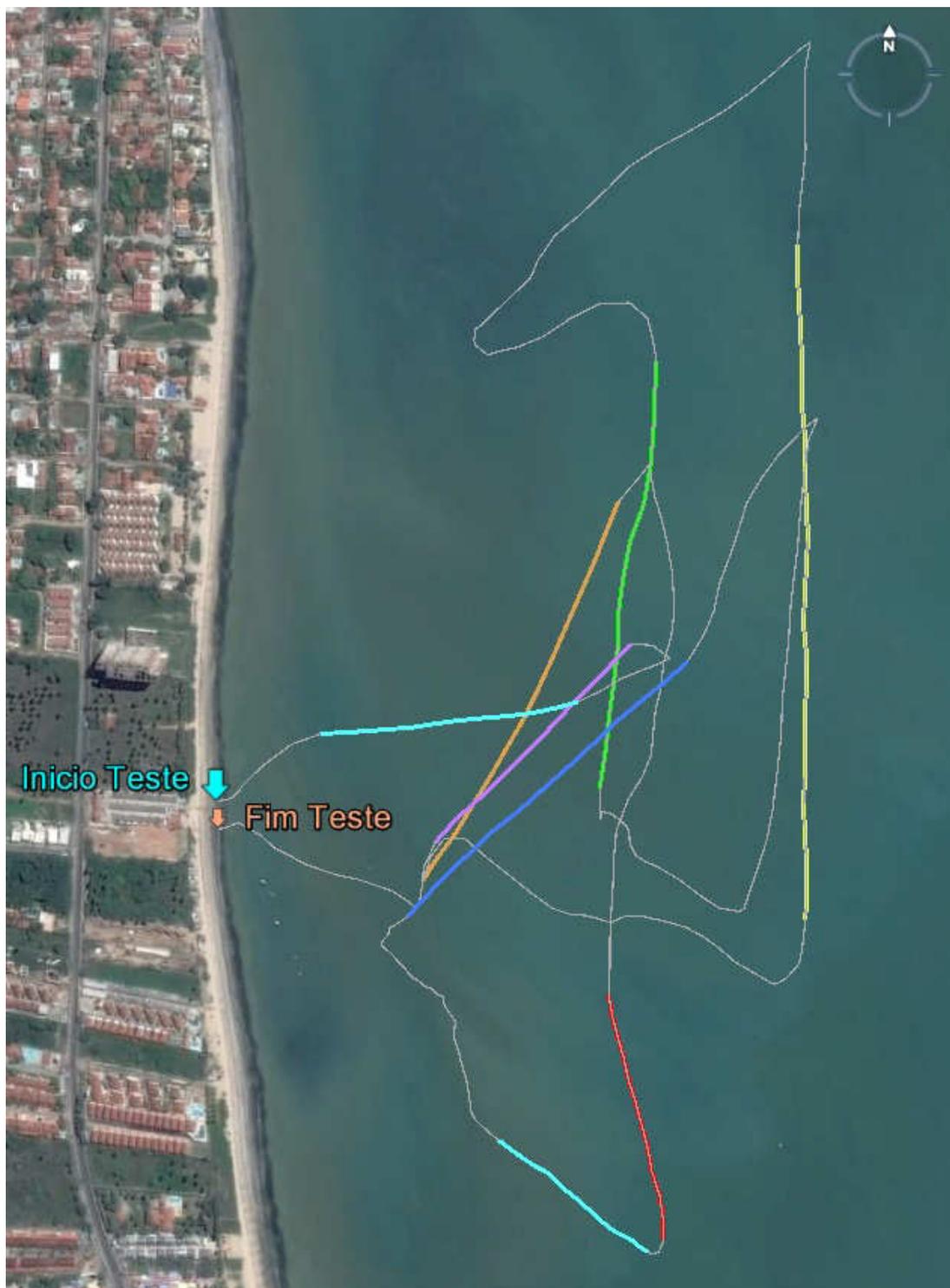
Figura 113: Fotos dos anemômetros utilizados durante os testes



### 6.2.2 Mapas e Medidas dos Percursos retos

Exemplarmente são tomadas as medidas de um dos testes realizado em 17 de outubro de 2012 na praia de Maria Farinha/Pernambuco. O conjunto das medidas obtidas pelo aparelho GPS é apresentado em Tabela no Appêndice B. A representação gráfica (Figura 114) foi elaborada com o Programa Google Earth. As delineações coloridas representam percursos individuais analisados separadamente.

Figura 114: Representação gráfica do percurso total do teste



Os perpurso P1 até P8 formam linhas retas e são definidos pelos dados exibidos em Tabela no Appêndice B. Ao processar os dados obtidos pelo aparelho GPS e realacionando-os com os dados do vento, obtém-se os valores mostrado na Tabela 12.

Tabela 12: Cálculo da Velocidade do protótipo para os 8 Percursos exemplares

Percorso	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
<b>Parâmetros de Entrada</b>								
Vento atm km/h (média)	22,50	22,10	23,10	22,90	23,60	24,70	26,30	24,60
Direção do vento rel Norte (média)	46,00	50,00	52,00	55,00	55,00	55,00	55,00	55,00
Tempo Inicial	12:51:56	12:57:48	13:00:48	13:10:22	13:14:21	13:25:45	13:39:37	13:52:03
Tempo Final	12:55:43	13:00:18	13:04:17	13:13:35	13:17:23	13:29:15	13:42:48	13:57:49
Distancia do Percorso	311,58	366,40	515,27	297,03	219,34	456,51	519,76	813,27
Direção do barco rel Norte	-82,76	-224,81	-27,75	-168,25	-307,23	-47,83	-8,42	-180,46
<b>Parâmetros Resultantes</b>								
Parcial Vento em direção +Norte	15,63	14,21	14,22	13,13	13,54	14,17	15,09	14,11
Parcial Vento em direção +Oeste	16,19	16,93	18,20	18,76	19,33	20,23	21,54	20,15
Diferença de Tempo	0:03:47	0:02:30	0:03:29	0:03:13	0:03:02	0:03:30	0:03:11	0:05:46
Diferença de Tempo seg	227,00	150,00	209,00	193,00	182,00	210,00	191,00	346,00
Vel barco km/h	4,941	8,794	8,875	5,540	4,339	7,826	9,797	8,462
Vel barco nós	2,668	4,748	4,792	2,992	2,343	4,226	5,290	4,569
Parcial Vbarco em direção +Norte	0,623	-6,239	7,855	-5,424	2,625	5,254	9,691	-8,461
Parcial Vbarco em direção +Oeste	-4,902	6,197	-4,133	-1,128	3,454	-5,800	-1,434	0,068
Vento Aparente +Norte	15,007	20,444	6,367	18,559	10,911	8,914	5,394	22,571
Vento Aparente +Oeste	21,087	10,732	22,336	19,887	15,878	26,033	22,978	20,083
Vento Aparente Total km/h	25,882	23,090	23,225	27,202	19,265	27,517	23,603	30,213
Direção Vento Aparente rel +Norte	54,562	27,697	74,089	46,978	55,502	71,099	76,789	41,661
<b>Ângulo na orça</b>								
rel. perpendicular do vento	38,76	-4,81	-10,25	46,75	-87,77	12,83	-43,42	34,54
Lado de Incidência do Vento	BE	BB	BE	BB	BE	BE	BE	BB
Ângulo da Plataforma Azimutal	58,5 BB	31,5 BE	18 BB	63 BE	0,0 (PROA)	40,5 BB	13,5 BB	58,5 BE

A Tabela 12 mostra também para cada um dos oito percursos exemplares os valores do vento aparente, o deslocamento angular da Janela de Vento e o ângulo na orça realizado pela embarcação. Segue a análise dos Percursos:

### Percurso P1

Figura 115: Delineação do Percurso P1

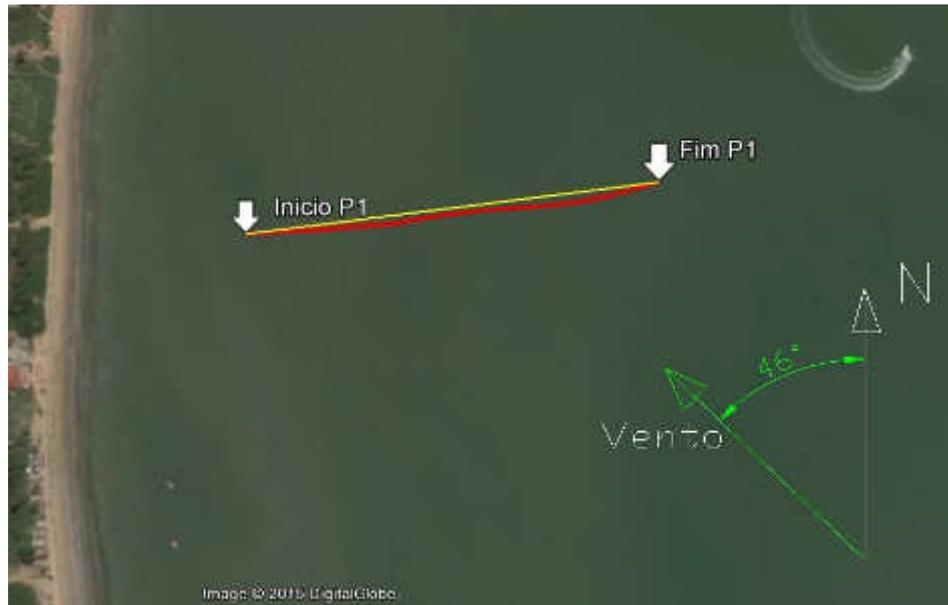
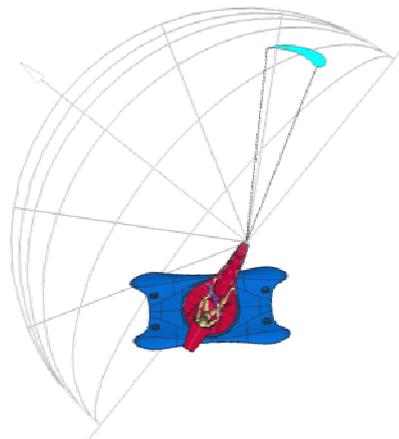


Tabela 13: Dados atmosféricos e do protótipo no Percurso P1

Vento atm km/h (média)	22,50
Direção do vento rel Norte (média)	46,00°
Distancia do Percurso m	311,58
Vel barco km/h	4,941
Vel barco nós	2,668
Direção do barco rel Norte	-82,76°
Vento Aparente atuando no barco km/h	25,882
Direção Vento Aparente rel +Norte	54,562°
Ângulo na orça	38,76°
Lado de Incidência do Vento	BE
Posição da Plataforma Azimutal em relação ao casco flutuante:	58,5° BB

A posição angular do Protótipo, da Plataforma Azimutal, da Janela de Vento e da Posição do Kite no Percurso P1 é representado na Figura 116 a seguir:

Figura 116: Representação da Posição do Protótipo no Percurso P1



Durante o percurso P1 a plataforma azimutal foi mantida na posição de 63 Graus para Bombordo. Esta posição angular é adequada para realizar percursos "upwind", isto são percursos que transitam diagonalmente contra o vento atmosférico incidente. Com o ângulo na orça real (em relação com o vento atmosférico) de 38 Graus o protótipo se movimenta diagonalmente contra o vento e a influência da velocidade do protótipo na Janela de Vento causa uma diferença entre a direção do vento aparente e o vento atmosférico de  $54,5 - 46 = 8,5$  Graus. O efeito subjetivo no piloto é que o ângulo na orça seja de 54,5 Graus.

Durante o percurso o Kite foi posicionado na extrema direita da JV, sem movimentação do mesmo dentro da JV. Neste caso o vento aparente atuando no barco é considerado igual ao vento aparente atuando no Kite.

## Percurso P2

Figura 117: Delineação do Percurso P2

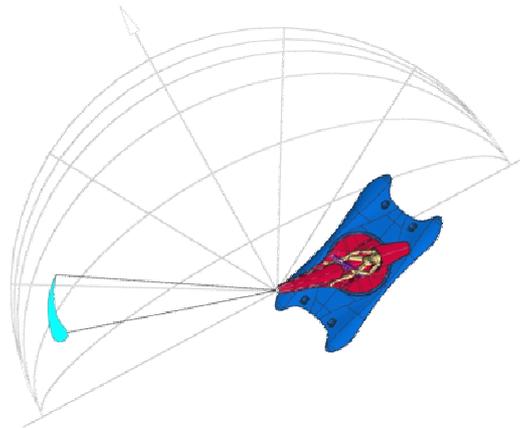


Tabela 14: Dados atmosféricos e do protótipo no Percurso P2

Vento atm km/h (média)	22,10
Direção do vento rel Norte (média)	50,00°
Distancia do Percurso m	366,40
Vel barco km/h	8,794
Vel barco nós	4,748
Direção do barco rel Norte	-224,81°
Vento Aparente atuando no barco km/h	23,090
Direção Vento Aparente rel +Norte	27,697°
Ângulo na orça	-4,81°
Lado de Incidência do Vento	BB
Posição da Plataforma Azimutal em relação ao casco flutuante:	31,5° BE

A posição angular do Protótipo, da Plataforma Azimutal, da Janela de Vento e da Posição do Kite no Percurso P2 é representada na Figura 118 a seguir:

Figura 118: Representação da Posição do Protótipo no Percurso P2



O Percurso P2 é considerado "onwind", isto é perpendicular ao vento. O Kite foi mantido no lado esquerdo da JV e continuamente dirigido em trajetória para cima e para baixo dentro da JV para gerar vento aparente superior. Neste Percurso o vento aparente atuando no Kite é maior que vento aparente atuando no barco e as forças geradas pelo Kite são superiores que caso estivesse sido mantido em posição fixa na Janela de Vento.

### Percurso P3

Figura 119: Delineação do Percurso P3

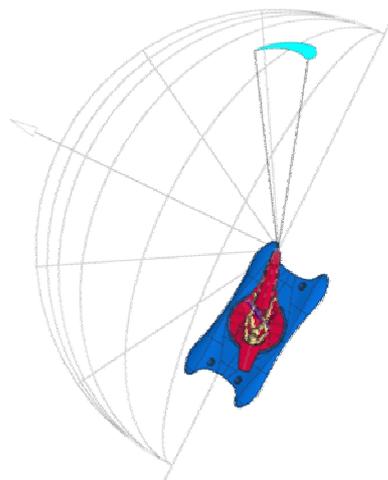


Tabela 15: Dados atmosféricos e do protótipo no Percurso P3

Vento atm km/h (média)	23,10
Direção do vento rel Norte (média)	52,00°
Distancia do Percurso m	515,27
Vel barco km/h	8,875
Vel barco nós	4,792
Direção do barco rel Norte	-27,75°
Vento Aparente atuando no barco km/h	23,225
Direção Vento Aparente rel +Norte	74,089°
Ângulo na orça	-10,25°
Lado de Incidência do Vento	BE
Posição da Plataforma Azimutal em relação ao casco flutuante:	18° BB

Na Figura 120 são representadas as respectivas posição angular do Protótipo, da Plataforma Azimutal, da Janela de Vento e da Posição do Kite no Percurso P3

Figura 120: Representação da Posição do Protótipo no Percurso P3



O percurso apresenta uma curvatura peculiar. Este efeito pode estar relacionado com a mudança da direção do vento atmosférico: No momento da realização do percurso foi constatada a mudança da direção do vento.

O Percurso P2 pode ser considerado perpendicular ao vento. O Kite foi mantido no lado direito da JV e continuamente dirigido em trajetória para cima e para baixo dentro da JV para gerar vento aparente superior. Neste Percurso o vento aparente atuando no Kite é maior que vento aparente atuando no barco.

#### Percurso P4

Figura 121: Delineação do Percurso P4

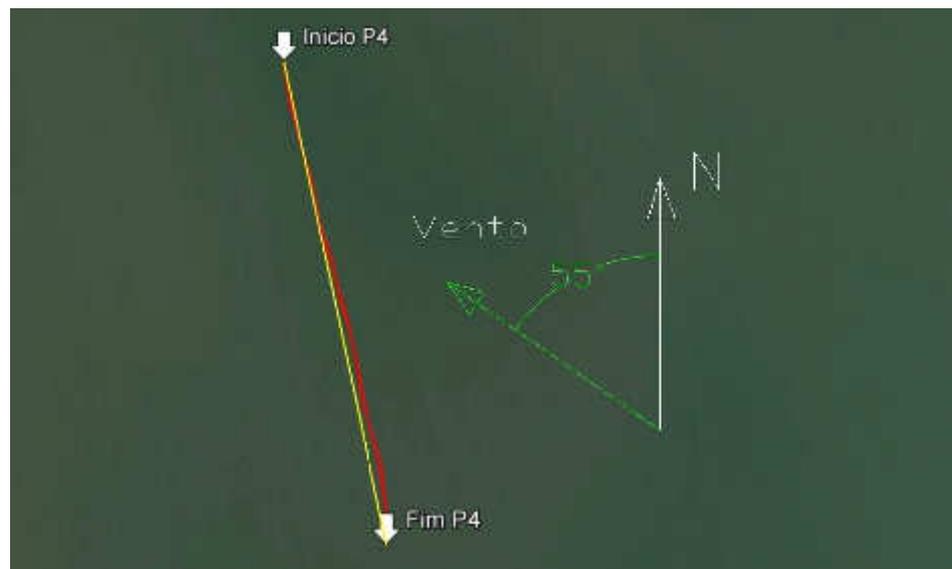
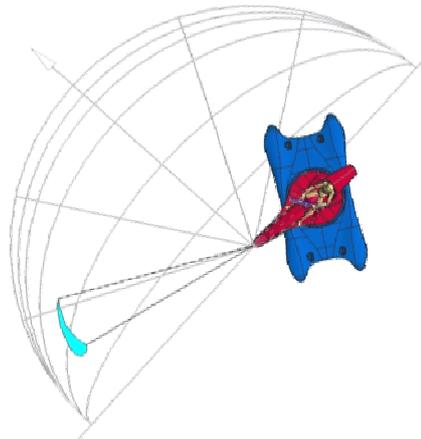


Tabela 16: Dados atmosféricos e do protótipo no Percurso P4

Vento atm km/h (média)	22,90
Direção do vento rel Norte (média)	55,00°
Distancia do Percurso m	297,03
Vel barco km/h	5,540
Vel barco nós	2,992
Direção do barco rel Norte	-168,25°
Vento Aparente Total km/h	27,202
Direção Vento Aparente rel +Norte	54,562°
Ângulo na orça	46,75°
Lado de Incidência do Vento	BB
Posição da Plataforma Azimutal em relação ao casco flutuante:	63° BE

A Figura 122 mostra a posição angular do Protótipo, da Plataforma Azimutal, da Janela de Vento e da Posição do Kite no Percurso P4

Figura 122: Representação da Posição do Protótipo no Percurso P4



A velocidade neste percurso é reduzida para ca. a metade comparado com outros percursos, apesar de o Kite ter sido continuamente dirigido em trajetória para cima e para baixo dentro da JV. O percurso apresenta ângulo na orça acima de  $45^\circ$ , o que causa a diminuição da velocidade em relação a outros rumos.

### Percurso P5

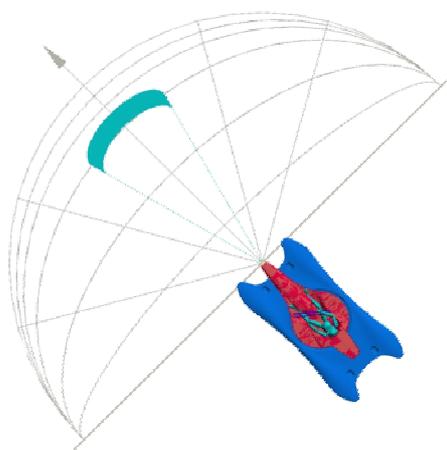
Figura 123: Delineação do Percurso P5



Tabela 17: Dados atmosféricos e do protótipo no Percurso P5

Vento atm km/h (média)	23,60
Direção do vento rel Norte (média)	55,00°
Distancia do Percurso m	219,34
Vel barco km/h	4,339
Vel barco nós	2,343
Direção do barco rel Norte	-307,23°
Vento Aparente Total km/h	19,265
Direção Vento Aparente rel +Norte	55,502°
Ângulo na orça	-87,77°
Lado de Incidência do Vento	BE (POPA)
Posição da Plataforma Azimutal em relação ao casco flutuante:	0,0°

Figura 124: Representação da Posição do Protótipo no Percurso P5



O percurso P5 foi executado com o barco navegando diretamente na direção do vento e com o Kite posicionado no centro superior da Janela de Vento. Este tipo de navegação não é utilizada com frequência pois opera em regime de arrasto e gera menos tração.

## Percurso P6

Figura 125: Delineação do Percurso P6

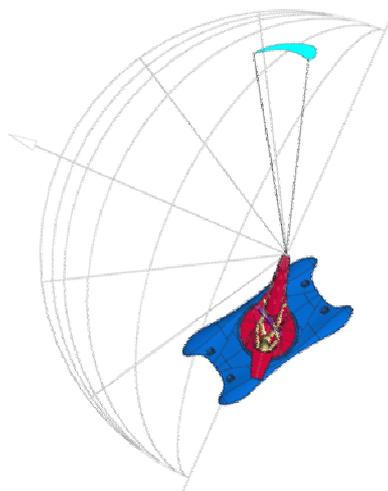


Tabela 18: Dados atmosféricos e do protótipo no Percurso P6

Vento atm km/h (média)	24,70
Direção do vento rel Norte (média)	55,00°
Distancia do Percurso m	456,51
Vel barco km/h	7,826
Direção do barco rel Norte	-47,83°
Vento Aparente Total km/h	27,517
Direção Vento Aparente rel +Norte	71,099°
Ângulo na orça	12,83°
Lado de Incidência do Vento	BE
Posição da Plataforma Azimutal em relação ao casco flutuante:	40,5° BB

A Figura 126 mostra a posição angular do Protótipo, da Plataforma Azimutal, da Janela de Vento e da Posição do Kite no Percurso P6

Figura 126: Representação da Posição do Protótipo no Percurso P6



O percurso P6 pode ser considerado um percurso Onwind. O ângulo na orça é apenas  $12^\circ$ . Este tipo de percurso pode ser efetuado pelos praticantes de Kitesurf. O Kite foi mantido no lado direito da JV e continuamente dirigido em trajetória para cima e para baixo dentro da JV. Neste Percurso o vento aparente atuando no Kite é maior que vento aparente atuando no barco.

### Percurso P7

Figura 127: Delineação do Percurso P7

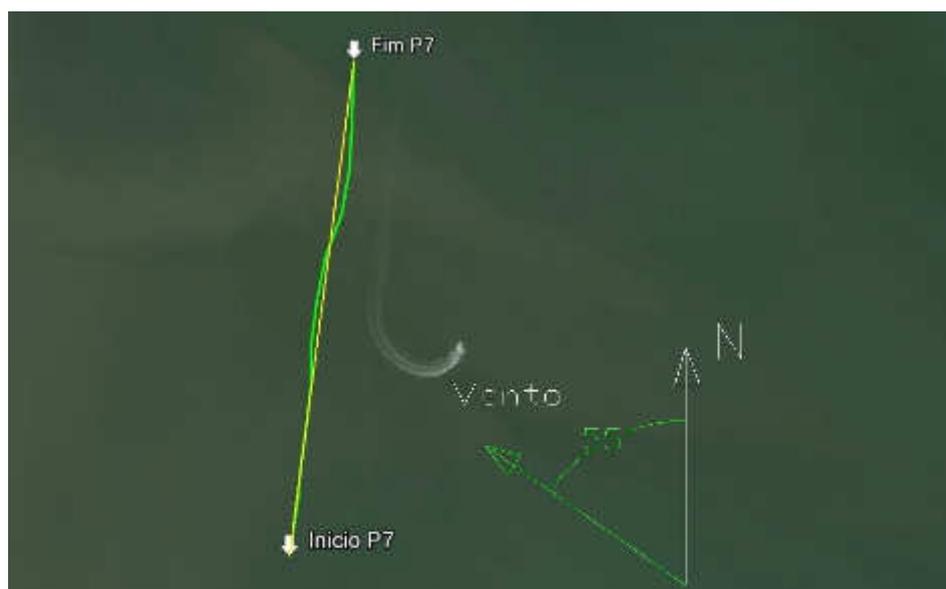


Tabela 19: Dados atmosféricos e do protótipo no Percurso P7

Vento atm km/h (média)	26,30
Direção do vento rel Norte (média)	55,00°
Distancia do Percurso m	519,76
Vel barco km/h	9,797
Vel barco nós	5,290
Direção do barco rel Norte	-8,42°
Vento Aparente Total km/h	23,603
Direção Vento Aparente rel +Norte	76,789°
Ângulo na orça	-43,42°
Lado de Incidência do Vento	BE
Posição da Plataforma Azimutal em relação ao casco flutuante:	13,5° BB

A Figura 128 mostra Posição angular do Protótipo, da Plataforma Azimutal, da Janela de Vento e da Posição do Kite no Percurso P7

Figura 128: Representação da Posição do Protótipo no Percurso P7



O percurso P7 é favorável para alcançar elevadas velocidades. O Kite permanece no lado extremo da direita da Janela de Vento, operando no regime de sustentação. Neste rumo o deslocamento da Janela de Vento devido a velocidade do barco posiciona o Kite na parte frontal da embarcação e a força exercida pelo Kite é aproveitada de forma mais eficiente. O Kite foi continuamente dirigido em trajetória favorável para gerar mais força.

## Percurso P8

Figura 129: Delineação do Percurso P8

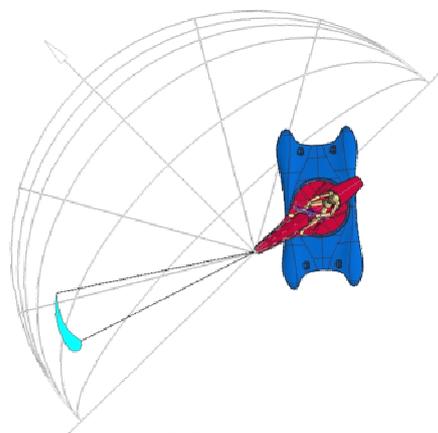


Tabela 20: Dados atmosféricos e do protótipo no Percurso P8

Vento atm km/h (média)	24,60
Direção do vento rel Norte (média)	55,00°
Distancia do Percurso m	813,27
Vel barco km/h	8,462
Vel barco nós	4,569
Direção do barco rel Norte	-180,46°
Vento Aparente Total km/h	30,213
Direção Vento Aparente rel +Norte	41,661°
Ângulo na orça	34,54°
Lado de Incidência do Vento	BB
Posição da Plataforma Azimutal em relação ao casco flutuante:	58,5° BE

A Figura 130 mostra a posição angular do Protótipo, da Plataforma Azimutal, da Janela de Vento e da Posição do Kite no Percurso P8

Figura 130: Representação da Posição do Protótipo no Percurso P8



O percurso P8 apresenta maior extensão dos percursos analisados, acima de 800 metros. A Figura 128 mostra a medição do desvio máximo do rumo ideal com apenas 7,5 metros representando desvio inferior a 1%. O Percurso P8 é "upwind", isto é diagonal contra o vento. O Kite foi mantido no lado esquerdo da JV e continuamente dirigido em trajetória para cima e para baixo dentro da JV.

### 6.2.3 Mapas e Medidas de Manobras realizadas

As medições obtidas no teste realizado em 17 de outubro de 2012 permite a análise de algumas manobras típicas executadas por uma embarcação bidirecional tracionada por Kite. O conjunto das medidas das manobras escolhidas obtidas pelo aparelho GPS é apresentado em Tabela no Appêndice 2. A representação gráfica (Figura 130) foi elaborada com o Programa Google Earth. As delineações coloridas representam as manobras individuais analisados separadamente.

Figura 131: Manobras realizadas durante o teste em Maria Farinha, Pernambuco



## Manobra M1

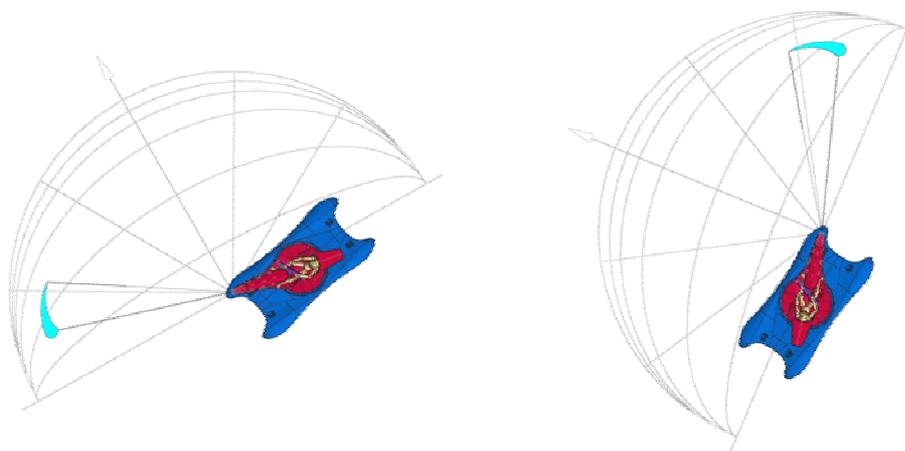
Figura 132: Delineação da Manobra M1



Tabela 21: Dados atmosféricos e do protótipo na Manobra M1

	Início	Fim
Vento atm km/h (média)	21,40	21,40
Direção do vento rel Norte (média)	50,00°	50,00°
Vel barco km/h	8,630	8,526
Vel barco nós	4,660	4,603
Direção do barco rel Norte	134,32°	-31,08°
Vento Aparente Total km/h	22,268	21,773
Direção Vento Aparente rel +Norte	27,316°	72,758°
Ângulo na orça	-5,68°	-8,92°
Lado de Incidência do Vento	BB	BE
Posição da Plataforma Azimutal em relação ao casco flutuante:	22,5° BE	22,5° BB

Figura 133: Posições de Casco, Plataforma Azimutal, JV e Kite no Início (direita) e no Fim (esquerda) da Manobra M1



A manobra M1 mostra a facilidade de retornar a um ponto qualquer de um rumo navegado. O piloto solta a trava da plataforma azimutal e leva o Kite da posição na extrema esquerda da Janela de Vento até a extrema direita e a embarcação muda de direção. Em seguida o piloto efetua ajustes no rumo e segue para o ponto do percurso anterior desejado. Na Manobra realizada, o tempo corrido até retornar ao ponto anterior levou cerca de 56 segundos.

## Manobra M2

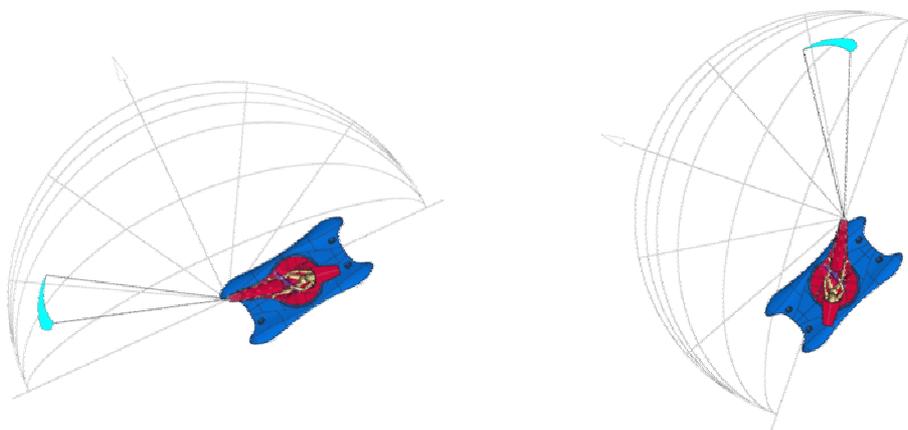
Figura 134: Delineação da Manobra M2



Tabela 22: Dados atmosféricos e do protótipo na Manobra M2

	Início	Fim
Vento atm km/h (média)	25,70	25,70
Direção do vento rel Norte (média)	55,00°	55,00°
Vel barco km/h	9,183	9,884
Vel barco nós	4,959	5,337
Direção do barco rel Norte	120,25°	-47,21°
Vento Aparente Total km/h	23,394	29,422
Direção Vento Aparente rel +Norte	34,113°	74,168°
Ângulo na orça	-24,74°	-7,79°
Lado de Incidência do Vento	BB	BE
Posição da Plataforma Azimutal em relação ao casco flutuante:	18° BE	36° BB

Figura 135: Posições de Casco, Plataforma Azimutal, JV e Kite no Início (direita) e no fim (esquerda) da Manobra M2



A manobra M2 apresenta uma forma de mudança de rumo sem modificar a direção do casco, O Kite é levado de um extremo da Janela de Vento ao outro, com a plataforma azimutal travada. Em seguida é feita uma leve correção da posição angular da plataforma. O raio da curvatura da Manobra é inferior a 18 metros.

## Manobra M3

Figura 136: Delineação da Manobra M3

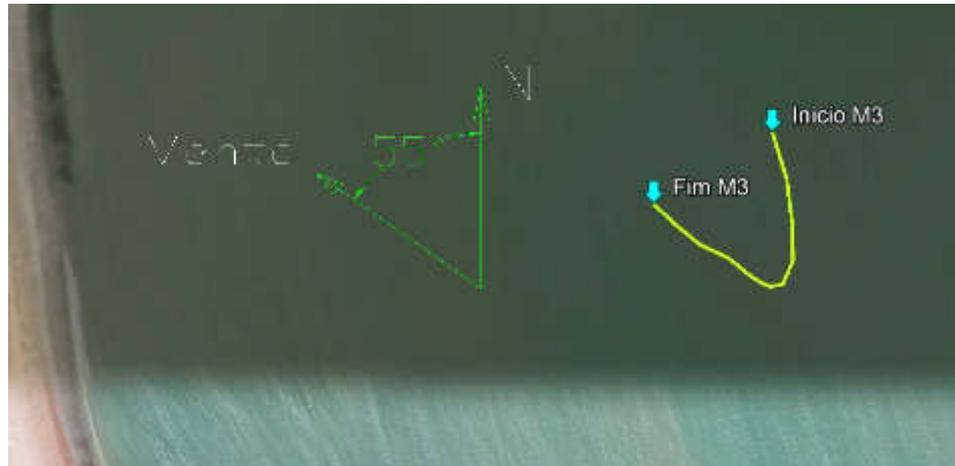
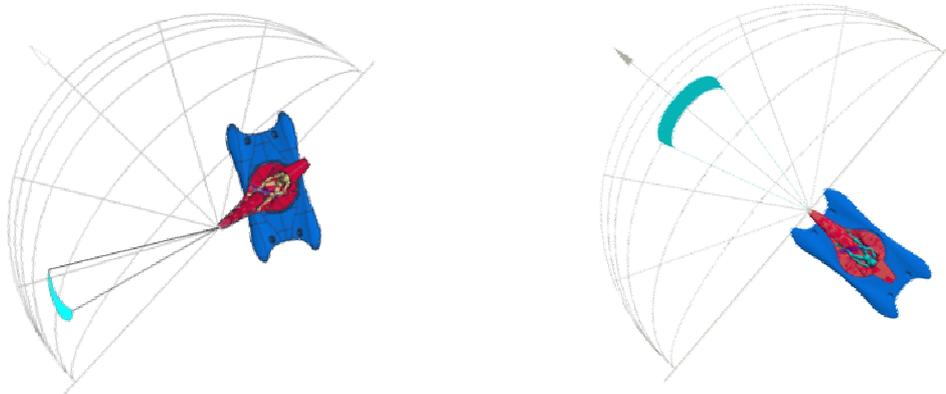


Tabela 23: Dados atmosféricos e do protótipo na Manobra M3

	Início	Fim
Vento atm km/h (média)	23,60	23,60
Direção do vento rel Norte (média)	55,00°	55,00°
Vel barco km/h	5,586	4,828
Vel barco nós	3,016	2,607
Direção do barco rel Norte	192,35°	48,79°
Vento Aparente Total km/h	27,966	18,808
Direção Vento Aparente rel +Norte	47,223°	56,591°
Ângulo na orça	47,35°	-83,79°
Lado de Incidência do Vento	BB	RÉ (BE)
Posição da Plataforma Azimutal em relação ao casco flutuante:	63° BE	0°

Figura 137: Posições de Casco, Plataforma Azimutal, JV e Kite no Início (direita) e no fim (esquerda) da Manobra M3



Na manobra M3 o Kite foi lentamente levado ao centro da Janela de Vento. A posição da plataforma azimutal foi colocada em  $0^\circ$ . Após a manobra inicia o percurso determinado por regime de arrasto. Não há mudança de direção do casco.

#### Manobra M4

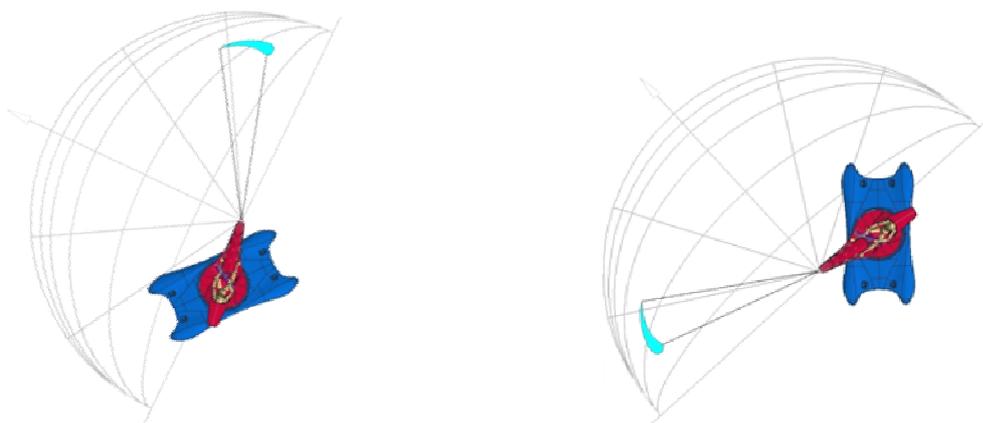
Figura 138: Delineação da Manobra M4



Tabela 24: Dados atmosféricos e do protótipo na Manobra M4

	Início	Fim
Vento atm km/h (média)	25,30	25,30
Direção do vento rel Norte (média)	55,00°	55,00°
Vel barco km/h	9,292	8,519
Vel barco nós	5,017	4,600
Direção do barco rel Norte	-58,93°	177,79°
Vento Aparente Total km/h	30,285	30,759
Direção Vento Aparente rel +Norte	71,288°	41,537°
Ângulo na orça	23,93°	32,79°
Lado de Incidência do Vento	BE	BB
Posição da Plataforma Azimutal em relação ao casco flutuante:	49,5° BB	58,5° BE

Figura 139: Posições de Casco, Plataforma Azimutal, JV e Kite no Início (direita) e no fim (esquerda) da Manobra M4



A manobra M4 representa uma forma de alcançar um destino localizado em barlavento. O piloto orça com elevados ângulos contra o vento, implicando a necessidade de pelo menos uma mudança de rumo através de manobra qualquer. No caso a manobra M4 foi efetuada com mudança direcional do casco e posicionamento rápido do Kite na outra extremidade da Janela de Vento.

## Manobra M5

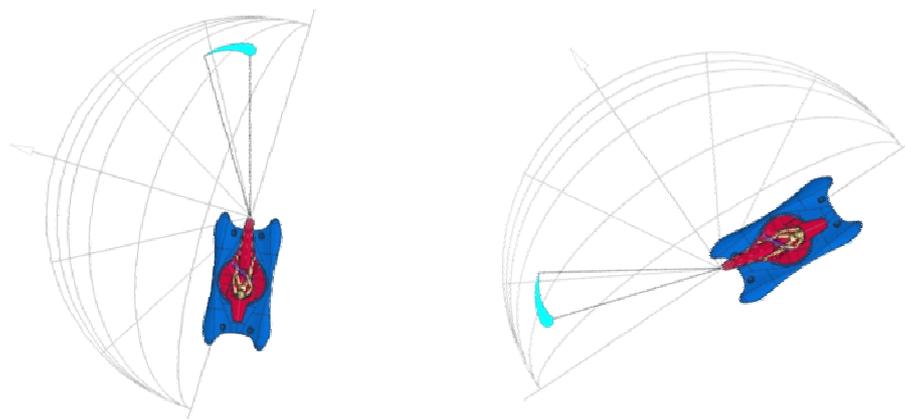
Figura 140: Delineação da Manobra M5



Tabela 25: Dados atmosféricos e do protótipo na Manobra M5

	Início	Fim
Vento atm km/h (média)	26,30	26,30
Direção do vento rel Norte (média)	55,00°	55,00°
Vel barco km/h	8,322	9,189
Vel barco nós	4,494	4,962
Direção do barco rel Norte	-3,49°	120,23°
Vento Aparente Total km/h	23,069	23,950
Direção Vento Aparente rel +Norte	72,913°	34,612°
Ângulo na orça	-31,51°	-24,77°
Lado de Incidência do Vento	BE	BB
Posição da Plataforma Azimutal em relação ao casco flutuante:	0°	9° BE

Figura 141: Posições de Casco, Plataforma Azimutal, JV e Kite no Início (direita) e no fim (esquerda) da Manobra M5



A manobra M5 foi efetuada através do deslocamento lento do Kite da extrema direita da Janela de Vento até a extrema esquerda da mesma. Ao fim a manobra sofreu uma correção adicional de  $9^\circ$  através do deslocamento da plataforma azimutal.

#### **6.2.4 Comparação de Qualidades com outras Embarcações**

Considerando o mercado de esportes marítimos observa-se a presença de cayaques, barcos infláveis, pranchas e outros dispositivos, mas os barcos veleiros praiheiros e os barcos motorizados e lanchas formam as faixas mais expressivas do setor.

Quando comparado com barcos veleiros praiheiros, o barco bidirecional sem leme movido por kite apresenta algumas qualidades em comum, pois ambos são movidos pelo vento proporcionando custo operacional baixo ou inexistente e autonomia ilimitada.

A construção e os processos envolvidos na produção de pequenos barcos veleiros com menos de 6 metros de comprimento podem ser comparados com os processos na fabricação do barco movido por kite aqui apresentado e os custos para fabricação podem ser comparáveis. Já o custo para fabricação de barcos motorizados esportivos tais como Jetskis ou motocicletas aquáticas envolvem a integração de sistemas de tanque, motores, geração e distribuição elétrica além de sistemas de propulsão de alta complexidade e o custo para produção é relativamente elevado.

Comparando o controle direcional do barco protótipo com o de veleiros praiheiros e dos barcos motorizados o primeiro se destaca por utilizar sistema alternativo para controlar a direção da embarcação. Porém, tanto a embarcação movida por kite como os veleiros sofrem algumas limitações proveniente da dependência do próprio vento e a incapacidade de navegar diretamente em direção barlavento. Já os barcos motorizados não sofrem restrições em sua capacidade de manobrar enquanto o motor e os sistemas mecânicos estiverem em funcionamento regular.

As velocidades alcançadas por embarcações motorizadas são mais elevadas que as velocidades alcançadas por barcos veleiros tradicionais. Mesmo com a utilização de tecnologias de hidrofólios os veleiros não chegaram a atingir as velocidades alcançadas por barcos motorizados. Comparando o barco protótipo observa-se que as velocidades alcançadas foram relativamente baixas, mesmo que satisfatórias. Teoricamente um barco movido por kite deve ter a capacidade de alcançar velocidades similares aos barcos veleiros.

A operabilidade de uma embarcação pode ter elevada importância, por exemplo para barcos de resgate marítimo ou rebocadores. As embarcações motorizadas são as únicas embarcações que podem ser operadas em qualquer momento, dependendo apenas da manutenção dos equipamentos e combustível. Barcos veleiros tradicionais e barcos movidos por kites dependem da presença de ventos adequados para serem operados. Para uso esportivo, quando a presença de ventos é imperativo para a prática, os parâmetros da operabilidade em um momento qualquer e em qualquer localização apresenta uma importância inferior – o esportista procura locais e temporadas para a prática do esporte marítimo, seja velejar com veleiros tradicionais ou navegar com o barco protótipo movido por kite.

O manuseio na praia envolve o transporte da embarcação da terra firme até o mar e a mesma flutuar em suficiente profundidade para iniciar a navegação e o processo reverso, isto é retirar a embarcação do mar e guardá-la em terra firme. Os veleiros e os barcos movidos por kite podem ser transportados por duas ou mais pessoas enquanto que os barcos motorizados são operados em marinas com rampas e infraestrutura para manuseio.

A Tabela 26 mostra as comparações das características (qualidades) entre Veleiros, Barcos Motorizados e o Barco Protótipo movido por kite.

Tabela 26: Comparação entre Veleiros, Barcos Motorizados e o Barco Protótipo

Tipo de barco Qualidade	Veleiro praieiro (p.e.: Hobie Cat 14')	Barco Motorizado (p.e.: Jetski)	Barco Bidirecional movido por Kite
Operabilidade	em ventos baixos e médios	sempre operável	em ventos médios e elevados
Velocidade	depende do vento – baixa ou média	elevada	depende do vento – baixa ou média
Manuseio na praia	manual, até alcançar profundidade para leme	Trator / Infraestrutura	manual, até alcançar águas rasas
Controle direcional	através de leme, com restrições	através de leme, sem restrições	sem leme, com restrições
Custo operacional	baixo ou inexistente	elevado	baixo ou inexistente
Autonomia/Alcance	Sem limitação	limitado á capacidade dos tanques de combustível	Sem limitação
Custo fabricação	médio	elevado	médio

## Capítulo 7 – Conclusões e Recomendações

### 7.1 Conclusões

A operação do protótipo durante os testes no mar forneceu conhecimentos detalhados e possibilitou a criação de novas soluções aos desafios tecnológicos experimentados no decorrer deste trabalho.

A Propulsão do Protótipo por meio de um Kite mostrou bons resultados em ventos acima de 18 km/h (10 nós). Nestas condições ficou comprovado o bom funcionamento do sistema inovador para propulsionar e guiar barcos com Kites como o Protótipo apresentado no presente trabalho.

A tecnologia aplicada no Barco Protótipo para integrar os sistemas mecânicos em uma Plataforma Azimutal permite boa ergonomia: O piloto mantém contato visual com o Kite e os controles são bem posicionados.

O inovador controle direcional do Protótipo permite o manuseio da embarcação em círculos e em percursos arbitrários. Os elevados ângulos na orça alcançados facilitam percursos contra o vento. O ângulo na orça alcançado em teste ultrapassa 45° e pode ser comparado com o desempenho de barcos veleiros modernos.

O Barco Protótipo é estável. Apresenta boa flutuação em percursos retos e em manobras. O inovador controle direcional reage adequadamente e pode ser comparado com o controle direcional de um barco veleiro com comprimento igual e equipado com lemes tradicionais. A estabilidade direcional observada no Percorso P8 inferior a 1% é considerada ótima.

O controle para voar o Kite dentro da Janela de Vento é sensível e exato. É possível voar o Kite em trajetórias favoráveis para aumentar a força de tração. Se o Kite cai ou pouso na água, o relançamento pode ser efetuado em poucos segundos.

A bidirecionalidade do Barco Protótipo aumenta as possibilidades de execução de manobras com inversão do sentido da navegação o que facilita a execução de percursos contravento.

O Barco Protótipo apresenta a habilidade de ser bruscamente freado. Durante a navegação o Kite pode ser deslocado dentro da Janela de Vento para uma região oposta gerando forças em sentido contrário e efetuando a diminuição da velocidade até a completa parada da embarcação.

O peso do barco protótipo ficou muito elevado. A laminação do casco e da plataforma azimutal não foi ideal.

O sistema das roldanas instaladas no bico da plataforma mostrada na Figura 100 não mostrou ser adequado para o uso prolongado e deveria ser modificado para a produção em série. Em testes no mar, o sistema funcionou adequadamente, porém apresentou após vários testes uma característica deficiente, que levou a ruptura de uma das linhas de Spectra.

Em testes com o barco no mar, verificou-se, que em algumas situações as forças exercidas no volante pelo piloto necessárias para modificar o rumo do barco são elevadas e é necessário cogitar sobre a possibilidade de elevar a razão dos momentos com um segundo estágio de transmissão.

Na prática a operação sem leme facilita a navegação em águas rasas. No início da navegação o barco pôde ser lançado ao mar em águas rasas e no retorno o barco foi dirigido diretamente para cima da areia da praia, isto sem causar danos relevantes. Barcos praiheiros tradicionais operados com lemes requerem uma profundidade maior da lâmina da água e devem apresentar sistemas de desengaste para evitar quebras quando o leme tem contato com o fundo do mar.

## 7.2 Recomendações

As características hidrodinâmicas de um casco bidirecional apresenta desafios tecnológicos inéditos que podem melhorar o desempenho de uma embarcação semelhante. Recomenda-se a Pesquisa acadêmica de cascos bidirecionais e a verificação do efeito hidrodinâmico de calhas e dispositivos especiais em cascos de embarcações com características bidirecionais.

A controle de direção do vôo do Kite apresenta semelhança com os controles equivalentes na utilização de Kites para gerar energia em terra. O Laboratório de Fluidos do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco poderia acrescentar aos estudos em andamento a realização de um projeto piloto para verificar o rendimento alcançável de sistemas de captação de energia eólica por Kites..

Acrescentar no laboratório de materiais equipamentos para fabricação moderna de compósitos para dar acesso a estudos de resistência em estruturas ultra-leves.

Elaborar estudos da resistência estrutural do casco do barco apresentado neste trabalho e aplicá-los em projeto técnico-científico para fabricação de um casco ultra-leve.

## REFERÊNCIAS

Alexander, K. & Stevenson, J.; **Kite equilibrium and bridle length**. The aeronautical journal , 105(1051), 535-541, 2001

Anderson, J. D.; **Fundamentals of aerodynamics**, 2nd edition. USA: McGraw-Hill, 1991

Boer, R. G. den.; **Low speed aerodynamic characteristics of a two-dimensional sail wing with adjustable slack of the sail** (Tech. Rep. No. LR-307). Delft, the Netherlands: Delft University of Technology, 1980

Boer, R. G. den.; **Numerical and experimental investigation of the aerodynamics of double membrane sailwing airfoil sections** (Tech. Rep. No. LR-345). Delft, the Netherlands: Delft University of Technology, 1982

Breuer, J. C. M.; Ockels, W. J.; **An inflatable wing using the principle of tensairity**. In Proceedings of the 48th aiaa structures, structural dynamics and materials conference. Waikiki, Hawaii, USA: AIAA.; 2007

Breukels, J.; **Design of a high altitude inflatable Kite**. Delft, the Netherlands: Delft University of Technology, 2003

Breukels, J. & Ockels, W. J.; **Numerical and experimental results of the airflow in the delft university KiteLab**. In Proceedings of the 37th aiaa fluid dynamics conference. Miami, FL, USA: AIAA, 2007a

Breukels, J.; Ockels, Wubbo J.; **Past, Present and Future of Kites and Energy Generation**, Delft University of Technology; 2007b

Breukels, Ir. J.; **Kite launch using an aerostat**, Delft University of Technology Faculty of Aerospace Engineering, 2007c

Breukels, J.; **An Engineering Methodology for Kite Design**, Technische Universiteit Delft, 2011

Dadd, George, **Kite Dynamics for Wind Ship Propulsion**, Southampton, GB, 2012

De Groot, S.G.C.; Breukels, J.; Schmehl, R. and Ockels, W.J.; **Multibody system reduction for derivation of a flight dynamics model for real-time control of Kites**, Delft University of Technology, 2010

Graf, K. and Renzsch, H. RANSE; **Investigations of Downwind Sails and Integration Into Sailing Yacht Design Processes**. High performance Yacht Design Conference, Auckland, New Zealand, 2006

Journee J.M.J., Clarke D., **Experimental Manoeuvring Data of Tanker “British Bombardier”**, Report No. 1429; Delft University of Technology; Ship Hydromechanics Laboratory, Delft 2005

Kleinwoud H., Stapersma D., Imarest, **Design of Propulsion and Electric Power Generation Systems**, London 2003

Lansdorp, B. & Ockels, W. J.; **Comparison of concepts for high-altitude wind energy generation with ground based generator**. In Proceedings of the 2nd china international renewable energy equipment and technology exhibition and conference. Beijing, China: NRE, 2005

Lansdorp, B.; Ruiterkamp, R.; Ockels, W.J.; **Towards flight testing of remotely controlled surfKites for wind energy generation**, Atmospheric Flight Mechanics Conference and Exhibition, Hilton Head, USA 2007

Larsson, L; Eliason, R.E.; **Principles of Yacht Design**, 2nd Edition, London, GB, 2000

Lewis, E.V. (Editor) **Principles of Naval Architecture**. The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York, 1989.

Lingard, J.S. **Ram-Air Parachute Design**. Precision Aerial Precision Seminar, 13th AIAA Aerodynamic Decelerator Systems Technology Conference, Clearwater Beach, 1995

Lundgren, Edwin A.J.N.; **Steuervorrichtung für einen Lenkdrachen an einem Boot**, International Patent PCT/EP01/10002: (Control Device for a Steering Kite on a Boat), 2001.

Lundgren, Edwin A.J.N.; **Control Device for Steering Kite on a Boat**, U.S Patent No.6910434 B3, 2002

Milanese, Mario et al; **System for Performing the Automatic Control of the Flight of Kites**, U.S Patent Application No.12/518.577, 2010

Molland, A.F., **Operation of Propellers and Machinery in Wind Assisted Ships, Proc. of the First Wind Assisted Ship Propulsion**, Symposium, Glasgow 1985

Molland, A.F. (Editor); **Eco Ship: Operation tests getting under way**; Maritime Engineering Reference Book; Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, 2008. NYK (2004). NYK News Release, August 2004.

Naaijen P., Koster V., Dallinga R.P. **On the Power Savings by an Auxiliary Kite Propulsion System**, ISP Volume 53 No.4, 2006

Naaijen, Peter; Koster, Vincent; **Performance of auxiliary wind propulsion for merchant ships using a Kite**, Delft University of Technology; 2007

**NORMAM-01**; Normas da Autoridade Marítima para Embarcações empregadas na Navegação em Mar Aberto, 2005

**NORMAM-03**; Normas da Autoridade Marítima para Embarcações empregadas na Navegação em Mar Aberto, 2005

Ockels, W. J., Lansdorp, B. & Ruitenkamp, R.; **Ship propulsion by Kites combining energy production by laddermill principle and direct Kite propulsion**. In Proceedings of the Kite sailing symposium. Seattle, USA: The drachen foundation, 2006

Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K.-H.; ; **Konstruktionslehre -Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung Methoden und Anwendung**, Capítulos 1 e 2, Darmstadt 2004

Prakash, O.; **Aerodynamics and Longitudinal Stability of Parafoil/Payload System**, Department of Aerospace Engineering, Indian Institute of Technology, Bombay, 2004

Schneekluth, H., Bertram, V.; **Ship Design for Efficiency and Economy** - Second edition, London, GB, 2000

Terink, E.J.; Breukels, J.; Schmehl, R. and Ockels, W.J.; **Flight dynamics and stability of a tethered inflatable Kiteplane**, Delft University of Technology, 2010

Terink, E. . **Kiteplane flight dynamics** (MSc Thesis). Delft, the Netherlands: Delft University of Technology, 2009

Troen, I. and Peterson, E.L., **European Wind Atlas**, Risø, Denmark National Laboratory, 1989

VDI-Richtlinie: VDI 2222 Blatt 1; **Konstruktionsmethodik - Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien**, Düsseldorf, 1997

Williams, P.; Lansdorp, B.; Ockels, W.; **Nonlinear Control and Estimation of a Tethered Kite in Changing Wind Conditions**, Journal of guidance, control, and dynamics Vol. 31, No. 3, Delft University of Technology, June 2008

[http://raphael.mit.edu/xfoil/xfoil\\_doc.txt](http://raphael.mit.edu/xfoil/xfoil_doc.txt), acesso em 05-2011

<http://www.kitves.com/funding.aspx>, acesso em 05-2011

[http://www.engr.sjsu.edu/mae/research\\_projects.htm](http://www.engr.sjsu.edu/mae/research_projects.htm), acesso em 12-2010

<http://www.fasterthanthewind.org/> , acesso em 12-2010

<http://www.greenbird.co.uk/multimedia/video>, acesso em 12-2010

<http://www.nalsa.org/downwind.html>, acesso em 12-2010

<http://www.oracleracing.com/home>, acesso em 12-2010

<http://www.yachtpals.com/sailing-record-4121>, acesso em 12-2010

<http://www.youtube.com/watch?v=rrulpzotioq&nr=1&feature=fvwp>, acesso em 12-2010

<http://www.youtube.com/watch?v=trfrqxptxts>, acesso em 12-2010

[http://www.youtube.com/watch?v=jks0xt\\_-kgc](http://www.youtube.com/watch?v=jks0xt_-kgc), acesso em 12-2010

<http://www.youtube.com/watch?v=eeuaqq8finw>, acesso em 12-2010

[www.f-onekites.com](http://www.f-onekites.com), acesso em 05-2010

[www.hydroptere.com](http://www.hydroptere.com), acesso em 05-2010

[www.kiteship.com](http://www.kiteship.com), acesso em 05-2010

[www.oracleracing.com](http://www.oracleracing.com) em 01-2012

[www.peterlynnkites.com](http://www.peterlynnkites.com), acesso em 05-2010

[www.lynnkitesailing.co.nz](http://www.lynnkitesailing.co.nz), acesso em 05-2010

[www.sustainableshipping.com](http://www.sustainableshipping.com), acesso em 05-2011

[www.kiteboat.com](http://www.kiteboat.com), acesso em 05-2011

[www.kiteship.com](http://www.kiteship.com), acesso em 05-2011

[www.skysails.com](http://www.skysails.com), acesso em 05-2011

[www.wrightbrothers.org/tbr/history/history%20of%20airplane/centbefore.htm](http://www.wrightbrothers.org/tbr/history/history%20of%20airplane/centbefore.htm),  
acesso em 05-2011

[www.leosdrachen.bplaced.net/Hilfreiches/Alles\\_uber\\_Leinen\\_/Leinen\\_Lange/leinen\\_lange.html](http://www.leosdrachen.bplaced.net/Hilfreiches/Alles_uber_Leinen_/Leinen_Lange/leinen_lange.html)  
acesso em 25-07-2015

## APÊNDICE A

### Estado da Arte de Projetos Navais com Propulsão por Kites

#### KITEBOAT.CO.UK

Em 2006 os velejadores Jeremy Waitt and Chris Burk fizeram o primeiro contorno completo ao redor da ilha de White (Figura 142), utilizando um barco catamarã praiheiro adaptado para a utilização de um Kite (Figura 143), provando assim que é possível não apenas velejar com Kites á favor do vento, porém a tecnologia também favorece cursos diagonalmente opostos ao vento. O barco utilizado não apresenta tecnologia específica para o manuseio das forças geradas pelo Kite, sendo necessárias duas pessoas para manobrar o barco, uma para guiar o Kite e outra para fazer contra peso e guiar o barco.

Figura 142: Percurso dos velejadores Waitt e Burk ao redor da ilha de White



Fonte: [www.Kiteboat.co.uk](http://www.Kiteboat.co.uk) acesso em 30-11-2013

Figura 143: Barco catamarã adaptado para percorrer ao redor da ilha de White



Fonte: [www.Kiteboat.co.uk](http://www.Kiteboat.co.uk) em 30-11-2013

Na publicação pesquisada não há referências sobre o barco utilizado, nem o tipo de adaptação ou tecnologia específica. Nas fotos verifica-se a existência de um sistema convencional de lemes para controlar o rumo do barco. É possível supor, que foi utilizado uma base flutuante de um catamarã de cerca 5 metros de comprimento. O Kite mostrado em fotos do site é do tipo tubeKite comercial com área vélica de 16 metros quadrados ou mais.

## KITEBOAT.COM / PROJECT.KITEBOAT.COM

O projetista de Kites Don Montagne realizou até 2004 vários testes com canoas, catamarãs praiheiros e outras embarcações pequenas com até 6 metros de comprimento (Figura 144). A ênfase dos projetos foi a utilização geral de Kites para barcos, com detalhes mecânicos da ligação das linhas dos Kite baseados em tecnologia utilizadas na prática de Kitesurf e adaptadas para sustentar forças mais elevadas. A utilização dos barcos apresentados requer várias pessoas, sendo uma pessoa guiando o Kite e duas ou três pessoas para gerar contra peso de forma acrobática, quando são feitas manobras. Após 2004 o mesmo projetista continuou na ênfase de desenvolvimento de barcos movidos por Kite sob a sigla "project.Kiteboat.com".

Figura 144: 4 fotos de canoas experimentais adaptadas para uso de Kites



De 2004 em diante o projetista Don Montagne continuou desenvolvendo novos barcos protótipos tracionados por Kites utilizando tecnologias requintadas de elevado custo. Em diferente site na internet ele publicou fotos e vídeos de protótipos de barcos que utilizam hidrofólios (Figura 145), materiais compostos e ultraleves como fibra de carbono e mecanismos para o manuseio de Kites acoplados diretamente na estrutura dos barcos (Figura 146). Todos os barcos apresentados são monodirecionais e manuseados por três ou mais pessoas.

Figura 145: Foto de barco movido por Kite com hidrofólios auto adaptáveis



Figura 146: Roldanas para o controle semiautomático das linhas do Kite



Uma ênfase no desenvolvimento é o aperfeiçoamento de sistemas de hidrofólios auto adaptáveis, que permitem velocidades elevadas. Um dos protótipos mostrado apresenta um mecanismo para transferir as forças do Kite capturadas para fora do centro do barco (Figura 147), dispositivo que funciona apenas com o Kite posicionado em ângulos lateral ou à frente do barco.

Figura 147: Braço extensor para deslocar as forças do Kite



O projeto de barco tracionado por Kite de Don Montagne é caracterizado por altos custos tanto na manutenção de uma equipe profissional como também uma oficina bem equipada (Figura 148), equipamentos modernos e utilização de materiais náuticos de peso reduzido para alcançar altas velocidades.

Figura 148: Oficina equipada com recursos de alto padrão



Na construção dos barcos são aplicados métodos de construção computacionais, os controles das linhas dos Kites são automáticos ou semiautomáticos com sensores eletrônicos para computar a posição relativa e a força do Kite.

Os diversos barcos protótipos operam de forma convencional em apenas uma direção. As imagens e os vídeos apresentados dificultam a avaliação de manobras.

## **PACIFIC-SOLO.COM**

A velejadora Anne Quéméré realizou desde 2003 vários cruzeiros com barcos tracionados inicialmente por pipas ou paraquedas com tração por arrasto. Em 2011 ela apresentou um novo barco monocasco com dimensão em torno de 6 metros de comprimento, o qual é equipado com mecanismo central de conexão de linhas de Kite. Ela realizou um cruzeiro á favor da direção do vento e apresenta fotos e vídeos deste cruzeiro. Os barcos que ela usou são construídos para abrigar uma pessoa e mantimentos para até 90 dias (Figura 149 e 150).

Figura 149: Lançamento do Kite no barco movido por Kite para longos percursos



A construção deste barco não prevê a utilização do Kite em regime de sustentação plena, basicamente o Kite é utilizado apenas em regime de arrasto, reduzindo o potencial do Kite para cruzeiros quase sempre á favor do vento ou primordialmente á favor do vento. O barco não apresenta controles eletrônicos do voo do Kite nem a possibilidade de modificar o ponto da aplicação da força do Kite ao longo do eixo longitudinal do barco.

Figura 150: Operação do barco movido por Kite para longos percursos



Levando em consideração os percursos realizados pode se concluir, que as propostas tecnológicas destes barcos não incluem a perspectiva de realizar percursos que cruzam contra o vento com ângulos agudos, apesar do uso de Kite moderno em seu cruzeiro de 2011.

## **KITESHIP.COM**

O projetista Dave Culp vem desenvolvendo diversas soluções para o tracionamento de barcos e navios através de pipas em regime de arrasto. Em sua homepage ele apresenta fotos de barcos veleiros equipados com sistema adicional de propulsão por Kites (Figuras 151 e 152).

Figura 151: Barco veleiro tradicional equipado com pipa



A forma dos Kites mostrados levam a concluir, que trata-se de pipas no sentido que operam primordialmente no regime de arrasto. Desta forma a operação de barcos com esta tecnologia limita-se á cursos basicamente à favor do vento.

Figura 152: Barco veleiro com sistema adicional de tração por pipa



### **PETERLYNNKITES.COM**

Na Nova Zelândia são desenvolvidos diversos barcos de pequeno porte pelo desenhista de pipas e Kites Peter Lynn. Os barcos não apresentam tecnologia de fixação das linhas do Kite no barco, devendo o piloto do barco controlar o Kite com os mesmos métodos e equipamentos utilizados na prática de Kitesurf (Figura 153). A operação destes barcos limita-se na prática às forças que o piloto suporta carregar, basicamente o piloto absorve as forças do Kite em cinto preso no corpo e empurra o barco com seus pés.

Figura 153: Barco operado com tecnologia de Kitesurf



### **MAURICE GRENIER**

Outra tecnologia apresentada para a utilização de Kites em barcos envolve que o deslocamento do ponto de aplicação das forças do Kite utiliza um braço extensor, o qual pode ser virado para uma posição na qual o casco do barco sofra momento de guinada negativa. Esta tecnologia a principio se destina para o uso em barcos veleiros tradicionais e a intenção é diminuir ou evitar a guinada do barco ao longo do eixo longitudinal do barco, como mostram as Figuras 154 e 155.

Figura 154: Utilização de Kite para diminuir ou evitar a guinada de um barco

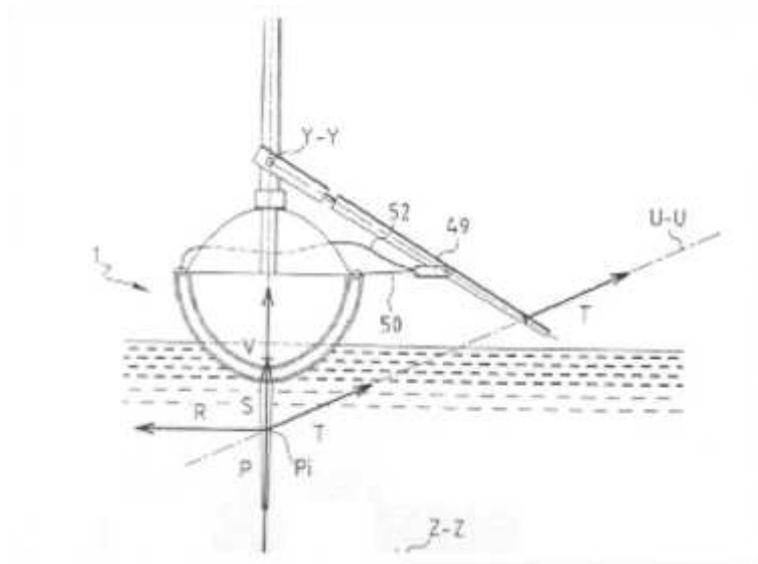


Figura 155: Barco movido por Kite com braço extensor



Fonte: (<http://www.voilecerfvolant.com/Gb/principle.html>)

## INGO VOEGLER

A tecnologia apresentada envolve um mecanismo para diminuir ou anular o momento azimutal atuando no casco gerado pela força de um Kite instalado na proa de um barco ou navio. Este mecanismo apresenta um hidrofólio giratório fixado na proa do barco como mostrado na Figura 156 e na foto da Figura 157. O ângulo do hidrofólio é definido pela posição do Kite em relação ao horizonte (ângulo  $\phi$ ).

Figura 156: Hidrofólio giratório para anular momento azimutal sobre o casco

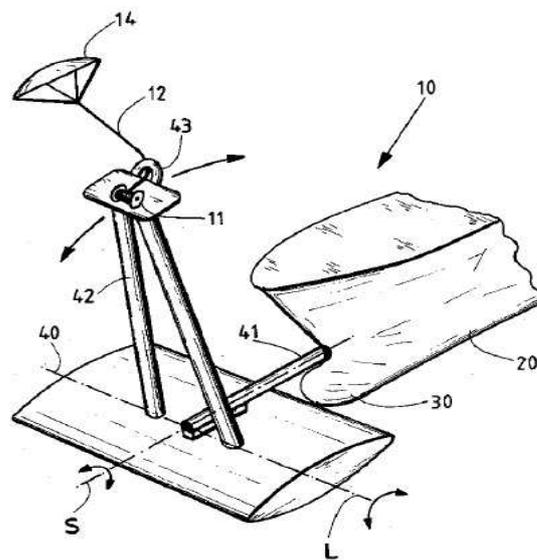


Figura 157: Hidrofólio giratório montado na proa de um barco



Em filme apresentado na internet, os efeitos da força do Kite na geração de um momento azimutal sobre o casco do barco aparentam realizar considerável melhoria sobre o controle do rumo do barco utilizado com a utilização deste mecanismo.

[http://worldwide.espacenet.com/searchResults?DB=worldwide.espacenet.com&locale=de\\_EP&query=ingo+voegler&ST=singleline&compact=false](http://worldwide.espacenet.com/searchResults?DB=worldwide.espacenet.com&locale=de_EP&query=ingo+voegler&ST=singleline&compact=false)

[http://www.youtube.com/watch?v=ruBQ1CM\\_VUA](http://www.youtube.com/watch?v=ruBQ1CM_VUA)

## SKYSAILS

A empresa Skysails desenvolveu um sistema de tração adicional por Kites para navios de grande porte e apresentou resultados de testes com um Kite especial com área velica de 200 metros quadrados (Figura 158). O ponto de aplicação da força do Kite é fixa e posicionada na extrema proa do navio.

Figura 158: Navio cargueiro com tração suplementar por um Kite



Fonte: [www.skysails.de](http://www.skysails.de)

A mecânica que envolve o uso de Kites em grandes navios se diferencia do uso de Kites em pequenas embarcações pelo fato da razão entre o peso do navio ser muito superior á força exercida pelo Kite – enquanto em barcos pequenos o momento azimutal exercido por um Kite instalado na proa de um barco é elevado e interfere substancialmente com a dirigibilidade do

barco, em grandes navios equipado pela empresa Skysails esta disposição é desprezada e apesar de não existir dados publicados á respeito do efeito da força do Kite no rumo de um navio de porte, é colocado nas publicações de Naajen, Koster [2007] que o efeito sobre o momento azimutal, isto é, no rumo do navio pode ser anulado facilmente com uma pequena correção da posição do leme do navio, para gerar momento azimutal oposto ao gerado pelo Kite no casco do navio.

Não foram publicados os dados sobre a grandeza de tal correção angular do leme nas diversas condições de operação do navio com Kite. Não é possível verificar através dos dados publicados pela Skysails ou por Breukels, se a eficácia da operação com Kite em navios com o Kite instalado na extrema proa do navio é diminuída de forma irrelevante ou de forma substancial, nas diversas condições de operação tais como, direção do vento relativo, grandeza do vento, ondas etc.

## APÊNDICE B

Dados obtidos de aparelho GPS (Garmin)

Tabela 27: Dados GPS Percurso P1

time	Latitude	longitude	altitude (m)
2012-10-17 12:51:56	-7.863754000	-34.833333000	8.3
2012-10-17 12:52:14	-7.863734000	-34.833035000	8.3
2012-10-17 12:52:32	-7.863720000	-34.832785000	7.8
2012-10-17 12:52:48	-7.863701000	-34.832594000	8.3
2012-10-17 12:53:07	-7.863688000	-34.832358000	8.8
2012-10-17 12:53:29	-7.863646000	-34.832108000	8.8
2012-10-17 12:53:49	-7.863610000	-34.831850000	8.3
2012-10-17 12:54:07	-7.863586000	-34.831622000	7.8
2012-10-17 12:54:26	-7.863565000	-34.831362000	7.8
2012-10-17 12:54:46	-7.863541000	-34.831120000	7.8
2012-10-17 12:55:05	-7.863505000	-34.830918000	7.8
2012-10-17 12:55:24	-7.863457000	-34.830716000	7.3
2012-10-17 12:55:43	-7.863402000	-34.830530000	7.8

Tabela 28: Dados GPS Percurso P2

time	latitude	longitude	altitude (m)
2012-10-17 12:57:48	-7.862777000	-34.829946000	8.3
2012-10-17 12:58:05	-7.862980000	-34.830146000	7.3
2012-10-17 12:58:21	-7.863200000	-34.830364000	6.9
2012-10-17 12:58:41	-7.863502000	-34.830664000	6.9
2012-10-17 12:59:02	-7.863794000	-34.830939000	7.3
2012-10-17 12:59:22	-7.864092000	-34.831245000	6.9
2012-10-17 12:59:42	-7.864384000	-34.831541000	6.4
2012-10-17 13:00:01	-7.864665000	-34.831866000	6.4
2012-10-17 13:00:18	-7.864928000	-34.832103000	6.9

Tabela 29: Dados GPS Percurso P3

time	latitude	longitude	altitude (m)
2012-10-17 13:00:48	-7.865342000	-34.832246000	6.4
2012-10-17 13:01:03	-7.865117000	-34.832100000	6.9
2012-10-17 13:01:20	-7.864843000	-34.831892000	6.9
2012-10-17 13:01:39	-7.864499000	-34.831676000	7.3
2012-10-17 13:01:56	-7.864187000	-34.831481000	7.3
2012-10-17 13:02:13	-7.863876000	-34.831297000	7.3
2012-10-17 13:02:28	-7.863588000	-34.831125000	7.8

2012-10-17 13:02:45	-7.863251000	-34.830956000	7.8
2012-10-17 13:03:03	-7.862880000	-34.830781000	7.8
2012-10-17 13:03:17	-7.862547000	-34.830633000	7.8
2012-10-17 13:03:32	-7.862228000	-34.830488000	8.3
2012-10-17 13:03:49	-7.861866000	-34.830325000	8.3
2012-10-17 13:04:02	-7.861575000	-34.830208000	8.8
2012-10-17 13:04:17	-7.861225000	-34.830059000	8.8

Tabela 30: Dados GPS Percurso P4

time	latitude	longitude	altitude (m)
2012-10-17 13:10:22	-7.866569000	-34.830252000	10.2
2012-10-17 13:10:37	-7.866823000	-34.830211000	8.8
2012-10-17 13:10:54	-7.867042000	-34.830156000	7.3
2012-10-17 13:11:12	-7.867228000	-34.830105000	7.3
2012-10-17 13:11:32	-7.867496000	-34.830050000	6.9
2012-10-17 13:11:48	-7.867719000	-34.829981000	6.9
2012-10-17 13:12:07	-7.867990000	-34.829913000	6.4
2012-10-17 13:12:23	-7.868204000	-34.829859000	5.9
2012-10-17 13:12:41	-7.868463000	-34.829818000	6.4
2012-10-17 13:13:00	-7.868730000	-34.829736000	6.9
2012-10-17 13:13:19	-7.868985000	-34.829704000	7.3
2012-10-17 13:13:35	-7.869198000	-34.829700000	8.3

Tabela 31: Dados GPS Percurso P5

time	latitude	longitude	altitude (m)
2012-10-17 13:14:21	-7.869327000	-34.829872000	9.3
2012-10-17 13:14:33	-7.869291000	-34.829933000	9.3
2012-10-17 13:14:49	-7.869181000	-34.830071000	8.8
2012-10-17 13:15:02	-7.869104000	-34.830235000	9.3
2012-10-17 13:15:17	-7.868993000	-34.830371000	8.8
2012-10-17 13:15:31	-7.868873000	-34.830500000	8.3
2012-10-17 13:15:45	-7.868752000	-34.830639000	8.8
2012-10-17 13:16:00	-7.868618000	-34.830806000	8.3
2012-10-17 13:16:15	-7.868479000	-34.830938000	8.8
2012-10-17 13:16:31	-7.868396000	-34.831095000	9.3
2012-10-17 13:16:47	-7.868328000	-34.831195000	9.8
2012-10-17 13:17:04	-7.868238000	-34.831325000	9.8
2012-10-17 13:17:23	-7.868132000	-34.831460000	10.2

Tabela 32: Dados GPS Percurso P6

time	latitude	longitude	altitude (m)
2012-10-17 13:25:45	-7.865729000	-34.832416000	9.3
2012-10-17 13:26:06	-7.865537000	-34.832234000	7.8
2012-10-17 13:26:20	-7.865323000	-34.832036000	8.3
2012-10-17 13:26:35	-7.865100000	-34.831795000	9.3
2012-10-17 13:26:53	-7.864817000	-34.831493000	9.8
2012-10-17 13:27:12	-7.864583000	-34.831191000	10.2
2012-10-17 13:27:31	-7.864342000	-34.830917000	10.2
2012-10-17 13:27:48	-7.864090000	-34.830628000	10.2
2012-10-17 13:28:06	-7.863826000	-34.830338000	10.2
2012-10-17 13:28:22	-7.863585000	-34.830079000	10.7
2012-10-17 13:28:39	-7.863381000	-34.829830000	10.7
2012-10-17 13:28:58	-7.863180000	-34.829572000	10.7
2012-10-17 13:29:15	-7.862968000	-34.829339000	10.2

Tabela 33: Dados GPS Percurso P7

time	latitude	longitude	altitude (m)
2012-10-17 13:39:37	-7.864346000	-34.830314000	12.6
2012-10-17 13:39:55	-7.863883000	-34.830234000	13.1
2012-10-17 13:40:07	-7.863589000	-34.830203000	12.6
2012-10-17 13:40:22	-7.863221000	-34.830145000	12.6
2012-10-17 13:40:38	-7.862848000	-34.830096000	13.1
2012-10-17 13:40:53	-7.862479000	-34.830085000	13.1
2012-10-17 13:41:10	-7.862070000	-34.830024000	13.1
2012-10-17 13:41:26	-7.861661000	-34.829939000	12.6
2012-10-17 13:41:42	-7.861250000	-34.829782000	12.2
2012-10-17 13:42:00	-7.860803000	-34.829698000	12.2
2012-10-17 13:42:14	-7.860403000	-34.829663000	11.7
2012-10-17 13:42:30	-7.860043000	-34.829643000	11.2
2012-10-17 13:42:48	-7.859697000	-34.829619000	10.7

Tabela 34: Dados GPS Percurso P8

time	latitude	longitude	altitude (m)
2012-10-17 13:52:03	-7.858411000	-34.828052000	15.5
2012-10-17 13:52:21	-7.858795000	-34.828061000	15.5
2012-10-17 13:52:36	-7.859118000	-34.828049000	15.0
2012-10-17 13:52:54	-7.859501000	-34.828036000	13.6
2012-10-17 13:53:11	-7.859835000	-34.828035000	13.6
2012-10-17 13:53:28	-7.860196000	-34.828040000	13.6

2012-10-17 13:53:43	-7.860496000	-34.828017000	13.6
2012-10-17 13:54:01	-7.860858000	-34.828028000	13.1
2012-10-17 13:54:17	-7.861209000	-34.828016000	12.2
2012-10-17 13:54:35	-7.861575000	-34.828006000	12.6
2012-10-17 13:54:47	-7.861835000	-34.828018000	11.7
2012-10-17 13:55:05	-7.862231000	-34.828051000	12.6
2012-10-17 13:55:20	-7.862575000	-34.828069000	11.7
2012-10-17 13:55:36	-7.862904000	-34.828044000	10.7
2012-10-17 13:55:51	-7.863196000	-34.828045000	12.6
2012-10-17 13:56:08	-7.863546000	-34.828078000	13.1
2012-10-17 13:56:24	-7.863891000	-34.828079000	13.6
2012-10-17 13:56:39	-7.864236000	-34.828093000	14.6
2012-10-17 13:56:56	-7.864630000	-34.828105000	14.1
2012-10-17 13:57:14	-7.865036000	-34.828091000	13.1
2012-10-17 13:57:31	-7.865383000	-34.828085000	13.1
2012-10-17 13:57:49	-7.865764000	-34.828111000	14.1

Tabela 35: Dados GPS Manobra M1

time	latitude	longitude	altitude (m)
2012-10-17 12:59:42	-7.864384000	-34.831541000	6.4
2012-10-17 13:00:01	-7.864665000	-34.831866000	6.4
2012-10-17 13:00:18	-7.864928000	-34.832103000	6.9
2012-10-17 13:00:35	-7.865203000	-34.832233000	6.4
2012-10-17 13:00:48	-7.865342000	-34.832246000	6.4
2012-10-17 13:01:03	-7.865117000	-34.832100000	6.9
2012-10-17 13:01:20	-7.864843000	-34.831892000	6.9
2012-10-17 13:01:39	-7.864499000	-34.831676000	7.3
2012-10-17 13:01:56	-7.864187000	-34.831481000	7.3
2012-10-17 13:02:13	-7.863876000	-34.831297000	7.3

Tabela 36: Dados GPS Manobra M2

time	latitude	longitude	altitude (m)
2012-10-17 13:43:58	-7.859058000	-34.830226000	11.7
2012-10-17 13:44:15	-7.859230000	-34.830567000	11.7
2012-10-17 13:44:30	-7.859428000	-34.830867000	11.2
2012-10-17 13:44:42	-7.859536000	-34.831132000	10.7
2012-10-17 13:44:55	-7.859578000	-34.831323000	10.7
2012-10-17 13:45:14	-7.859621000	-34.831458000	11.2
2012-10-17 13:45:35	-7.859565000	-34.831529000	12.2
2012-10-17 13:45:53	-7.859523000	-34.831583000	13.1
2012-10-17 13:46:07	-7.859454000	-34.831614000	12.6
2012-10-17 13:46:12	-7.859426000	-34.831599000	12.2
2012-10-17 13:46:27	-7.859348000	-34.831596000	10.7
2012-10-17 13:46:28	-7.859340000	-34.831588000	10.7
2012-10-17 13:46:32	-7.859300000	-34.831535000	10.7

2012-10-17 13:46:48	-7.859038000	-34.831256000	10.7
2012-10-17 13:47:04	-7.858772000	-34.830978000	10.2
2012-10-17 13:47:16	-7.858573000	-34.830892000	10.2
2012-10-17 13:47:27	-7.858313000	-34.830707000	10.2
2012-10-17 13:47:43	-7.858083000	-34.830434000	9.8

Tabela 37: Dados GPS Manobra M3

time	latitude	longitude	altitude (m)
2012-10-17 13:12:41	-7.868463000	-34.829818000	6.4
2012-10-17 13:13:00	-7.868730000	-34.829736000	6.9
2012-10-17 13:13:19	-7.868985000	-34.829704000	7.3
2012-10-17 13:13:35	-7.869198000	-34.829700000	8.3
2012-10-17 13:13:54	-7.869331000	-34.829759000	8.3
2012-10-17 13:14:12	-7.869344000	-34.829829000	9.3
2012-10-17 13:14:21	-7.869327000	-34.829872000	9.3
2012-10-17 13:14:33	-7.869291000	-34.829933000	9.3
2012-10-17 13:14:49	-7.869181000	-34.830071000	8.8
2012-10-17 13:15:02	-7.869104000	-34.830235000	9.3
2012-10-17 13:15:17	-7.868993000	-34.830371000	8.8
2012-10-17 13:15:31	-7.868873000	-34.830500000	8.3

Tabela 38: Dados GPS Manobra M4

time	latitude	longitude	altitude (m)
2012-10-17 13:48:18	-7.857567000	-34.829905000	9.3
2012-10-17 13:48:35	-7.857344000	-34.829565000	10.2
2012-10-17 13:48:51	-7.857173000	-34.829243000	10.7
2012-10-17 13:49:10	-7.856952000	-34.828857000	10.2
2012-10-17 13:49:26	-7.856751000	-34.828571000	10.7
2012-10-17 13:49:42	-7.856529000	-34.828298000	11.2
2012-10-17 13:50:00	-7.856252000	-34.827987000	10.7
2012-10-17 13:50:12	-7.856180000	-34.827876000	10.7
2012-10-17 13:50:23	-7.856244000	-34.827890000	10.7
2012-10-17 13:50:36	-7.856538000	-34.827943000	12.6
2012-10-17 13:50:55	-7.856963000	-34.827943000	14.6
2012-10-17 13:51:13	-7.857356000	-34.827947000	14.1
2012-10-17 13:51:29	-7.857687000	-34.827986000	14.6
2012-10-17 13:51:46	-7.858047000	-34.828032000	15.0
2012-10-17 13:52:03	-7.858411000	-34.828052000	15.5
2012-10-17 13:52:21	-7.858795000	-34.828061000	15.5

Tabela 39: Dados GPS Manobra M5

time	latitude	longitude	altitude (m)
2012-10-17 13:42:14	-7.860403000	-34.829663000	11.7
2012-10-17 13:42:30	-7.860043000	-34.829643000	11.2
2012-10-17 13:42:48	-7.859697000	-34.829619000	10.7
2012-10-17 13:43:05	-7.859444000	-34.829655000	10.7
2012-10-17 13:43:21	-7.859221000	-34.829707000	11.2
2012-10-17 13:43:39	-7.859051000	-34.829898000	12.2
2012-10-17 13:43:58	-7.859058000	-34.830226000	11.7
2012-10-17 13:44:15	-7.859230000	-34.830567000	11.7
2012-10-17 13:44:30	-7.859428000	-34.830867000	11.2

Tabela 40: Dados completos do GPS Garmin

time	latitude	longitude	altitude (m)
2012-10-17 12:49:49	-7.864488000	-34.834481000	8.3
2012-10-17 12:50:07	-7.864452000	-34.834316000	8.8
2012-10-17 12:50:24	-7.864425000	-34.834277000	9.3
2012-10-17 12:50:41	-7.864407000	-34.834261000	9.3
2012-10-17 12:50:58	-7.864371000	-34.834224000	9.8
2012-10-17 12:51:04	-7.864358000	-34.834210000	9.3
2012-10-17 12:51:08	-7.864301000	-34.834179000	9.3
2012-10-17 12:51:22	-7.864092000	-34.833954000	8.8
2012-10-17 12:51:40	-7.863866000	-34.833649000	8.3
2012-10-17 12:51:56	-7.863754000	-34.833333000	8.3
2012-10-17 12:52:14	-7.863734000	-34.833035000	8.3
2012-10-17 12:52:32	-7.863720000	-34.832785000	7.8
2012-10-17 12:52:48	-7.863701000	-34.832594000	8.3
2012-10-17 12:53:07	-7.863688000	-34.832358000	8.8
2012-10-17 12:53:29	-7.863646000	-34.832108000	8.8
2012-10-17 12:53:49	-7.863610000	-34.831850000	8.3
2012-10-17 12:54:07	-7.863586000	-34.831622000	7.8
2012-10-17 12:54:26	-7.863565000	-34.831362000	7.8
2012-10-17 12:54:46	-7.863541000	-34.831120000	7.8
2012-10-17 12:55:05	-7.863505000	-34.830918000	7.8
2012-10-17 12:55:24	-7.863457000	-34.830716000	7.3
2012-10-17 12:55:43	-7.863402000	-34.830530000	7.8
2012-10-17 12:56:03	-7.863289000	-34.830287000	7.3
2012-10-17 12:56:19	-7.863154000	-34.830063000	7.3
2012-10-17 12:56:37	-7.863057000	-34.829819000	7.8
2012-10-17 12:56:56	-7.862969000	-34.829594000	6.9
2012-10-17 12:57:12	-7.862931000	-34.829529000	7.3
2012-10-17 12:57:30	-7.862792000	-34.829714000	7.3
2012-10-17 12:57:48	-7.862777000	-34.829946000	8.3
2012-10-17 12:58:05	-7.862980000	-34.830146000	7.3
2012-10-17 12:58:21	-7.863200000	-34.830364000	6.9
2012-10-17 12:58:41	-7.863502000	-34.830664000	6.9
2012-10-17 12:59:02	-7.863794000	-34.830939000	7.3

2012-10-17 12:59:22	-7.864092000	-34.831245000	6.9
2012-10-17 12:59:42	-7.864384000	-34.831541000	6.4
2012-10-17 13:00:01	-7.864665000	-34.831866000	6.4
2012-10-17 13:00:18	-7.864928000	-34.832103000	6.9
2012-10-17 13:00:35	-7.865203000	-34.832233000	6.4
2012-10-17 13:00:48	-7.865342000	-34.832246000	6.4
2012-10-17 13:01:03	-7.865117000	-34.832100000	6.9
2012-10-17 13:01:20	-7.864843000	-34.831892000	6.9
2012-10-17 13:01:39	-7.864499000	-34.831676000	7.3
2012-10-17 13:01:56	-7.864187000	-34.831481000	7.3
2012-10-17 13:02:13	-7.863876000	-34.831297000	7.3
2012-10-17 13:02:28	-7.863588000	-34.831125000	7.8
2012-10-17 13:02:45	-7.863251000	-34.830956000	7.8
2012-10-17 13:03:03	-7.862880000	-34.830781000	7.8
2012-10-17 13:03:17	-7.862547000	-34.830633000	7.8
2012-10-17 13:03:32	-7.862228000	-34.830488000	8.3
2012-10-17 13:03:49	-7.861866000	-34.830325000	8.3
2012-10-17 13:04:02	-7.861575000	-34.830208000	8.8
2012-10-17 13:04:17	-7.861225000	-34.830059000	8.8
2012-10-17 13:04:34	-7.860921000	-34.829795000	8.3
2012-10-17 13:04:51	-7.860792000	-34.829693000	8.3
2012-10-17 13:04:55	-7.860797000	-34.829704000	8.3
2012-10-17 13:05:01	-7.860874000	-34.829709000	7.8
2012-10-17 13:05:21	-7.861165000	-34.829666000	7.8
2012-10-17 13:05:40	-7.861419000	-34.829590000	7.8
2012-10-17 13:06:01	-7.861688000	-34.829534000	7.3
2012-10-17 13:06:25	-7.862007000	-34.829486000	8.8
2012-10-17 13:06:42	-7.862264000	-34.829477000	8.8
2012-10-17 13:06:56	-7.862491000	-34.829481000	8.8
2012-10-17 13:07:07	-7.862697000	-34.829510000	7.8
2012-10-17 13:07:21	-7.862979000	-34.829596000	7.8
2012-10-17 13:07:36	-7.863264000	-34.829634000	7.8
2012-10-17 13:07:49	-7.863501000	-34.829695000	7.8
2012-10-17 13:08:05	-7.863771000	-34.829726000	9.8
2012-10-17 13:08:19	-7.863984000	-34.829750000	9.8
2012-10-17 13:08:31	-7.864217000	-34.829850000	8.8
2012-10-17 13:08:43	-7.864463000	-34.830007000	7.8
2012-10-17 13:08:57	-7.864793000	-34.830139000	6.9
2012-10-17 13:09:12	-7.865118000	-34.830175000	8.3
2012-10-17 13:09:25	-7.865392000	-34.830186000	8.8
2012-10-17 13:09:39	-7.865666000	-34.830209000	9.3
2012-10-17 13:09:54	-7.865983000	-34.830229000	9.8
2012-10-17 13:10:08	-7.866263000	-34.830234000	10.2
2012-10-17 13:10:22	-7.866569000	-34.830252000	10.2
2012-10-17 13:10:37	-7.866823000	-34.830211000	8.8
2012-10-17 13:10:54	-7.867042000	-34.830156000	7.3
2012-10-17 13:11:12	-7.867228000	-34.830105000	7.3
2012-10-17 13:11:32	-7.867496000	-34.830050000	6.9
2012-10-17 13:11:48	-7.867719000	-34.829981000	6.9
2012-10-17 13:12:07	-7.867990000	-34.829913000	6.4

2012-10-17 13:12:23	-7.868204000	-34.829859000	5.9
2012-10-17 13:12:41	-7.868463000	-34.829818000	6.4
2012-10-17 13:13:00	-7.868730000	-34.829736000	6.9
2012-10-17 13:13:19	-7.868985000	-34.829704000	7.3
2012-10-17 13:13:35	-7.869198000	-34.829700000	8.3
2012-10-17 13:13:54	-7.869331000	-34.829759000	8.3
2012-10-17 13:14:12	-7.869344000	-34.829829000	9.3
2012-10-17 13:14:21	-7.869327000	-34.829872000	9.3
2012-10-17 13:14:33	-7.869291000	-34.829933000	9.3
2012-10-17 13:14:49	-7.869181000	-34.830071000	8.8
2012-10-17 13:15:02	-7.869104000	-34.830235000	9.3
2012-10-17 13:15:17	-7.868993000	-34.830371000	8.8
2012-10-17 13:15:31	-7.868873000	-34.830500000	8.3
2012-10-17 13:15:45	-7.868752000	-34.830639000	8.8
2012-10-17 13:16:00	-7.868618000	-34.830806000	8.3
2012-10-17 13:16:15	-7.868479000	-34.830938000	8.8
2012-10-17 13:16:31	-7.868396000	-34.831095000	9.3
2012-10-17 13:16:47	-7.868328000	-34.831195000	9.8
2012-10-17 13:17:04	-7.868238000	-34.831325000	9.8
2012-10-17 13:17:23	-7.868132000	-34.831460000	10.2
2012-10-17 13:17:43	-7.868012000	-34.831604000	10.2
2012-10-17 13:18:02	-7.867914000	-34.831709000	9.8
2012-10-17 13:18:18	-7.867815000	-34.831757000	9.8
2012-10-17 13:18:37	-7.867683000	-34.831771000	10.2
2012-10-17 13:18:55	-7.867515000	-34.831795000	10.2
2012-10-17 13:18:56	-7.867505000	-34.831798000	10.7
2012-10-17 13:19:14	-7.867334000	-34.831843000	9.8
2012-10-17 13:19:21	-7.867271000	-34.831864000	9.8
2012-10-17 13:19:25	-7.867231000	-34.831866000	10.2
2012-10-17 13:19:44	-7.867058000	-34.831923000	10.2
2012-10-17 13:20:02	-7.866936000	-34.831922000	10.7
2012-10-17 13:20:18	-7.866858000	-34.831910000	12.2
2012-10-17 13:20:35	-7.866687000	-34.832027000	11.2
2012-10-17 13:20:54	-7.866587000	-34.832048000	10.2
2012-10-17 13:21:10	-7.866570000	-34.832103000	10.7
2012-10-17 13:21:24	-7.866537000	-34.832134000	11.7
2012-10-17 13:21:39	-7.866501000	-34.832169000	10.7
2012-10-17 13:21:56	-7.866482000	-34.832235000	10.2
2012-10-17 13:22:13	-7.866450000	-34.832269000	9.8
2012-10-17 13:22:30	-7.866414000	-34.832313000	10.2
2012-10-17 13:22:45	-7.866394000	-34.832355000	10.7
2012-10-17 13:23:01	-7.866342000	-34.832413000	10.7
2012-10-17 13:23:18	-7.866277000	-34.832452000	10.2
2012-10-17 13:23:36	-7.866236000	-34.832504000	10.7
2012-10-17 13:23:52	-7.866190000	-34.832545000	10.7
2012-10-17 13:24:07	-7.866139000	-34.832583000	10.2
2012-10-17 13:24:26	-7.866102000	-34.832626000	10.2
2012-10-17 13:24:42	-7.866062000	-34.832669000	9.8
2012-10-17 13:24:49	-7.866036000	-34.832698000	10.2
2012-10-17 13:24:59	-7.865981000	-34.832683000	9.3

2012-10-17 13:25:16	-7.865923000	-34.832623000	9.8
2012-10-17 13:25:29	-7.865860000	-34.832618000	10.2
2012-10-17 13:25:45	-7.865729000	-34.832416000	9.3
2012-10-17 13:26:06	-7.865537000	-34.832234000	7.8
2012-10-17 13:26:20	-7.865323000	-34.832036000	8.3
2012-10-17 13:26:35	-7.865100000	-34.831795000	9.3
2012-10-17 13:26:53	-7.864817000	-34.831493000	9.8
2012-10-17 13:27:12	-7.864583000	-34.831191000	10.2
2012-10-17 13:27:31	-7.864342000	-34.830917000	10.2
2012-10-17 13:27:48	-7.864090000	-34.830628000	10.2
2012-10-17 13:28:06	-7.863826000	-34.830338000	10.2
2012-10-17 13:28:22	-7.863585000	-34.830079000	10.7
2012-10-17 13:28:39	-7.863381000	-34.829830000	10.7
2012-10-17 13:28:58	-7.863180000	-34.829572000	10.7
2012-10-17 13:29:15	-7.862968000	-34.829339000	10.2
2012-10-17 13:29:29	-7.862680000	-34.829157000	10.2
2012-10-17 13:29:40	-7.862414000	-34.829039000	10.2
2012-10-17 13:29:50	-7.862126000	-34.828976000	10.2
2012-10-17 13:30:01	-7.861811000	-34.828854000	10.2
2012-10-17 13:30:12	-7.861523000	-34.828753000	10.2
2012-10-17 13:30:22	-7.861242000	-34.828663000	9.8
2012-10-17 13:30:34	-7.860961000	-34.828493000	9.8
2012-10-17 13:30:47	-7.860688000	-34.828285000	9.8
2012-10-17 13:31:06	-7.860404000	-34.827997000	9.8
2012-10-17 13:31:20	-7.860312000	-34.827873000	10.2
2012-10-17 13:31:33	-7.860555000	-34.827978000	11.2
2012-10-17 13:31:50	-7.860918000	-34.828032000	10.2
2012-10-17 13:32:09	-7.861334000	-34.828081000	8.3
2012-10-17 13:32:28	-7.861736000	-34.828119000	7.3
2012-10-17 13:32:41	-7.862017000	-34.828160000	6.4
2012-10-17 13:32:57	-7.862348000	-34.828204000	5.9
2012-10-17 13:33:15	-7.862734000	-34.828235000	7.3
2012-10-17 13:33:31	-7.863064000	-34.828276000	10.2
2012-10-17 13:33:45	-7.863377000	-34.828315000	8.8
2012-10-17 13:34:03	-7.863770000	-34.828337000	8.8
2012-10-17 13:34:21	-7.864151000	-34.828384000	6.9
2012-10-17 13:34:39	-7.864567000	-34.828442000	6.9
2012-10-17 13:34:52	-7.864893000	-34.828510000	6.9
2012-10-17 13:35:03	-7.865175000	-34.828606000	9.8
2012-10-17 13:35:14	-7.865456000	-34.828705000	9.8
2012-10-17 13:35:24	-7.865637000	-34.828771000	10.2
2012-10-17 13:35:33	-7.865675000	-34.828820000	10.2
2012-10-17 13:35:47	-7.865634000	-34.829039000	11.2
2012-10-17 13:36:01	-7.865513000	-34.829230000	11.2
2012-10-17 13:36:18	-7.865334000	-34.829460000	11.7
2012-10-17 13:36:35	-7.865195000	-34.829692000	11.2
2012-10-17 13:36:52	-7.865127000	-34.829844000	10.2
2012-10-17 13:37:05	-7.865070000	-34.829931000	10.2
2012-10-17 13:37:24	-7.864944000	-34.829997000	11.7
2012-10-17 13:37:43	-7.864842000	-34.830001000	13.6

2012-10-17 13:38:02	-7.864769000	-34.830018000	13.6
2012-10-17 13:38:22	-7.864699000	-34.830084000	14.1
2012-10-17 13:38:40	-7.864646000	-34.830152000	15.0
2012-10-17 13:38:56	-7.864613000	-34.830202000	15.0
2012-10-17 13:39:12	-7.864599000	-34.830279000	14.1
2012-10-17 13:39:14	-7.864595000	-34.830288000	14.1
2012-10-17 13:39:23	-7.864684000	-34.830312000	13.6
2012-10-17 13:39:37	-7.864346000	-34.830314000	12.6
2012-10-17 13:39:55	-7.863883000	-34.830234000	13.1
2012-10-17 13:40:07	-7.863589000	-34.830203000	12.6
2012-10-17 13:40:22	-7.863221000	-34.830145000	12.6
2012-10-17 13:40:38	-7.862848000	-34.830096000	13.1
2012-10-17 13:40:53	-7.862479000	-34.830085000	13.1
2012-10-17 13:41:10	-7.862070000	-34.830024000	13.1
2012-10-17 13:41:26	-7.861661000	-34.829939000	12.6
2012-10-17 13:41:42	-7.861250000	-34.829782000	12.2
2012-10-17 13:42:00	-7.860803000	-34.829698000	12.2
2012-10-17 13:42:14	-7.860403000	-34.829663000	11.7
2012-10-17 13:42:30	-7.860043000	-34.829643000	11.2
2012-10-17 13:42:48	-7.859697000	-34.829619000	10.7
2012-10-17 13:43:05	-7.859444000	-34.829655000	10.7
2012-10-17 13:43:21	-7.859221000	-34.829707000	11.2
2012-10-17 13:43:39	-7.859051000	-34.829898000	12.2
2012-10-17 13:43:58	-7.859058000	-34.830226000	11.7
2012-10-17 13:44:15	-7.859230000	-34.830567000	11.7
2012-10-17 13:44:30	-7.859428000	-34.830867000	11.2
2012-10-17 13:44:42	-7.859536000	-34.831132000	10.7
2012-10-17 13:44:55	-7.859578000	-34.831323000	10.7
2012-10-17 13:45:14	-7.859621000	-34.831458000	11.2
2012-10-17 13:45:35	-7.859565000	-34.831529000	12.2
2012-10-17 13:45:53	-7.859523000	-34.831583000	13.1
2012-10-17 13:46:07	-7.859454000	-34.831614000	12.6
2012-10-17 13:46:12	-7.859426000	-34.831599000	12.2
2012-10-17 13:46:27	-7.859348000	-34.831596000	10.7
2012-10-17 13:46:28	-7.859340000	-34.831588000	10.7
2012-10-17 13:46:32	-7.859300000	-34.831535000	10.7
2012-10-17 13:46:48	-7.859038000	-34.831256000	10.7
2012-10-17 13:47:04	-7.858772000	-34.830978000	10.2
2012-10-17 13:47:16	-7.858573000	-34.830892000	10.2
2012-10-17 13:47:27	-7.858313000	-34.830707000	10.2
2012-10-17 13:47:43	-7.858083000	-34.830434000	9.8
2012-10-17 13:48:02	-7.857786000	-34.830117000	9.8
2012-10-17 13:48:18	-7.857567000	-34.829905000	9.3
2012-10-17 13:48:35	-7.857344000	-34.829565000	10.2
2012-10-17 13:48:51	-7.857173000	-34.829243000	10.7
2012-10-17 13:49:10	-7.856952000	-34.828857000	10.2
2012-10-17 13:49:26	-7.856751000	-34.828571000	10.7
2012-10-17 13:49:42	-7.856529000	-34.828298000	11.2
2012-10-17 13:50:00	-7.856252000	-34.827987000	10.7
2012-10-17 13:50:12	-7.856180000	-34.827876000	10.7

2012-10-17 13:50:23	-7.856244000	-34.827890000	10.7
2012-10-17 13:50:36	-7.856538000	-34.827943000	12.6
2012-10-17 13:50:55	-7.856963000	-34.827943000	14.6
2012-10-17 13:51:13	-7.857356000	-34.827947000	14.1
2012-10-17 13:51:29	-7.857687000	-34.827986000	14.6
2012-10-17 13:51:46	-7.858047000	-34.828032000	15.0
2012-10-17 13:52:03	-7.858411000	-34.828052000	15.5
2012-10-17 13:52:21	-7.858795000	-34.828061000	15.5
2012-10-17 13:52:36	-7.859118000	-34.828049000	15.0
2012-10-17 13:52:54	-7.859501000	-34.828036000	13.6
2012-10-17 13:53:11	-7.859835000	-34.828035000	13.6
2012-10-17 13:53:28	-7.860196000	-34.828040000	13.6
2012-10-17 13:53:43	-7.860496000	-34.828017000	13.6
2012-10-17 13:54:01	-7.860858000	-34.828028000	13.1
2012-10-17 13:54:17	-7.861209000	-34.828016000	12.2
2012-10-17 13:54:35	-7.861575000	-34.828006000	12.6
2012-10-17 13:54:47	-7.861835000	-34.828018000	11.7
2012-10-17 13:55:05	-7.862231000	-34.828051000	12.6
2012-10-17 13:55:20	-7.862575000	-34.828069000	11.7
2012-10-17 13:55:36	-7.862904000	-34.828044000	10.7
2012-10-17 13:55:51	-7.863196000	-34.828045000	12.6
2012-10-17 13:56:08	-7.863546000	-34.828078000	13.1
2012-10-17 13:56:24	-7.863891000	-34.828079000	13.6
2012-10-17 13:56:39	-7.864236000	-34.828093000	14.6
2012-10-17 13:56:56	-7.864630000	-34.828105000	14.1
2012-10-17 13:57:14	-7.865036000	-34.828091000	13.1
2012-10-17 13:57:31	-7.865383000	-34.828085000	13.1
2012-10-17 13:57:49	-7.865764000	-34.828111000	14.1
2012-10-17 13:58:05	-7.866083000	-34.828153000	13.6
2012-10-17 13:58:16	-7.866237000	-34.828188000	14.1
2012-10-17 13:58:34	-7.866386000	-34.828324000	15.0
2012-10-17 13:58:49	-7.866457000	-34.828446000	13.6
2012-10-17 13:58:57	-7.866438000	-34.828500000	14.1
2012-10-17 13:59:12	-7.866334000	-34.828679000	13.1
2012-10-17 13:59:27	-7.866217000	-34.828879000	11.2
2012-10-17 13:59:42	-7.866061000	-34.829060000	10.2
2012-10-17 13:59:54	-7.865949000	-34.829213000	11.2
2012-10-17 14:00:07	-7.865844000	-34.829404000	11.2
2012-10-17 14:00:21	-7.865785000	-34.829602000	10.7
2012-10-17 14:00:40	-7.865725000	-34.829877000	10.2
2012-10-17 14:00:53	-7.865725000	-34.830068000	10.2
2012-10-17 14:01:08	-7.865793000	-34.830214000	10.7
2012-10-17 14:01:28	-7.865718000	-34.830466000	9.8
2012-10-17 14:01:42	-7.865702000	-34.830653000	9.3
2012-10-17 14:01:58	-7.865637000	-34.830850000	9.8
2012-10-17 14:02:15	-7.865463000	-34.831086000	9.8
2012-10-17 14:02:32	-7.865275000	-34.831317000	10.2
2012-10-17 14:02:49	-7.865088000	-34.831552000	10.7
2012-10-17 14:03:06	-7.864889000	-34.831780000	11.2
2012-10-17 14:03:20	-7.864886000	-34.832003000	11.7

2012-10-17 14:03:34	-7.865076000	-34.832153000	12.2
2012-10-17 14:03:48	-7.865341000	-34.832241000	12.6
2012-10-17 14:04:02	-7.865574000	-34.832283000	12.6
2012-10-17 14:04:14	-7.865612000	-34.832340000	12.6
2012-10-17 14:04:20	-7.865591000	-34.832371000	12.2
2012-10-17 14:04:36	-7.865454000	-34.832575000	11.7
2012-10-17 14:04:49	-7.865391000	-34.832749000	11.7
2012-10-17 14:05:03	-7.865327000	-34.832945000	10.7
2012-10-17 14:05:18	-7.865274000	-34.833186000	9.8
2012-10-17 14:05:30	-7.865219000	-34.833354000	10.2
2012-10-17 14:05:43	-7.865155000	-34.833530000	10.2
2012-10-17 14:05:54	-7.865070000	-34.833679000	10.7
2012-10-17 14:06:05	-7.864989000	-34.833844000	10.7
2012-10-17 14:06:17	-7.864861000	-34.833980000	9.8
2012-10-17 14:06:32	-7.864713000	-34.834232000	9.8
2012-10-17 14:06:40	-7.864781000	-34.834416000	9.3
2012-10-17 14:06:50	-7.864777000	-34.834461000	8.3

## APÊNDICE C

Tabela 41: Resistência ao Avanço da embarcação em função da Velocidade

Velocidade (nós)	Resistência N
0	--
0,5	0,96
1	4,5
1,5	14,39
2	33,56
2,5	73,28
3	149,71
3,5	207,99
4	193,09
4,5	280,96
5	371,28
5,5	421,13
6	452,47
6,5	472,47
7	490,37
7,5	507,66
8	534,77
8,5	555,7
9	590,63
9,5	610,16
10	653,64
10,5	691,75
11	709,29
11,5	767,63
12	797,3
12,5	818,6
13	866,78
13,5	941,37
14	965,68
14,5	996,57
15	1079,97
15,5	1114,99
16	1174,05
16,5	1205,48
17	1245,37
17,5	1296,92
18	1359,37
18,5	1412,27
19	1496,62
19,5	1567,73
20	1598,28