

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA

Victor Wigner Tremea

Trabalho de Conclusão de Curso

**DESCRIÇÃO DO COMPORTAMENTO DA FORÇA DO *KITE* EM RELAÇÃO AO SEU  
POSICIONAMENTO E AO DESLOCAMENTO DA BARRA DE CONTROLE**

Orientador: Prof. Dr. Jefferson Fagundes Loss

Porto Alegre

Julho de 2010

VICTOR WIGNER TREMEA

**DESCRIÇÃO DO COMPORTAMENTO DA FORÇA DO *KITE* EM RELAÇÃO AO SEU  
POSICIONAMENTO E AO DESLOCAMENTO DA BARRA DE CONTROLE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
como requisito parcial para obtenção do  
título de licenciado em Educação Física.

Orientador

PROF. DR. JEFFERSON FAGUNDES LOSS

Porto Alegre

Julho de 2010

## AGRADECIMENTOS

*Gostaria de agradecer....*

*em primeiro lugar ao meu orientador Jefferson Fagundes Loss por ter acreditado e criado a oportunidade para a realização desse trabalho.*

*Também agradeço aos integrantes do Grupo de Investigação da Mecânica do Movimento (BIOMECH), da UFRGS, com atenção aos nomes: Marcelo La Torre,*

*Guilherme Brodt e Débora Cantergi, os quais foram fundamentais na realização deste trabalho e,*

*em especial, a mestrande Lara Elena Gomes, por ter me ajudado e me acompanhado ao longo do meu trabalho, com muita paciência e constante incentivo.*

*E, por fim, aos meus familiares: Fabiane, Paulo e, StefanoTremea e Yone Wigner, que sempre me apoiaram e incentivaram.*

## RESUMO

**Introdução.** No *kitesurfing*, o indivíduo utiliza a energia do vento – por meio de um *kite* (pipa) controlável – para deslizar com uma prancha sobre a água. Para isso, ele deve alterar o ângulo de ataque do *kite*. Essa mudança pode ser realizada de duas formas: (1) mudando o *kite* na janela de vento e (2) movimentando a barra de controle. Ambas as formas alteram a posição do *kite* em relação ao vento, o que, conseqüentemente, modifica a força que o *kite* produz. Ainda, nenhum estudo que descrevesse a força do *kite* em relação à janela de vento foi encontrado. A análise da força do *kite* pode vir a colaborar na evolução técnica do esporte e no desenvolvimento de equipamentos. **Objetivo.** Dessa forma, o objetivo desse estudo foi descrever o comportamento da força exercida pelo *kite* em relação ao seu posicionamento na janela de vento e à distância percorrida pela barra de controle. **Métodos.** A coleta dos dados foi realizada por meio de videogrametria com reconstrução tridimensional e dinamometria em terra. Um *kite* foi preso a uma célula de carga, a qual estava fixada a um ponto de ancoragem. Duas fitas reflexivas foram posicionadas nas extremidades da barra de controle e mais duas foram colocadas na linha do *kite*. Um praticante de *kitesurfing* experiente controlou o *kite* em duas situações (duas vezes em cada situação): (1) deslocando duas vezes a barra de controle para cima e para baixo e (2) o *kite* em movimento de oito na janela de vento, cinco vezes. Os dados cinemáticos filtrados foram usados para determinar a distância percorrida pelo ponto médio da barra de controle e o posicionamento do *kite* na janela de vento, o qual foi realizado por meio do cálculo de dois ângulos: (1) ângulo vertical, formado entre a linha do *kite* e o plano horizontal e (2) ângulo horizontal, formado entre a linha do *kite* e o plano vertical (que passa aproximadamente entre as câmeras). Os dados de força foram filtrados e sincronizados com os dados cinemáticos. Foram selecionados os dois pontos de maior e menor valores de força em cada oito, desses pontos foram calculadas as médias dos valores de força e dos ângulos vertical e horizontal. **Resultados.** (1) Durante os testes de deslocamento da barra os valores de força variaram entre 2,5 e 32 kgf, aumentando à medida que a barra de controle é abaixada e diminuindo a medida que a barra de controle sobe. (2) Os valores de força movimentando o *kite* dentro da janela de vento variaram entre 2,4 e 110,7 kgf. No teste 2a as médias dos valores máximos de força e de seus ângulos vertical e horizontal e dos valores mínimos de força e de seus ângulos vertical e horizontal foram, respectivamente: 83,1±17,6; 58,9±6,6; 20,0±8; 16,5±6; 73,7±6,1; 19,3±5,8. Enquanto que no teste 2b as médias dos valores máximos de força e de seus ângulos vertical e horizontal, e dos valores mínimos de força e de seus ângulos vertical e horizontal foram, respectivamente: 77,4±16,5; 19,5±11,8; 64,9±7,0; 18,9±6,3; 27,7±7,5 e 75,0±9,5. Além disso, a zona de força da janela de vento foi definida como a combinação de ângulos verticais menores que 65° com ângulos horizontais menores que 25°. **Conclusão.** (1) Os valores de força aumentam a medida que a barra de controle é abaixada. (2) Os resultados sugerem que o ângulo vertical exerce maior influencia sobre os valores de força quando o *kite* se desloca na janela de vento, e que os maiores valores de força ocorrem na combinação de ângulos verticais inferiores a 65° com nos ângulos horizontais inferiores a 25°.

## PALAVRAS-CHAVE

Esportes Radicais – Esportes Náuticos – Janela de vento

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.....	31
Equação 2.....	33
Equação 3.....	37
Equação 4.....	37
Equação 5.....	55

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Figura extraída de Alcantelado (2009). Figura ilustrativa da invenção de George Pocock, sistema de pipa controlável com quatro linhas, que conseguia puxar uma carruagem a até 8,9 m/s com a utilização de pipas.....18
- Figura 2.** Figuras extraídas da internet (KITESURF MANIA, 2009). (A) Prancha direcional com alças para os pés e quilhas na extremidade de trás, chamada rabeta. (B) Lado superior da prancha bidirecional com alças para os pés. (C) Lado inferior da prancha bidirecional com quilhas nas duas extremidades.....25
- Figura 3.** Imagem (A) extraída de Cabrinha (2009): *Kite* tipo *Bow* com bordo de ataque (com tala inflável) e bordo de fuga (sem tala inflável). Imagem (B) extraída de extraída de Kitesurf Mania (2009): linhas vermelha e azul ligam o bordo de fuga às extremidades da barra de controle. E, linhas cinzas saem do bordo de ataque e se unem, passando dentro da barra de controle e terminando no *chicken loop*.....27
- Figura 4.** Figura extraída de Naish (2009). (A) *Kite Leash*. (B) Linhas que ligam o bordo de fuga à barra. (C) Linhas que ligam o *chicken loop* ao bordo de ataque. (D) *chicken loop*. (E) Barra de controle. (F) *Quick-release system*.....27
- Figura 5.** Figura elaborada pelo autor. Trapézio (A) e Cadeirinha (B) de *kitesurfing*.....28
- Figura 6.** Figura extraída do livro do Mcginnis (2002). (A) Fluxo laminar. (B) Fluxo turbulento.....32
- Figura 7.** Figura extraída e modificada de Mcginnis (2002). (A) Fólio e as linhas que estabelecem a trajetória das moléculas do fluido. (B) As moléculas do fluido no bordo de ataque. (C) As moléculas contornando o fólio. (D) Forças dinâmicas exercidas sobre o fólio.....34
- Figura 8.** Figura extraída de Hall (2005). (A) Ângulo de ataque igual a  $0^\circ$ . (B) Ângulo de ataque pequeno. (C) Ângulo de ataque grande.....35

- Figura 9.** Imagem (A) extraída de Blouin Junior, Isabella e Rodden (2007). ( $\alpha$ ) Ângulo de ataque do *kite*. ( $\theta$ ) Ângulo formado entre as linhas do *kite* e uma linha horizontal. Imagens “B” e “C”, extraídas de Kitesurf Mania (2009), correspondem respectivamente ao *kite* com ângulo de ataque do próximo de zero e o *kite* com ângulo de ataque aumentado.....36
- Figura 10.** Figura elaborada pelo autor. (A) Situação em que a barra de controle está na posição elevada, ou seja, afastada do corpo do velejador. (B) Situação em que a barra de controle está na posição abaixada, ou seja, mais próxima ao corpo do velejador.....36
- Figura 11.** Figura extraída de Kitesurf Mania (2009). Vista da área de maior superfície do *kite*, em que são destacadas a corda e a envergadura do *kite*.....37
- Figura 12.** Figura extraída de BLOUIN JUNIOR; ISABELLA; RODDEN (2007). Desenho representativo do perfil aerodinâmico de um *Foil kite* (A) e de um *LED kite* (B).....39
- Figura 13.** Figura extraída de Kitesurf Mania (2009). (A) Ilustração de um indivíduo manipulando o *kite* na zona neutra da janela de vento. (B) A janela de vento, com seu formato de  $\frac{1}{4}$  de esfera, onde as linhas de cor vermelha (em frente ao indivíduo) representam a zona de força e as linhas cores verdes e azuis (acima e nos lados do indivíduo) representam a zona neutra.....40
- Figura 14.** Figuras extraídas de Kitesurf Mania (2009). (A) Vista superior de um indivíduo em deslocamento, com *kite* na zona de força, posicionado mais a frente do indivíduo. As setas laranja indicam a direção do vento e a seta vermelha indica a direção de deslocamento. (B) Ilustração de um indivíduo movimentando o *kite*. na zona de força da janela de vento.....40
- Figura 15.** Figura extraída de Paelinck (2010). No eixo vertical estão os valores de força em kg. E, no eixo horizontal, os quatro *kites*, cada um com valores (da esquerda para a direita) de força em completo *depowered* (barra de controle na posição mais elevada), *depowered* (barra de controle em posição intermediária), *powered* (barra de controle completamente abaixada), e valor de pico (com a barra completamente

- abaixada).....42
- Figura 16.** Figura elaborada pelo autor. Ilustração do posicionamento do indivíduo, inclinado para trás. (A) Força de arrasto do *kite*.(B) Força de arrasto das quilhas e de resistência da onda. (C) Força peso do indivíduo. (D) Tendência de giro causada pela combinação das Forças (A) e (B). (E) Tendência de giro provocada pela força (C).....44
- Figura 17.** Figura elaborada pelo autor. Modelo esquemático - vista lateral - do ambiente de coleta com os eixos do sistema de referências: eixo Y ínfero-superior, o eixo X médio-lateral e o eixo Z ântero-posterior. O ângulo  $\theta$  representa o ângulo vertical formado entre as linhas do *kite* e o plano horizontal, representado pela linha tracejada.....47
- Figura 18.** Figura elaborada pelo autor. Modelo esquemático - vista superior - do ambiente de coleta com os eixos do sistema de referências: eixo Y ínfero-superior, o eixo X médio-lateral e o eixo Z ântero posterior. O ângulo  $\beta$  representa o ângulo horizontal formado entre as linhas do *kite* e a o vetor horizontal, representado pela linha tracejada.....47
- Figura 19.** Figura elaborada pelo autor. Câmeras posicionadas a 352 cm uma da outra, a câmera “A” foi posicionada a 300 cm da célula de carga, e a câmera “B” foi posicionada a 364 cm da célula de carga.....50
- Figura 20.** Figura elaborada pelo autor. (A e B) marcadores posicionados no cabo formado pelas linhas que saem do bordo de ataque do *kite*, e (C e D) marcadores posicionados nas extremidades da barra de controle.....50
- Figura 21.** Figura elaborada pelo autor. Calibrador da marca *Peak Performance* (modelo 5.3) no local da coleta de dados.....51
- Figura 22.** Figura elaborada pelo autor. (A) Mosquetão preso a célula de carga e ao *chicken loop* do *kite*, (B) mosquetão conectado à célula de carga e à mala e (C) mosquetão preso à célula de carga e ao carro.....52
- Figura 23.** Figura elaborada pelo autor. Gráfico dos valores reais de força em relação aqueles mensurados pela célula de carga.....55



- Figura 24.** Distância percorrida pela barra de controle em relação ao tempo. Em que, S1 e S2 representam fases de subida da barra de controle e D1 e D2 representam fases de descida da barra de controle.....56
- Figura25.** Força do *kite* em relação a distância percorrida pela barra de controle na fase de subida da mesma, no teste 1a.....57
- Figura26.** Força do *kite* em relação a distância percorrida pela barra de controle na fase de descida da mesma, no teste 1a.....58
- Figura27.** Ângulo horizontal da linha do *kite* em relação a distância percorrida pela barra de controle no teste 1a.....59
- Figura28.** Ângulo vertical da linha do *kite* em relação a distância percorrida pela barra de controle no teste 1a.....60
- Figura29.** Gráfico da força do *kite* em relação a combinação dos ângulos horizontal e vertical do teste 2a.....61
- Figura30.** Gráfico da força do *kite* em relação a combinação dos ângulos horizontal e vertical do teste 2b.....62
- Figura31.** Gráfico do deslocamento da barra de controle e dos valores de força em relação ao tempo no primeiro oito do teste 2a.....66
- Figura32.** Gráfico do deslocamento da barra de controle e dos valores de força em relação ao tempo no segundo oito do teste 2a.....67

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b>	Valores mínimos e máximos da força do <i>kite</i> encontrados em cada oito do teste 2a, com os seus respectivos ângulos horizontal e vertical.....	63
<b>Tabela 2.</b>	Valores mínimos e máximos da força do <i>kite</i> encontrados em cada oito do teste 2b, com os seus respectivos ângulos horizontal e vertical.....	64
<b>Tabela 3.</b>	Média e desvio padrão dos valores máximos de força encontrados, e de seus respectivos ângulos.....	65
<b>Tabela 4.</b>	Média e desvio padrão dos valores mínimos de força encontrados, e de seus respectivos ângulos.....	65

## LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E UNIDADES

$\alpha$	Alfa; ângulo de ataque.
$\beta$	Beta; ângulo horizontal.
$\theta$	Teta; ângulo vertical.
$A$	Área frontal.
$a$	Acuracia.
$b$	Diferença entre o tamanho real da barra e a média do valor calculado.
$C$	Corda.
$c$	Desvio padrão do valor médio do tamanho da barra calculado.
$Ca$	Coefficiente de arrasto.
CBVM	Confederação Brasileira de Vela e Motor.
$Cs$	Coefficiente de sustentação.
$F_A$	Força de arrasto.
FC	Frequência cardíaca.
$F_S$	Força de sustentação.
$^\circ$	Graus; unidade de medida de ângulo.
kg	Quilograma; unidade de medida de massa.
kg/m <sup>3</sup>	Quilograma por metro cúbico; unidade de densidade.
knots	Unidade de medida de velocidade.
LED	<i>Leading Edge Inflatables.</i>
m	Metro; unidade de comprimento.
mm	Milímetros; unidade de comprimento.
m/s	Metros por segundo; unidade de velocidade.

m <sup>2</sup>	Metro quadrado; unidade área.
mmol/l	Mili mol por litro.
N	Newton; unidade de medida de força.
N/kg	Newton por quilograma; unidade de força normalizada pelo peso corporal.
$\rho$	densidade.
QRS	<i>Quick-release system.</i>
RA	Razão de aspecto.
S	Envergadura.
UKSA	<i>United States Kitesurfing Association.</i>
VO <sup>2</sup>	Consumo de oxigênio.
V	Velocidade.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	17
<b>2.1 Origem do kitesurfing</b> .....	17
<b>2.2 Aspectos fisiológicos</b> .....	21
<b>2.3 Lesões</b> .....	22
<b>2.4 Equipamentos</b> .....	24
<b>2.5 Forças em um fluido</b> .....	29
2.5.1 EMPUXO .....	30
2.5.2 FORÇAS DINÂMICAS .....	30
2.5.2.1 Força de Arrasto .....	30
2.5.2.2 Força de Sustentação .....	32
2.5.3 ORIENTAÇÃO E ÁREA DE OBJETOS .....	34
2.5.3.1 Ângulo de ataque .....	34
2.5.3.2 Razão de aspecto .....	37
<b>2.6 Forças e os componentes do kite</b> .....	38
2.6.1 <i>KITE</i> .....	38
2.6.2 PRANCHA .....	42
2.6.3 INTERAÇÃO DE TODOS OS COMPONENTES .....	43
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	46
<b>3.1 Hipóteses</b> .....	46
<b>3.2 Definição operacional das variáveis</b> .....	46
<b>3.3 Amostra</b> .....	48
<b>3.4 Procedimentos metodológicos</b> .....	48
3.4.1 AQUISIÇÃO DOS DADOS .....	48
3.4.1.1 <i>Coleta dos dados cinemáticos</i> .....	49
3.4.1.2 <i>Coleta dos dados cinemáticos</i> .....	51
3.4.1.3 <i>Sincronização dos sistemas de dinamometria e cinemetria</i> .....	52
3.4.1.4 <i>Procedimento de aquisição dos dados</i> .....	52

3.4.2 ANÁLISE DOS DADOS .....	53
3.4.2.1 <i>Análise dos dados cinemáticos</i> .....	53
3.4.2.2 <i>Análise dos dados cinéticos</i> .....	54
<b>3.5 Instrumentos de coleta de dados</b> .....	54
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	56
4.1 <b>Teste do deslocamento da barra</b> .....	56
4.2 <b>Teste movimentando o kite na janela de vento</b> .....	61
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	69
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	70

## 1. INTRODUÇÃO

O *kitesurfing* é um esporte náutico relativamente novo, que vem crescendo rapidamente em popularidade (NICKEL *et al.*, 2004; LUNDGREN *et al.*, 2007; SPANJERSBERG; SCHIPPER, 2007; VERCRUYSSSEN *et al.*, 2009). Em 2009, a *International Kiteboarding Organization* relatou ter 130 centros de *kitesurfing* filiados, espalhados por 38 países, com 4000 instrutores cadastrados e com mais de 40000 alunos certificados. Em 2006, o número de praticantes espalhados pelo mundo foi estimado em aproximadamente 180000 pela *United States Kitesurfing Association* – UKSA (2009).

Segundo Costa (2005), esse esporte promove uma relação intensa com a natureza, podendo ser praticado em todos ambientes aquáticos, onde exista a incidência de vento sem a obstrução de morros ou outros obstáculos. Ainda, segundo esse autor, é importante que exista fácil acesso às praias e que elas tenham larga faixa de areia para montar, decolar e aterrizar o equipamento com segurança.

Durante a sua prática, o indivíduo – por meio de um *kite* (pipa) controlável – utiliza a energia do vento para deslizar com uma prancha sobre a água (NICKEL *et al.*, 2004; BLOUIN JUNIOR; ISABELLA; RODDEN, 2007; VERCRUYSSSEN *et al.*, 2009). Esse deslocamento é resultado da interação entre forças geradas em dois meios fluidos: a água (em relação à prancha) e o ar (em relação ao *kite*).

O *kite*<sup>1</sup> é uma estrutura em forma de um fólio, com armação inflável e com área que varia de 5 a 20 m<sup>2</sup>, os mais comumente utilizados são aqueles com área entre 8 e 16 m<sup>2</sup> (BLOUIN JUNIOR; ISABELLA; RODDEN, 2007; VERCRUYSSSEN *et al.*, 2009). Os *kites* mais novos são presos ao praticante por quatro linhas de aproximadamente 25 m. Duas linhas se ligam ao bordo de ataque e, próximo ao praticante, se unem, passando dentro da barra de controle e terminando no *chicken loop* (BLOUIN JUNIOR; ISABELLA; RODDEN, 2007), estrutura em forma de argola que o praticante prende ou ao trapézio (dispositivo com um gancho que é preso ao redor da cintura) ou à cadeirinha (dispositivo com um gancho e com alças para as pernas que envolve o quadril). As outras duas linhas saem do bordo de fuga e prendem-se cada uma em uma das extremidades da barra de controle (BLOUIN JUNIOR; ISABELLA; RODDEN, 2007).

---

<sup>1</sup> Uma descrição dos equipamentos é apresentada no item 2.4, página 24.

O praticante controla o *kite* manipulando a barra de controle e, para deslocar-se, é necessário alterar o ângulo de ataque do *kite*. Essa mudança pode ser realizada de duas formas: (1) movimentando o *kite* da zona neutra para a zona de força da janela de vento<sup>2</sup> e, (2) movimentando a barra de controle para cima e para baixo. Ambas as formas alteram a posição do *kite* em relação ao vento e em relação ao praticante, e conseqüentemente, modificam a força que o *kite* produz. No entanto, apesar de ser conhecido o funcionamento da janela de vento, não foram encontrados estudos que tenham mensurado os valores de força do *kite* dentro da janela de vento. Ainda, sabe-se que aproximando a barra de controle do corpo do praticante aumenta-se a força do *kite*, porém foi encontrado apenas um relato na internet de um estudo que avaliou a força durante a mudança de posição da barra. Logo, surge a seguinte questão: como é o comportamento da força exercida pelo *kite* durante o deslocamento do mesmo na janela de vento e, com a mudança da posição da barra de controle?

Independentemente da forma que o ângulo de ataque é alterado, o deslocamento do indivíduo pode ser orçado (*upwind*, contra o vento), arribado (*downwind*, a favor do vento), ou de traves (*reach*, perpendicular ao vento). Esses deslocamentos podem ocorrer com velocidades de aproximadamente 8 - 20 m/s, dependendo da velocidade do vento, do tamanho do *kite* e das condições da superfície da água, com ou sem ondas (NICKEL *et al.*, 2004; LUNDGREN *et al.*, 2007; VERCRUYSSSEN *et al.*, 2009). O peso do velejador também tem influência sobre o movimento resultante (LUNDGREN *et al.*, 2007). Em virtude da força vertical que o *kite* pode exercer, saltos de muitos metros também podem ser realizados (DACOSTA; LAMARTINE, 2005; EXADAKTYLOS *et al.*, 2005; VERCRUYSSSEN *et al.*, 2009).

Como os equipamentos apresentaram diversas mudanças importantes na recente história do *kitesurfing*, e para continuar esse processo evolutivo que torna o esporte mais seguro e melhora o desempenho, são necessários mais dados científicos (LUNDGREN *et al.*, 2007). Além disso, a produção científica sobre o *kitesurfing* é pouca e se concentra, até o momento, em analisar as lesões relativas a esse esporte (LUNDGREN *et al.*, 2007) e os aspectos fisiológicos (VERCRUYSSSEN *et al.*, 2009). Sendo assim, a análise de movimento e das forças externas

---

<sup>2</sup> Janela de vento: é região em que o *kite* voa em relação ao indivíduo, o seu formato se parece com  $\frac{1}{4}$  de uma esfera (BLOUIN JUNIOR; ISABELLA; RODDEN, 2007). Esta região é dividida em zona neutra – área em que o *kite* tem menores índices de força (LUNDGREN *et al.*, 2007) – e em zona de força – área que o *kite* tem maiores índices de força (BLOUIN JUNIOR; ISABELLA; RODDEN, 2007).



atuantes sobre o praticante, pode vir a colaborar na evolução técnica do esporte e no desenvolvimento de equipamentos, visto que pouco se sabe sobre o estresse mecânico e como o sistema músculo esquelético é afetado. Além disso, esse tipo de análise compreende o primeiro passo para uma análise posterior das forças internas do corpo do velejador, o que terá conseqüências na prevenção de lesões e na preparação física.

Devido a essas informações, esse trabalho teve como objetivo: descrever o comportamento da força exercida pelo *kite* em relação ao seu posicionamento na janela de vento e em relação à distância percorrida pela barra de controle.

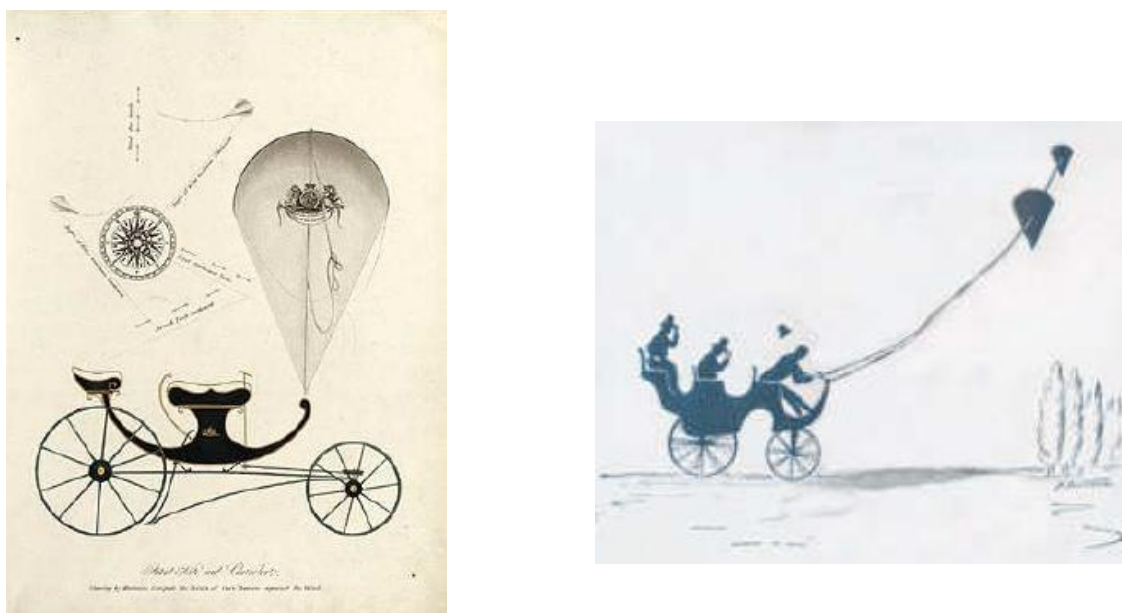
## 2. REVISÃO DE LITERATURA

O *kitesurfing* é um esporte náutico relativamente novo, que atraiu muitos praticantes, bem como o interesse de alguns pesquisadores. Para melhor compreender esse esporte, conhecer os trabalhos científicos já realizados sobre ele e, então, estabelecer uma base de conhecimento para esse trabalho, foi escrita essa revisão de literatura, a qual abrangeu os seguintes tópicos: (1) origem do *kitesurfing*, (2) aspectos fisiológicos, (3) lesões, (4) equipamentos, (5) forças em um fluido e (6) forças e os componentes do *kite*.

### 2.1 Origem do *kitesurfing*

A idéia de utilizar *kites* na produção de força para deslocamento é muito antiga (LYNN, 2009; ALCANTELADO, 2009). Acredita-se que as pipas foram criadas na China e, desde sua invenção, foram utilizadas para diferentes fins (BOOTH; THORPE, 2007; LYNN, 2009). No século XII, indonésios e polinésios utilizavam-nas para mobilizar suas canoas na pesca e no transporte (EXADAKTYLOS *et al*, 2005; BOOTH; THORPE, 2007). As pipas também tiveram utilização militar e científica. Em 1752, Dr. Benjamin Franklin com a ajuda de uma pequena pipa em uma tempestade conseguiu provar que o relâmpago é uma forma de eletricidade (ALCANTELADO, 2009).

Em 1826, o inventor britânico George Pocock patenteou uma incomum invenção, um sistema de pipa controlável com quatro linhas, que conseguia puxar uma carruagem a 8,9 m/s com a utilização de pipas, Figura 1 (LYNN, 2009; ALCANTELADO, 2009). Esse inventor tinha a intenção de estabelecer a pipa como alternativa à utilização de cavalos, em parte para evitar a tributação dos cavalos que era cobrada naquele tempo (LYNN, 2009). O sistema de Pocock provou os princípios da “pipa de tração” e possibilitou o deslocamento contra o vento, mas não era particularmente prático (BOOTH; THORPE, 2007; LYNN, 2009; USKA, 2009). Nos 150 anos seguintes à invenção de Pocock, a “pipa de tração” progrediu muito pouco, a não ser pelo feito de Samuel Franklin Cody, que em 1901, navegou no canal da Mancha puxado por uma pipa (LYNN, 2009; ALCANTELADO, 2009).



**Figura 1.** Figura extraída de Alcantelado (2009). Figura ilustrativa da invenção de George Pocock, sistema de pipa controlável com quatro linhas, que conseguia puxar uma carruagem em até 8,9 m/s com a utilização de pipas.

Em 1964, Domina Cleophase Jalbert, dos Estados Unidos, obteve a patente da primeira pipa “*ram air*” (pré-enchida de ar), conhecidas também como *parafoils* (ALCANTELADO, 2009). Essas estruturas são as únicas que não têm nenhuma armação, são feitas completamente de tecido e, consistem em células múltiplas enchidas com o ar pelo vento. As células de ar preenchidas dão à pipa sua estrutura e têm bastante sustentação para levantar pesadas cargas.

No final dos anos 70, o desenvolvimento da tecnologia de certos materiais e de pipas controláveis, razoavelmente eficientes, contribuiu muito no processo de origem do atual *kitesurfing*. O holandês Gijsbertus Panhuise, em 1977, conseguiu patentear um equipamento em que uma pessoa é puxada por um pára-quedas em uma prancha, este foi o primeiro modelo rústico de um equipamento de *kitesurfing* registrado (BOOTH; THORPE, 2007; ALCANTELADO, 2009).

Em 1978, outro grande passo foi dado, o norte americano Ian Day desenvolveu um barco movido à pipa, que ultrapassou a velocidade de 11,1 m/s (LYNN, 2009; USKA, 2009). No mesmo ano, Dave Culp desenvolveu o primeiro *kite* com bordas infláveis (LYNN, 2009).

Na década de 80, algumas tentativas de combinar pipas com canoas, patins, patins de gelo, esquis, esquis aquáticos, entre outros, foram feitas (CBVM, 2009). Uma delas foi a do suíço

Andréas Kuhn, que levantava da água sobre uma prancha, similar a do *wakeboard*, impulsionado por um equipamento de parapente, sendo o primeiro a realizar grandes saltos com ventos fracos (CBVM, 2009). Seus feitos foram mostrados pela televisão europeia, o que colaborou bastante na exposição internacional do esporte (CBVM, 2009).

Na década de 90, Peter Lynn, teve importante participação no desenvolvimento do esporte com a invenção, na Nova Zelândia, do *kitebuggying*, combinação de *buggies* de três rodas com a tecnologia de pipa *parafoil* dando origem a esta modalidade que, nos anos 90, conquistou muitos adeptos (LYNN, 2009; USKA, 2009). Segundo Alcantelado (2009), os *kites* evoluíram rapidamente em resposta ao surgimento do significativo e altamente competitivo mercado dos *kitebuggying*. Entretanto, segundo esse mesmo autor, o *kitesurfing* moderno surgiu com uma independência quase total do *buggying*, apesar dos conhecimentos adquiridos no *kitebuggying* terem sido de grande ajuda para o desenvolvimento do *kitesurfing*.

Foi o trabalho de duas famílias, uma francesa e uma americana, que na década de 80 colaborou consistentemente para que o *kitesurfing* chegasse à forma que se tem atualmente. Os Legaigoux na França, com a invenção do *kite* de estrutura inflável, e os Roeselers nos EUA's, com a invenção do *kiteski*.

Em 1984, Os irmãos Bruno e Dominique Legaigoux, que eram navegadores, surfistas e “windsurfistas”, desenvolveram uma pipa com câmaras de ar, as quais permitiam que a pipa fosse erguida novamente da água toda vez que caísse, sem precisar de ajuda de terceiros (BOOTH; THORPE, 2007; LYNN, 2009; USKA, 2009; CBVM, 2009). Na mesma época, Bill Roeseler e seu filho, Corey, ocuparam-se por muitos anos experimentando velejar com pipas de tração, *buggies* e barcos. Eles chegaram ao sucesso patenteando, em 1994, o sistema *Kiteski* (BOOTH; THORPE, 2007; LYNN, 2009; USKA, 2009; CBVM, 2009).

Esses quatro inventores trouxeram a solução técnica de dois grandes problemas para a prática do desenvolvimento do *kitesurf* como modalidade esportiva até aquele momento: a redcolagem do *kite* d'água e a navegação contra o vento (ALCANTELADO, 2009). Entre as principais diferenças dos dois modelos apresentados por eles, destaca-se o tipo de estrutura (armação) utilizada. Enquanto os Legaigoux usavam a estrutura inflável para dar forma ao *kite*, os Roeselers utilizavam uma estrutura rígida. Nos mecanismos de controle, a barra, que era

inexistente na patente dos Legaighoux, na dos Roeselers possuía uma manivela e aferia maior confiança e controle ao equipamento (ALCANTELADO, 2009).

Alcantelado (2009) refere-se à invenção do *kite* de estrutura inflável dos inventores Bruno e Dominique Legaighoux como o principal momento do surgimento do *kitesurf* como modalidade esportiva. Apesar da contribuição de outras plataformas tecnológicas no início da modalidade, a plataforma dos *kites* de estrutura inflável foi a que assumiu a liderança na preferência dos praticantes e a que melhor atendeu às necessidades da prática no meio náutico.

Em 1993, não conseguindo encontrar nenhum interessado em fazer um contrato de licença, os irmãos Legaighoux resolveram criar sua própria companhia: a Wipika. A partir disso, surgiram outras empresas especializadas e o *kite* começou a ser comercializado (CBVM, 2009; LYNN, 2009; USKA, 2009).

Inicialmente a prática do *kitesurf* foi marcada pela falta de controle das grandes pipas e na insegurança que proporcionavam a banhistas e praticantes. Eram comuns os relatos de acidentes, o que gerava certo receio em relação ao futuro do novo esporte (NICKEL et al., 2004; ALCANTELADO, 2009). As experiências de acidentes e preocupações com a segurança dos praticantes, e ainda, de possíveis proibições do *kitesurf* em determinados locais ou países, levaram ao desenvolvimento de regras de segurança (*Safe Kiteboarding Guidelines*) visando uma redução destas fatalidades.

Em abril de 1997 os irmãos Legaighoux depositam sua segunda patente na França. Essa patente descreve o sistema de controle de quatro linhas, permitindo o controle da angulação de incidência do *kite* (ângulo de ataque) em relação ao vento e direcionamento da asa. A capacidade de controle, estabilidade e de “*depower*” dos *kites* de quatro linhas foram capazes de conferir um sucesso inquestionável à nova configuração, principalmente no que se refere à segurança.

O novo produto começou a atrair a atenção da comunidade de entusiastas dos esportes radicais, mais precisamente no restrito círculo de pioneiros no *windsurf*. Maui no Hawaii começou a se tornar uma das mais efervescentes localidades para a prática do *kitesurf*, principalmente em razão do interesse de *windsurfistas* famosos, como Robby Naish e Pete Cabrinha que se interessam pelo novo esporte e que futuramente fundariam suas companhias de equipamento para o *kitesurf*, respectivamente as marcas *Naish* e *Cabrinha*.

Além da influência de ícones do *windsurfing*, o fato de que o equipamento de *kitesurf* (a pipa) cabe em uma mochila, permitindo que o praticante explore locais remotos sem a necessidade de uma guarderia para deixar seu equipamento, contribuiu para atrair muitos praticantes oriundos de outras modalidades, principalmente do *windsurfing*.

Em 1998, em Maui no Havaí, foi disputado o que foi chamado de 1º Campeonato Mundial, de *kitesurfing* nas modalidades: longa distância, em ondas e *slalom*. Dos 24 competidores, apenas dois optaram pelo *kiteski*, desenvolvido por Bill e Corey Roeseler, enquanto os outros usaram as pipas infláveis, dos irmãos Legaignoix (O RADICAL, 2009). O americano Marcus Flahs Austin foi o campeão na classificação geral, com uma pipa inflável, enquanto Corey Roeseler, com seu *kiteski*, ficou em segundo lugar (O RADICAL, 2009).

Outros campeonatos mundiais foram realizados e o esporte continuou a evoluir. Hoje, existem organizações, competições e revistas especializadas, ao redor do mundo, dedicadas a esse esporte (EXADAKTYLOS *et al.*, 2005). Logo, o número de praticantes está aumentando, no entanto, a produção científica sobre o *kitesurfing* ainda é pouca e se concentra, até o momento, em analisar as lesões (LUNDGREN *et al.*, 2007) e os aspectos fisiológicos (VERCRUYSSSEN *et al.*, 2009) relativos a esse esporte.

## 2.2 Aspectos fisiológicos

Segundo Vercruyssen *et al.* (2009), um maior entendimento das demandas fisiológicas fornece importantes informações para caracterizar o nível de intensidade do *kitesurfing* e para o planejamento de um programa de treinamento específico.

As principais categorias competitivas do *kitesurfing* são: *freestyle*, *hang time*, velocidade, travessias e *waves* (NICKEL *et al.*, 2004; VERCRUYSSSEN *et al.*, 2009). E, o tipo de treinamento deve ser adequado à demanda energética de cada categoria. Nickel (2004) propõe que a categoria mais popular é o *freestyle*, na qual o velejador tem que mostrar muitos movimentos e saltos enquanto é julgado por juízes, seguido do *hang time*, em que o atleta salta e o tempo de vôo é avaliado. Já em eventos de travessia, o velejador deve percorrer uma distância pré-estabelecida no menor tempo possível. Normalmente, as provas de travessia têm duração superior a

30 minutos (VERCRUYSSSEN *et al.*,2009). E no estilo *waves*, os competidores executam manobras nas ondas e de uma série de disputas sai o vencedor.

De acordo com Vercruyssen *et al.* (2009), durante regatas, especificamente nas travessias, o velejador exibe movimentos repetitivos e prolongados, caracterizados por contrações isométricas dos membros inferiores (uma faixa de ângulo entre a perna e a coxa de 135-150°) e dos membros superiores (flexão de cotovelo 90°). E, para reduzir o desenvolvimento da fadiga muscular, os velejadores realizam intervalos com rápidas contrações dinâmicas.

O único estudo encontrado sobre as demandas fisiológicas no *kitesurfing*, foi realizado por Vercruyssen *et al.* (2009). Nesse trabalho, foram avaliados 10 atletas de elite (9 do sexo masculino e 1 do sexo feminino), em um teste de corrida em pista de atletismo e em um teste de 30 minutos de velejo com vento entre 6,2 e 7,7 m/s (12 e 15 knots). O consumo de oxigênio (VO<sub>2</sub>) foi estimado a partir da frequência cardíaca (FC) obtida durante o teste de travessia, utilizando a relação VO<sub>2</sub>-FC estabelecida no teste de corrida. A concentração de lactato sanguíneo foi medida em repouso e 3 minutos depois da conclusão do exercício na água. As médias da FC e do VO<sub>2</sub> estimado representaram, respectivamente, 80,6 ± 7,5% da FC máxima e 69,8 ± 11,7% do VO<sub>2</sub> máximo para velocidades de deslocamento variando entre 7,72 e 8,75 m/s. Baixos valores de lactato foram observados depois do teste de travessia (2,1 ± 1,2 mmol/l).

Os resultados sugeriram que as demandas energéticas são majoritariamente sustentadas pelo metabolismo aeróbico nessas condições de vento e que um bom nível de aptidão física constitui um importante preditor de desempenho no *kitesurfing*.

O estudo de Vercruyssen *et al.* (2009) conclui que eventos de travessia podem ser considerados como atividade de intensidade moderada, caracterizada por baixos aumentos de lactato e VO<sub>2</sub> estimado acompanhados de consideráveis aumentos dos valores da FC em condições de pouco vento. Os autores ainda sugerem que mais estudos são necessários para analisar as demandas fisiológicas em ventos com velocidades diferentes e em diferentes categorias, além de mais estudos que contribuam no entendimento dos parâmetros biomecânicos determinantes desse esporte. Em contrapartida, os estudos sobre lesões são mais numerosos e já contribuíram muito para o desenvolvimento do esporte.

### 2.3 Lesões

Na prática do *kitesurfing*, o indivíduo pode alcançar grandes velocidades e alturas. Nessas condições, o risco de danos ao equipamento e ao praticante é evidente (SPANJERSBERG; SCHIPPER, 2007). A expansão do número de praticantes *kitesurfing* tem sido acompanhada do aumento do número de acidentes, que podem resultar em lesões graves e até mesmo a morte (SPANJERSBERG; SCHIPPER, 2007). O crescimento do número de lesões e o pequeno número de estudos realizados sobre este assunto - na sua maioria, realizados na Alemanha e publicados em alemão (KRISTEN; KRÖNER, 2001; PETERSEN *et al.*, 2002; PETERSEN *et al.*, 2005) - denota a necessidade de mais pesquisas.

Dentre os estudos já realizados podemos citar o de Spanjersberg e Schipper (2007), realizado junto ao “Serviço de Emergência Médica com Helicóptero” de Rotterdam, Holanda, em que foram analisadas a gravidade das lesões causadas pela prática do *kitesurfing* atendidas por esse serviço durante 3 anos. Nesse período, o serviço foi utilizado cinco vezes, sendo que um dos acidentes causou a morte de um velejador.

Esses autores, por meio da análise do esporte, dos materiais e das técnicas utilizadas, definiram três fatores de risco principais, relacionados: ao equipamento, à velocidade e à altura. Podendo resultar em quatro principais mecanismos de trauma:

- Cortes e machucados, devido a bordas afiadas (obstáculos, prancha, quilhas), linhas e pedras;
- Trauma por impacto, devido a colisões;
- Trauma por impacto, devido a quedas e aterrizagens;
- Afogamento.

Outro importante estudo nessa área é de Nickel *et al.* (2004), em que foram investigados 235 velejadores em Schleswig-Holstein, Alemanha, de abril a outubro de 2002. Foi relatado um total de 124 lesões durante a temporada de 6 meses, durante o total de 17728 horas de prática de *kitesurfing*. Resultando em uma taxa de sete lesões por 1000 horas de *kitesurfing*. Uma taxa significativamente maior foi obtida durante a prática competitiva, 16,6 lesões por 1000 horas de prática.

Nesse último estudo, os tipos de lesões mais comuns foram contusões, seguidas por



abrasões, dilacerações, entorses e fraturas. Além disso, as regiões de lesões mais comuns foram o pé e tornozelo (28%), seguidos da cabeça (14%), joelho (13%) e tórax (13%). As lesões foram classificadas como leves (77%), médias (19%), e graves (3%). Ainda, ocorreu um acidente fatal, no qual o atleta teve politrauma por impacto contra pedras durante uma competição.

A maioria das lesões (54%) ocorreu na água em uma distância maior que 50 m da praia, 32 lesões (26%) ocorreram na água a uma distância menos que 50 m da praia, e 25 lesões (20%) ocorreram na praia. *Quick-release system*<sup>3</sup> (QRS) foi usado por 42 velejadores (18%). Nesse grupo, a taxa de lesão (4,8 lesões por 1000 horas de *kitesurfing*) foi menor do que a taxa de lesões de velejadores que não usavam um QRS (7,6 lesões por 1000 horas de *kitesurfing*).

Em ambos os estudos, e no trabalho realizado por Exadaktylos *et al* (2005), a situação mais freqüente que resultou em trauma por impacto foi a perda de controle do *kite* com incapacidade de liberar o *kite* do trapézio e, como resultado, o praticante foi atirado contra um obstáculo. Para ambos os estudos, o *kitesurfing* pode ser considerado como esporte de alto risco. Sendo as lesões por impacto as mais comuns e estas, muitas vezes, são atribuídas à falta ou à incapacidade de utilizar um QRS (NICKEL *et al.*, 2004; SPANJERSBERG; SCHIPPER, 2004; EXADAKTYLOS *et al*, 2005).

Nickel *et al.* (2004) e Exadaktylos *et al* (2005) propuseram que a taxa de lesões poderia ser diminuída se estratégias de prevenção fossem aplicadas. Esses autores incluíram, nessas estratégias, o uso de equipamento de proteção e de segurança como o capacete, o colete flutuante e o QRS. Como o esporte tem crescido e evoluído rapidamente e, atualmente todos os *kites* são providos do QRS, além de terem sido criados guias de segurança. Provavelmente novos estudos venham a apresentar uma nova realidade do esporte. Além disso, estudos que se concentrem em outros tipos de lesão, tais como as relacionadas a algum tipo de sobrecarga articular.

Com a evolução do esporte os equipamentos também sofreram alterações e, como existem diferentes tipos de equipamentos, e o conhecimento dos mesmos e a sua correta utilização parecem ser importantes na prevenção de lesões.

## 2.4 Equipamentos

---

<sup>3</sup> *Quick-release system*: sistema de segurança que permite o velejador se desprender do *kite*, liberando-o (NICKEL *et al.*, 2004).

O equipamento básico para o velejo é composto pela prancha, trapézio (ou cadeirinha), *kite*, barra de controle e linhas. Ainda, podem ser utilizados alguns equipamentos acessórios, como jaquetas flutuantes, *leashes* (para a prancha e para o *kite*), capacete, entre outros.

Existem muitos tipos de prancha, normalmente os tamanhos variam entre 120 e 200 cm de comprimento (NICKEL *et al.*, 2004; USKA, 2009) e podem ser feitas de diferentes materiais, o que confere diferente flutuabilidade para cada uma delas. De um modo geral, a escolha do tipo e tamanho da prancha depende da condição de velejo e da modalidade a ser praticada, podendo também ser levado em consideração o tamanho e o peso do velejador.

As pranchas são divididas em direcionais (com bico, lado definido para estar na frente, e com rabeta, lado definido para estar atrás) e em bidirecionais (Figura 2), nas quais é possível andar com ambas as extremidades para frente, ou seja, não existe lado definido para estar na frente ou atrás (NICKEL *et al.*, 2004; USKA, 2009). As bidirecionais, normalmente, são menores, têm quilhas nas duas extremidades e, segundo a UKSA (2009) são as mais populares, além de serem as mais utilizadas na iniciação, porque permitem ao praticante mudar de direção sem ter de virar a prancha.

As quilhas estão presentes em quase todas as pranchas, e podem variar em forma, tamanho, número e local dos seus posicionamentos na prancha. Quilhas são elementos laminares perpendiculares ao fundo da prancha, dispostas no eixo longitudinal. Diferentemente das bidirecionais, as quilhas das pranchas direcionais são presentes somente na rabeta. As quilhas têm papel muito importante, pois contribuem para direcionar o deslocamento, evitando o “deslizamento” lateral da prancha sobre a água (NICKEL *et al.*, 2004).



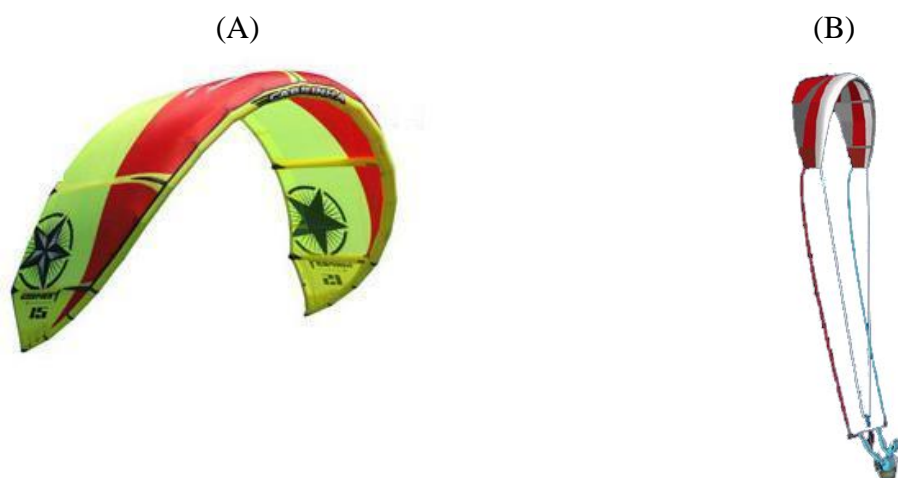
**Figura 2.** Figuras extraídas da internet (KITESURF MANIA, 2009). (A) Prancha direcional com alças para os pés e quilhas na extremidade de trás, chamada rabeta. (B) Lado superior da prancha bidirecional com alças para os pés. (C) Lado inferior da prancha bidirecional com quilhas nas duas extremidades.

Ainda, as pranchas podem ser usadas sem presilhas para os pés, o que dificulta a realização de saltos, ou com presilhas tipo alça que permitem a colocação e a retirada rápida dos pés. Além dessas, existem as presilhas tipo botinha, as quais são semelhantes às presilhas das pranchas de *wakeboard* (NICKEL *et al.*, 2004; USKA, 2009). Um *leash* pode ser usado para prender a prancha ao tornozelo, o que evita que a prancha se afaste muito do praticante caso este venha a perder a prancha (NICKEL *et al.*, 2004).

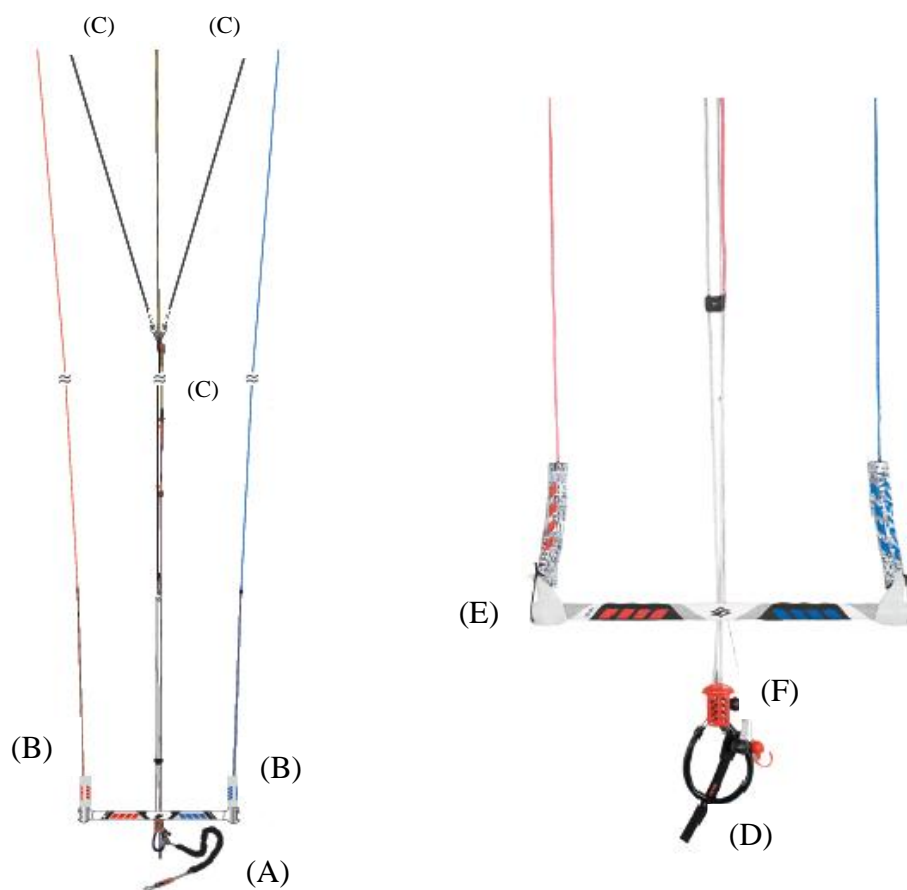
Além dos equipamentos já citados, existem diferentes tipos de sistemas de controle do *kite*, que utilizam um número variado de linhas, de uma a cinco linhas de 25 a 30 m de comprimento (EXADAKTYLOS *et al.*, 2005; BLOUIN JUNIOR; ISABELLA; RODDEN, 2007). O sistema mais recente e mais utilizado é composto por quatro linhas. Elas são utilizadas para ligar o bordo de fuga do *kite* à barra de controle (figura 3, imagem B) e o bordo de ataque do *kite* ao *chicken loop* - figuras 3 e 4 (BLOUIN JUNIOR; ISABELLA; RODDEN, 2007; USKA, 2009). Essas linhas são feitas de um material bastante resistente, capaz de agüentar cargas dinâmicas intensas e variadas, mesmo tendo uma seção transversa pequena.

As linhas que saem do bordo de ataque se unem formando um cabo. Nesse cabo, normalmente existe, ao alcance da mão do velejador, um sistema de regulagem que permite alterar o comprimento das linhas, modificando os ângulos de ataque possíveis do *kite*. Mais abaixo desse sistema, o cabo passa por dentro da barra de controle e tem um anel emborrachado na extremidade, chamado *chicken loop* (Figura 4, letra D). Essa constituição permite que a barra possa ser movimentada para cima e para baixo, elevando e abaixando o bordo de fuga e, conseqüentemente, modificando o ângulo de ataque do *kite* (BLOUIN JUNIOR; ISABELLA; RODDEN, 2007).

O praticante pode velejar enganchado, situação em que o *chicken loop* é preso no gancho do trapézio, que envolve a cintura, ou no gancho da cadeirinha, que envolve o quadril, figura 5 (LUNDGREN *et al.*, 2007). Essa é a situação mais comum, porém o praticante ainda pode velejar desenganchado, circunstância em que o *chicken loop* não é preso ao trapézio ou a cadeirinha, o que, normalmente, ocorre por um período curto para a realização de manobras.

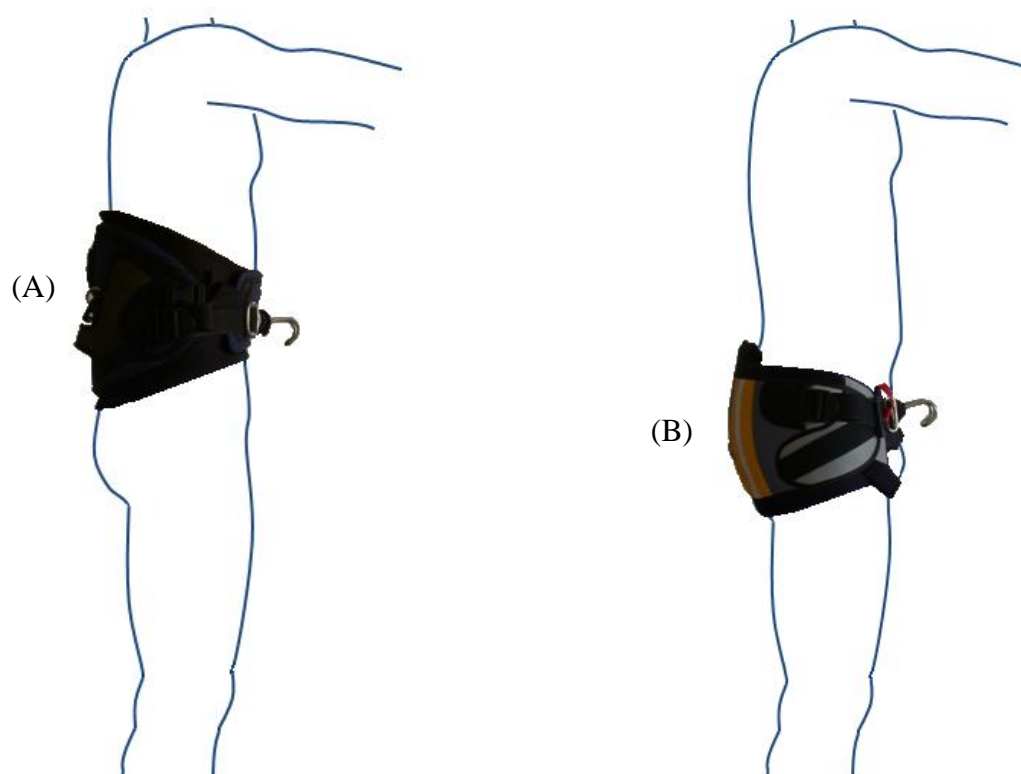


**Figura 3.** Imagem (A) extraída de Cabrinha (2009): *Kite* tipo *Bow* com bordo de ataque (com tala inflável) e bordo de fuga (sem tala inflável). Imagem (B) extraída de Kitesurf Mania (2009): linhas vermelha e azul ligam o bordo de fuga às extremidades da barra de controle. E, linhas cinzas saem do bordo de ataque e se unem, passando dentro da barra de controle e terminando no *chicken loop*.



**Figura 4.** Figura extraída de Naish (2009). (A) *Kite Leash*. (B) Linhas que ligam o bordo de fuga à barra. (C) Linhas que ligam o *chicken loop* ao bordo de ataque. (D) *chicken loop*. (E) Barra de controle. (F) *Quick-release system*.

Segundo a *United States Kitesurfing Association* (2009), tanto o trapézio quanto a cadeirinha aliviam a tensão exercida pelo *kite* dos braços do velejador e a distribui na porção específica do corpo do velejador, sendo o trapézio o mais utilizado por praticantes em nível avançado, embora a cadeirinha permita uma prática com menor esforço do velejador. Também é usado um *kite leash* (figura 4, letra A), que prende o trapézio a uma das linhas do *kite* e evita que este saia voando caso o velejador perca o controle sobre o mesmo e use o QRS. Esse *leash* também deve apresentar um dispositivo que permita desprendê-lo facilmente caso o *kite* continue a proporcionar algum tipo de risco ao praticante, mesmo depois de desconectado (NICKEL *et al.*, 2004).



**Figura 5.** Figura elaborada pelo autor. Trapézio (A) e Cadeirinha (B) de *kitesurfing*.

O velejador controla o *kite* puxando as extremidades da barra de controle (LUNDGREN *et al.*, 2007; USKA, 2009), a qual pode ter tamanhos variados de acordo com o tamanho do *kite* (BEST KITEBOARDING USERS MANUAL, 2007). Alguns tipos QRS são na barra de controle, outros são no *chicken loop* (USKA, 2009).

Os principais tipos de *kite* são os *Leading Edge Inflatables* (LED) e *Foil kites*. Os LED

*kites* são os mais utilizados atualmente, possuem apenas uma superfície de tecido e talas infláveis (bexigas) que dão o seu formato de fólio, além de manter o seu perfil aerodinâmico estável, tornando-os também insubmergíveis e, conseqüentemente, mais fáceis de redecolar (EXADAKTYLOS *et al*, 2005; BLOUIN JUNIOR; ISABELLA; RODDEN, 2007; BEST KITEBOARDING USERS MANUAL, 2007). Estes se subdividem em *C-kites* e *Bow kites*. Os *Bow kites* (Figura 3) se diferem dos *C-kites* por terem um arco mais raso (menos acentuado) e um sistema de roldana nas linhas do bordo de ataque, o que permite uma maior variação do ângulo de ataque nesses *kites*, oferecendo um melhor ajuste da quantidade e da intensidade de força do *kite* e permitindo um completo *depower*<sup>4</sup>, conseqüentemente, melhora a segurança e facilita ainda mais a redecolagem (USKA, 2009).

Os *Foil Kites* possuem duas camadas de tecidos, superior e inferior, divididas em vários pequenos compartimentos chamados células que se enchem de ar e dão o formato ao *kite* (BLOUIN JUNIOR; ISABELLA; RODDEN, 2007; USKA, 2009). Geralmente, são mais resistentes a impactos que os LED, porém podem não redecolar quando caem na água. São mais populares em esportes de tração em terra (*skate* e *buggie*) e na neve (*snowboard* e *ski*), em que não existe a chance d'água invadir as células (USKA, 2009). Não obstante, para entender como o *kite* voa é necessário entender como sua aerodinâmica causa diferenças de pressão devido à incidência do fluxo de ar, e como essas forças interagem resultando no deslocamento desejado.

## 2.5 Forças em um fluido

O movimento de um corpo como um todo é determinado pelas forças que agem sobre ele, sendo que essas forças são resultado da interação com o ambiente que circunda esse corpo (MCGINNIS, 2002). O deslocamento no *kitesurfing* é decorrente de uma complexa interação de um grande número de forças geradas em dois diferentes meios fluidos<sup>5</sup>: a água e o ar. Embora ambos sejam fluidos, existem diferenças nas suas propriedades, principalmente, quanto à densidade, as quais se tornam extremamente importantes quando suas interferências no esporte

---

<sup>4</sup> *Depower*: diminuição da força do *kite*.

<sup>5</sup> Fluido: é algo que se deforma continuamente sob a aplicação de uma tensão de cisalhamento (FOX; MCDONALD; PRITCHARD, 2006).

são consideradas (NORTHRIP; LOGAN; MCKINNEY, 1979). Esses fluidos exercem forças sobre os corpos e objetos que se encontram imersos ou movimentando-se através deles (MCGINNIS, 2002; HALL, 2005). Algumas dessas forças, tais como forças de arrasto e o empuxo, tornam mais lenta a progressão de um corpo, outras como a força de sustentação conferem apoio ou propulsão ao corpo (HALL, 2005).

### 2.5.1 EMPUXO

O empuxo é uma força causada pela imersão de um objeto em um fluido, sempre resultando em uma força vertical para cima (NORTHRIP; LOGAN; MCKINNEY, 1979; MCGINNIS, 2002; HALL, 2005). A magnitude dessa força é igual ao peso específico do fluido multiplicado pelo volume de fluido deslocado pelo objeto imerso, ou seja, é proporcional à densidade do meio e ao volume do objeto submerso.

Para que um corpo flutue em um fluido é necessário que o empuxo se iguale a força peso do objeto. Devido à baixa densidade (massa/volume) do ar, o empuxo causado por ele pode ser desconsiderado na maioria dos esportes (NORTHRIP; LOGAN; MCKINNEY, 1979). Porém, ainda que o volume do corpo submerso seja o principal agente sobre a magnitude do empuxo, a maior densidade da água do mar comparada à água doce pode ser bastante importante em esportes aquáticos, pois gera uma diferença de aproximadamente 3% no valor do empuxo, que é maior na água do mar (NORTHRIP; LOGAN; MCKINNEY, 1979; HALL, 2005).

Diferentemente do empuxo, outras forças envolvidas na relação de objetos com fluidos podem assumir outras direções que não somente verticais.

### 2.5.2 FORÇAS DINÂMICAS

As forças dinâmicas podem ser tanto resistivas quanto propulsivas, e são decompostas em dois componentes: forças de arrasto e de sustentação (HALL, 2005; COSTA, 2010).

#### 2.5.2.1 Força de Arrasto

A força de arrasto ( $F_A$ ) é causada pela ação dinâmica do fluido que age na direção do fluxo das suas partículas (MCGINNIS, 2002; HALL, 2005), em oposição ao movimento do objeto, ou seja, ela é baseada na 3ª lei de Newton<sup>6</sup> (Ação e Reação). Em geral, o arrasto é uma força de resistência – que torna mais lento o movimento de um corpo através de um fluido (MCGINNIS, 2002; HALL, 2005). Essa força pode ser estimada pela seguinte equação:

---

em que,

$F_A$  (N) é a força de arrasto;

$C_a$  é o coeficiente de arrasto;

$\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) é a densidade do fluido;

$A$  (m<sup>2</sup>) é a área frontal do corpo;

$v^2$  (m/s) é a velocidade do corpo relativa ao fluido.

A força de arrasto é composta por três componentes: arrastos de superfície, de forma e resistência de onda. O primeiro deriva do “atrito” entre as moléculas do fluido e a superfície do objeto, que torna essas moléculas mais lentas, afetando, conseqüentemente, as camadas sucessivas de moléculas do fluido, próximas da superfície do objeto em movimento (MCGINNIS, 2002; HALL, 2005).

O arrasto de forma ocorre quando as moléculas do fluido batem na superfície do objeto que se move no fluido, o que modifica a trajetória dessas moléculas, mas quando isso acontece essas moléculas atingem outras moléculas do fluido, que as empurram de volta em direção à superfície do objeto (MCGINNIS, 2002). Assim, a molécula tenderá a seguir a curvatura do objeto, isso ocorre durante o que é conhecido por fluxo laminar (Figura 6, letra A).

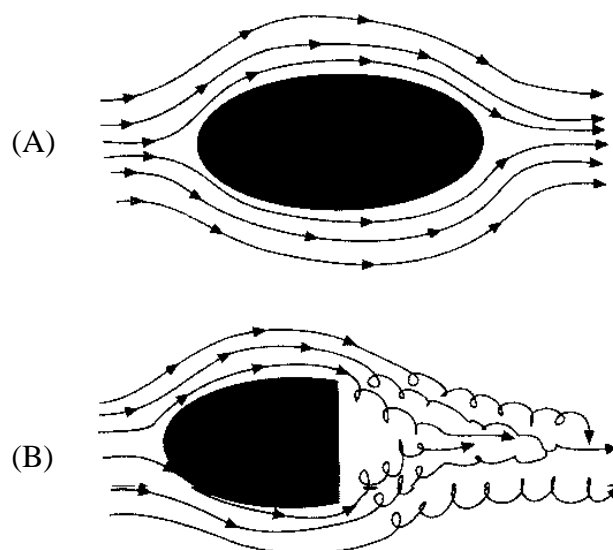
Caso a mudança na curvatura do objeto seja muito grande, ou a velocidade relativa do objeto seja rápida de mais, as forças de impacto entre as moléculas de fluido não serão grande o

---

<sup>6</sup> Lei da Ação e Reação: a toda ação corresponde uma reação, de igual magnitude e direção, mas sentido contrário. O corpo que faz a ação sofre a reação.



suficiente para defletir as moléculas de volta para a superfície do objeto, resultando em um fluxo turbulento (Figura 6, letra B). O arrasto de forma aumenta à medida que o fluxo torna-se turbulento, pois o coeficiente de arrasto é afetado fortemente pelo formato do objeto (MCGINNIS, 2002; HALL, 2005). Geralmente, um formato aerodinâmico ou hidrodinâmico – corpo alongado e com uma área frontal reduzida – evita ou reduz fluxos turbulentos (FOX; MCDONALD; PRITCHARD, 2006).



**Figura 6.** Figura extraída do livro do Mcginnis (2002). (A) Fluxo laminar. (B) Fluxo turbulento.

A última componente da força de arrasto consiste na resistência de onda que atua na interface de dois fluidos diferentes (HALL, 2005). Esta componente ocorre quando um corpo incide uma força paralela à superfície do fluido criando uma onda (NORTHRIP; LOGAN; MCKINNEY, 1979; HALL, 2005). A força de reação que o fluido exerce sobre esse corpo constitui a resistência de onda, sendo que quanto maior a velocidade do corpo que gera propulsão, maior é essa força.

#### 2.5.2.2 Força de Sustentação

A força de sustentação ( $F_S$ ) é a componente da força dinâmica que atua de forma perpendicular ao fluxo relativo ao segmento que gera propulsão, porém, assumindo que esse

segmento move-se dentro de um fluido “parado” a força de sustentação também é perpendicular a linha do movimento (SANDERS, 1999; HALL, 2005). E, apesar de o nome sustentação sugerir que esta força é dirigida verticalmente para cima, ela pode assumir qualquer direção, conforme for determinado pela direção do fluxo do fluido e pela orientação do corpo.

A  $F_S$  é baseada no “Princípio de Bernoulli”, que estabelece uma relação inversa entre velocidade e pressão. Ou seja, as moléculas de um fluido que contorna um corpo com alta velocidade exercem uma baixa pressão sobre o corpo, enquanto que as outras que contornam o corpo com baixa velocidade exercem alta pressão sobre o corpo. Por causa do formato dos fólios, diferentes pressões são exercidas sobre as superfícies dos mesmos. Quando um fólio separa moléculas de um fluido, estas moléculas percorrem caminhos diferentes com distâncias diferentes até se juntarem novamente depois do fólio. Aquela molécula que percorre uma distância maior, o faz com maior velocidade do que aquela que percorre uma menor distância. Essa diferença de velocidade das moléculas gera uma diferença de pressão entre as partes superior e inferior do fólio e, conseqüentemente, uma força no sentido do lado de maior pressão para a lado de menor pressão, conhecida como força de sustentação. O mecanismo de geração de força de sustentação explicado a partir do Princípio de Bernoulli é ilustrado por meio da figura 7.

A magnitude da  $F_S$  pode ser quantificada pela equação:

---

em que,

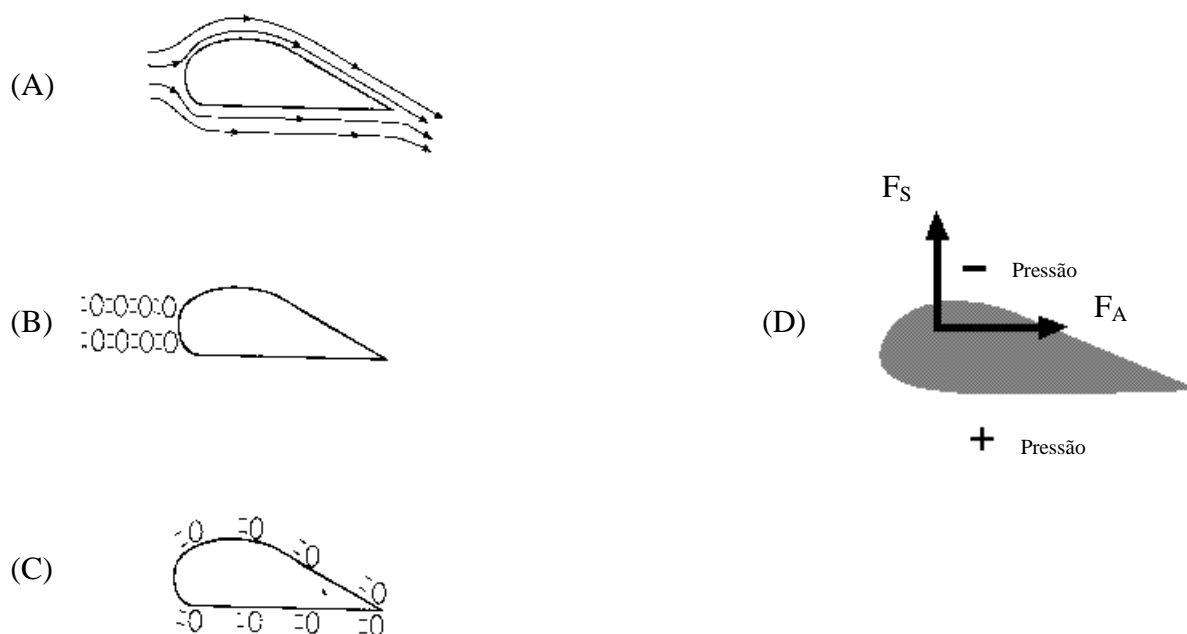
$F_S$  (N) é a força de sustentação;

$C_s$  é o coeficiente de sustentação;

$\rho$  ( $\text{kg/m}^3$ ) é a densidade do fluido;

$A$  ( $\text{m}^2$ ) é a área do corpo;

$v^2$  ( $\text{m/s}$ ) é a velocidade do corpo relativa ao fluido.



**Figura 7.** Figura extraída e modificada de McGinnis (2002). (A) Fólio e as linhas que estabelecem a trajetória das moléculas do fluido. (B) As moléculas do fluido no bordo de ataque. (C) As moléculas contornando o fólio. (D) Forças dinâmicas exercidas sobre o fólio.

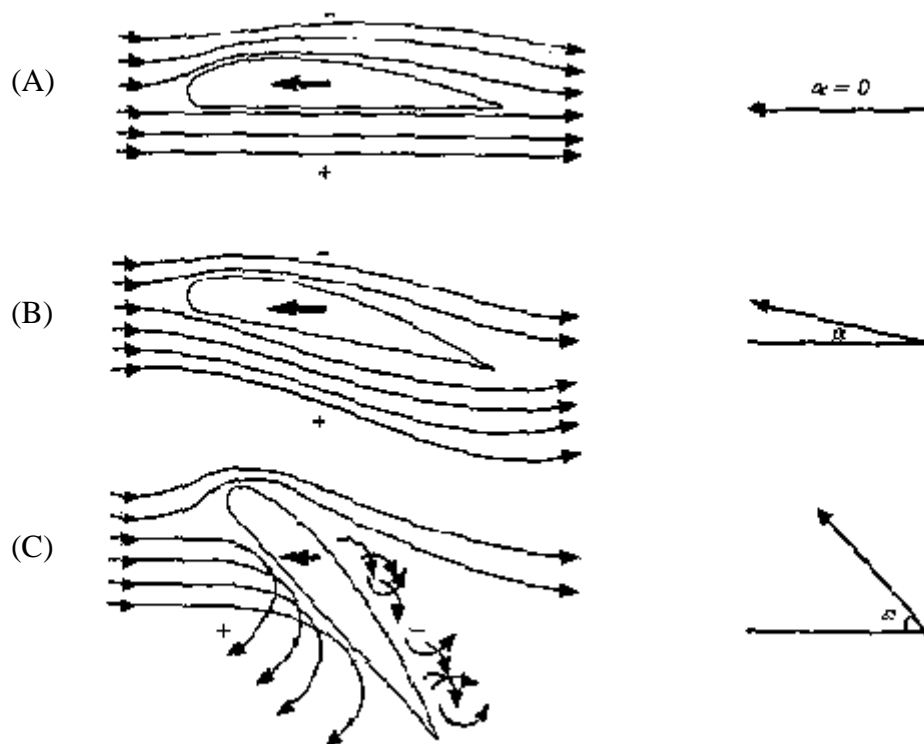
Assim como a força de arrasto, a força de sustentação é proporcional à velocidade do corpo em relação ao fluido ao quadrado, à densidade do fluido, à área do corpo e também pelo coeficiente da respectiva força. Tanto o coeficiente de arrasto quanto de sustentação são característicos para o corpo que gera propulsão e dependem da orientação desse corpo, a qual pode ser representada pelo ângulo de ataque (TOUSSAINT; BERG; BEEK, 2002).

### 2.5.3 ORIENTAÇÃO E ÁREA DE OBJETOS

A orientação e a área dos objetos têm grande influência sobre as forças de arrasto e de sustentação e, conseqüentemente, na eficiência dinâmica (relação  $F_S/ F_A$ ) dos objetos. Serão descritos a seguir as características do ângulo de ataque e da razão de aspecto.

#### 2.5.3.1 Ângulo de ataque

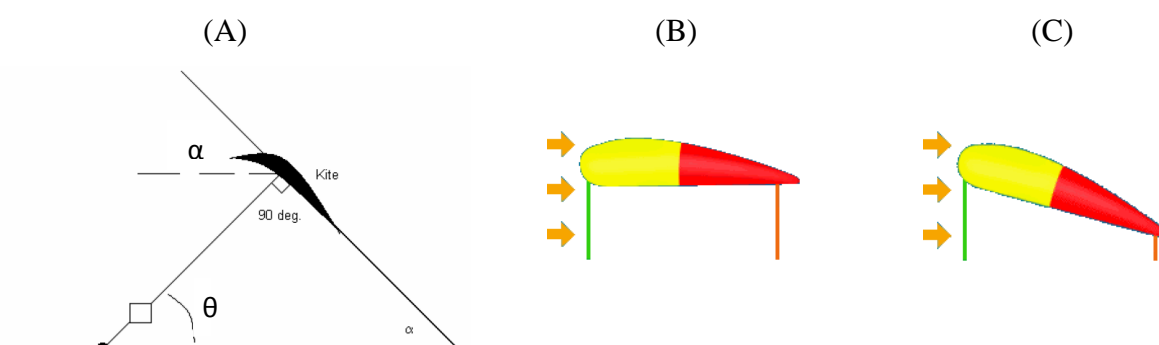
O ângulo de ataque ( $\alpha$ ) é o ângulo em que o corpo se encontra em relação com o fluxo (SANDERS, 1999). Segundo Hall (2007), à medida que esse ângulo aumenta, a quantidade de área superficial perpendicular ao fluxo do fluido também aumenta, elevando assim a quantidade de resistência dinâmica do perfil do objeto atuante (Figura 8). Assim, com um ângulo de ataque maior (Figura 8, letra C), o fluido não poderá seguir ao longo de um dos lados do objeto, criando um fluxo turbulento, podendo até acabar com a força de sustentação (HALL, 2005; MAZZOCATO, 2009).



**Figura 8.** Figura extraída de Hall (2005). (A) Ângulo de ataque igual a  $0^\circ$ . (B) Ângulo de ataque pequeno. (C) Ângulo de ataque grande.

No *kitesurfing*, o ângulo de ataque do *kite* (Figura 9) pode ser constantemente modificado manipulando a barra de controle, pois ela está ligada ao bordo de fuga do *kite* pelas linhas. Afastando a barra de controle do corpo (levantando-a, como ilustra a figura 10 - imagem A), o ângulo de ataque do *kite* fica próximo de zero (figura 9 - imagem B), e o *kite* não traciona ou traciona muito pouco o velejador, ficando em *depower* (BLOUIN JUNIOR; ISABELLA;

RODDEN, 2007). Em contrapartida, aproximando a barra de controle do corpo (abaixando-a, como ilustra a figura 10 - imagem B), o ângulo de ataque aumenta (figura 9 – imagem C), e o *kite* traciona o velejador com mais intensidade (BLOUIN JUNIOR; ISABELLA; RODDEN, 2007). No entanto, simplesmente abaixar a barra não gera energia suficiente para provocar deslocamento. O velejador também precisa movimentar o *kite* na janela de vento, pois quando o *kite* entra na zona de força sua posição em relação ao vento é bastante modificada e uma área maior do objeto é exposta ao vento.



**Figura 9.** Imagem (A) extraída de Blouin Junior, Isabella e Rodden (2007). ( $\alpha$ ) Ângulo de ataque do *kite*. ( $\theta$ ) Ângulo formado entre as linhas do *kite* e uma linha horizontal. Imagens “B” e “C”, extraídas de Kitesurf Mania (2009), correspondem respectivamente ao *kite* com ângulo de ataque do próximo de zero e o *kite* com ângulo de ataque aumentado.

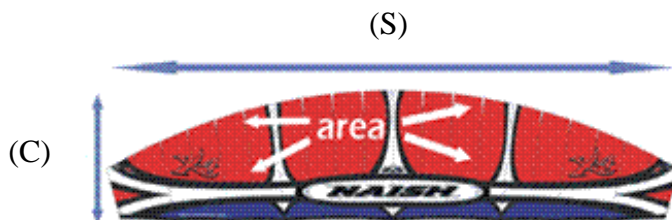


**Figura 10.** Figura elaborada pelo autor. (A) Situação em que a barra de controle está na posição elevada, ou seja, afastada do corpo do velejador. (B) Situação em que a barra de controle está na posição abaixada, ou seja, mais próxima ao corpo do velejador.

### 2.5.3.2 Razão de aspecto

A razão de aspecto (RA) mede a área do objeto, relação entre duas dimensões (altura e largura), que interfere diretamente nas forças de sustentação e de arrasto, já que está relacionada aos elementos: área e coeficientes de sustentação e de arrasto das equações. Logo, afeta, conseqüentemente, a eficiência dinâmica (relação  $F_S / F_A$ ).

Para calcular a razão de aspecto de objetos irregulares, deve-se dividir o quadrado da envergadura pela área. Isso significa o mesmo que dividir a envergadura pela corda (largura da asa) média (Figura 11 e Equações 3 e 4).



**Figura 11.** Figura extraída de Kitesurf Mania (2009). Vista da área de maior superfície do kite, em que são destacadas a corda e a envergadura do kite.

em que,

RA é a razão de aspecto;

S é a envergadura (comprimento do objeto);

C é a corda (altura do objeto) e,

A é a área do objeto.

Quanto maior o razão de aspecto (quanto mais alongado é o objeto), maior a eficiência dinâmica, resultado em mais sustentação e menos arrasto para um mesmo fluxo (máximo  $F_S/F_A$ ). A escolha do razão de aspecto do objeto (asa, *kite*, vela) está relacionada com o objetivo do mesmo.

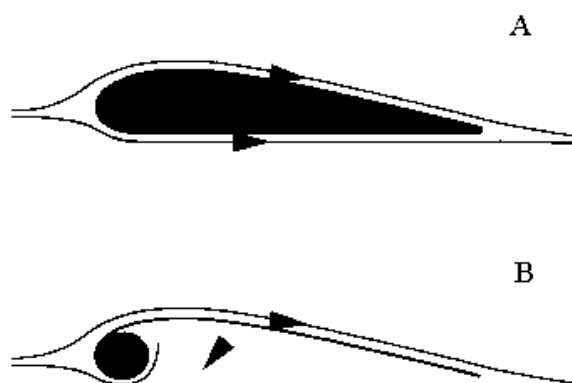
## 2.6 Forças e os componentes do kite

Cada componente do *kite* gera forças que combinadas resultam no deslocamento desejado. A seguir encontra-se descritas as principais forças, e como elas são desenvolvidas por cada componente.

### 2.6.1 KITE

O *kite* se desloca no fluido ar, e seu vôo não é diferente do funcionamento das asas de um avião, da vela de veleiro ou de uma asa delta (MAZZOCATO, 2009). Segundo Northrip, Logan e Mckinney (1979) as forças primarias nos esportes a vela são aquelas geradas pelo ar em movimento, ou seja, pelo vento. No *kitesurfing*, o movimento das partículas do ar, fluxo de ar, é alterado pelo perfil aerodinâmico do *kite* resultando em forças dinâmicas.

Segundo Blouin Junior; Isabella e Rodden (2007) o formato dos *Foil kites* permite um fluxo ininterrupto de ar tanto pela superfície superior quanto pela superfície inferior, enquanto que os *LED kites* tem uma linha continua na sua superfície superior, mas tem uma mudança grande no seu formato (na região da tala inflável) na superfície inferior o que pode causar um maior fluxo turbulento nesta região e, desta maneira, aumentar o arrasto (Figura 12). As linhas que prendem o *kite* ao indivíduo também geram arrasto, apesar de apresentarem um diâmetro muito pequeno.



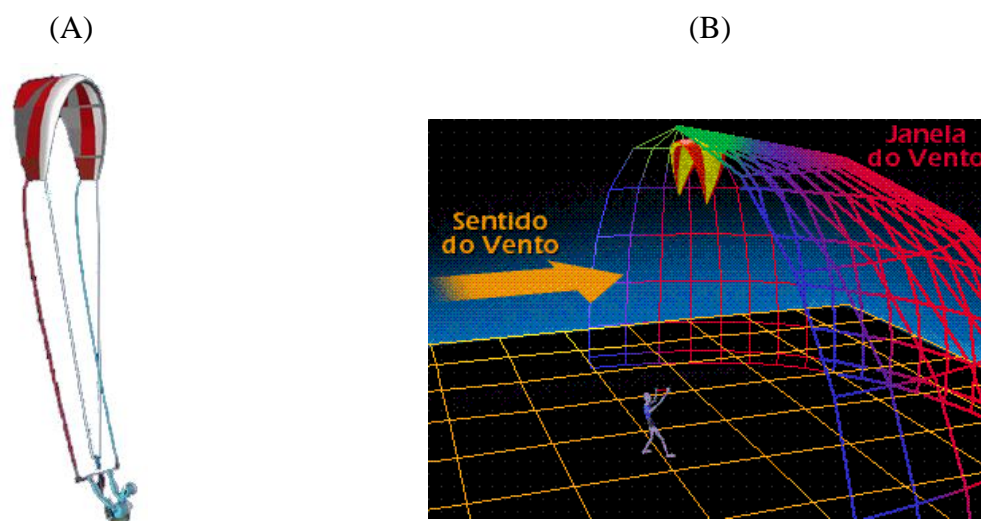
**Figura 12.** Figura extraída de BLOUIN JUNIOR; ISABELLA; RODDEN (2007). Desenho representativo do perfil aerodinâmico de um *Foil kite* (A) e de um *LED kite* (B).

Além disso, os *kites* são produzidos com material, que tenta diminuir o arrasto de superfície, e com formato, que tenta diminuir o arrasto de forma e aumentar a sustentação, mantendo a sua controlabilidade.

Durante a prática do *kitesurfing* o *kite* assume diferentes posições em relação ao vento, o que interfere diretamente na relação entre as forças de arrasto e sustentação. Podemos inicialmente diferenciar o posicionamento do *kite* quando na zona neutra e quando na zona de força, mais a frente do indivíduo, da janela de vento.

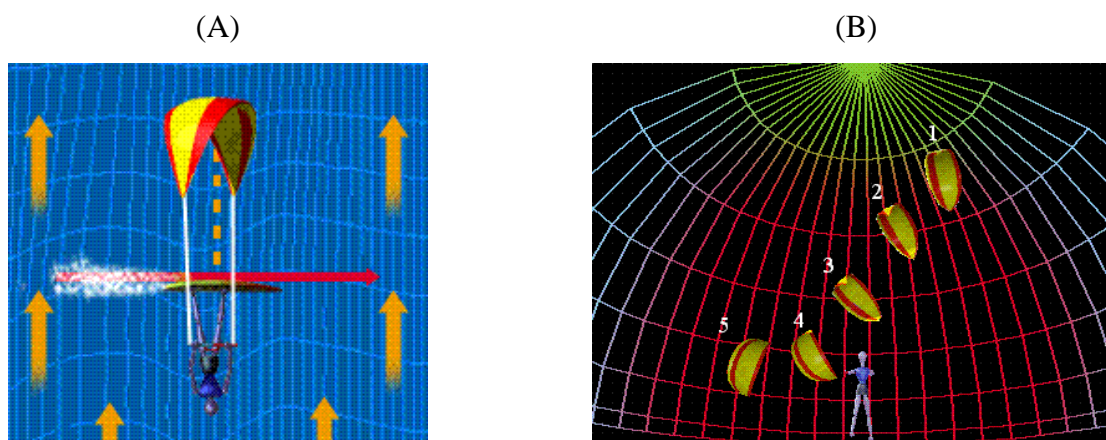
Na zona neutra, o ângulo de ataque é pequeno, e uma pequena área do tecido é perpendicular a direção do vento, conseqüentemente, o arrasto é minimizado e a força resultante basicamente sustenta o *kite* no ar mantendo as linhas tensionadas (Figura 13). Segundo Exadaktylos *et al* (2005) não existe tração na zona neutra exceto contra o peso do velejador.





**Figura 13.** Figura extraída de Kitesurf Mania (2009). (A) Ilustração de um indivíduo manipulando o *kite* na zona neutra da janela de vento. (B) A janela de vento, com seu formato de  $\frac{1}{4}$  de esfera, onde as linhas de cor vermelha (em frente ao indivíduo) representam a zona de força e as linhas cores verdes e azuis (acima e nos lados do indivíduo) representam a zona neutra.

Para entrar na zona de força o *kite* mergulha, ficando com o bordo de ataque verticalizado e com um maior ângulo de ataque, o que expõe uma maior área do tecido ao vento (Figura 14 – imagem B). Nesta posição tanto a força de arrasto quanto a de sustentação aumentam. A força de sustentação assume uma direção horizontal perpendicular ao fluxo do fluido no mesmo sentido indicado pelo bordo de ataque, ou seja, no sentido do deslocamento (Figura 14 – imagem A).

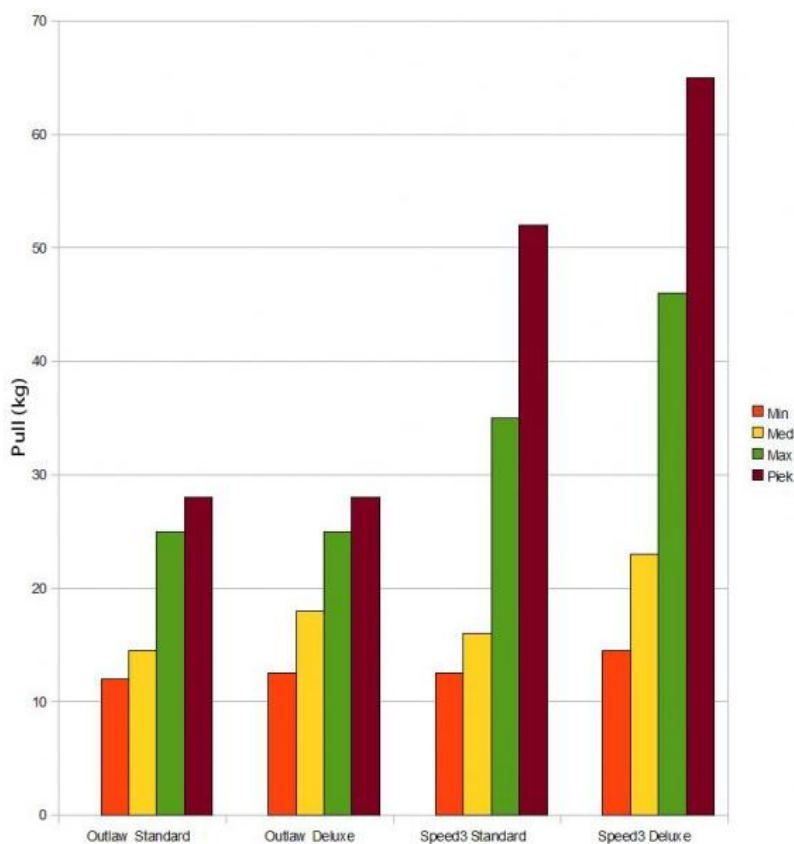


**Figura 14.** Figuras extraídas de Kitesurf Mania (2009). (A) Vista superior de um indivíduo em deslocamento, com *kite* na zona de força, posicionado mais a frente do indivíduo. As setas laranja indicam a direção do vento e a seta vermelha indica a direção de deslocamento. (B) Ilustração de um indivíduo movimentando o *kite*. na zona de força da janela de vento.

Outra forma de alterar a posição do *kite* em relação ao vento é abaixar a barra de controle, pois, como já foi mencionado, isso modifica o ângulo de ataque. Na prática do *kitesurfing* o indivíduo combina essas duas maneiras (abaixar a barra e posicionar o *kite* na zona de força) para gerar as forças necessárias para o deslocamento e para realizar manobras. Um exemplo disto é a técnica de salto, em que o indivíduo, deslocando-se a uma velocidade constante, dá um comando para que o *kite* vá mais para o centro da zona de força e, em seguida, abaixa as duas extremidades da barra (aproximando a barra do corpo). Como resultado o *kite* “puxa o indivíduo” tirando-o da água. Outro exemplo disso é o *kite looping*, o qual é realizado por indivíduos extremamente experientes. Nessa manobra o praticante puxa fortemente apenas uma extremidade da barra de controle, o que faz com que o *kite* dê um giro completo. Isso gera uma força, que também é capaz de tirar o indivíduo da água.

Não foram encontrados estudos formais que descrevessem e mensurassem a força do *kite*, apenas foi noticiado na internet parte da dissertação de mestrado de Reinhart Paelinck (2010), esse autor entre outros experimentos testou a força de tração das linhas com a mudança do ângulo de ataque em quatro *kites* - dois nomeados *outlaw*, modelos *standard* e *deluxe* de 8 m<sup>2</sup> de área e, outros dois nomeados *Speed3*, modelos *standard* e *deluxe* de 19 m<sup>2</sup> - com vento de 5 m/s. A diferença entre os modelos *standard* e *deluxe* consistia no material no qual foram feitos, os modelos *deluxe* foram feitos de material mais leve.

Para avaliar a força do *kite* esse autor fixou o *chicken loop* do *kite* a uma célula de carga que foi fixada a um ponto de ancoragem (bolsa cheia de areia). Durante o estudo o *kite* permaneceu na zona neutra, no ponto mais alto. E, como resultados foram encontrados quatro valores para cada *kite*: completo *depowered* (barra de controle na posição mais elevada), *depowered* (barra de controle em posição intermediária), *powered* (barra de controle completamente abaixada), além de um valor de pico com a barra completamente abaixada, figura (PAELINCK, 2010).



**Figura 15.** Figura extraída de Paelinck (2010). No eixo vertical estão os valores de força em kg. E, no eixo horizontal, os quatro *kites*, cada um com valores (da esquerda para a direita) de força em completo *depowered* (barra de controle na posição mais elevada), *depowered* (barra de controle em posição intermediária), *powered* (barra de controle completamente abaixada), e valor de pico (com a barra completamente abaixada).

O autor considerou as diferenças entre os *kites* de 8 m<sup>2</sup> insignificantes, porém a diferença entre os *kites* de 19 m<sup>2</sup> foi bastante grande, aproximadamente 11 kg. Esta diferença foi justificada pelo autor pela influência do peso do *kite* na força de arrasto. Segundo ele, o peso a mais induz a uma maior força de arrasto.

## 2.6.2 PRANCHA

Diferentemente do *kite*, a interação da prancha é com o fluido água. Nessa interação temos duas forças atuantes: empuxo e arrasto. Sendo o arrasto presente nas suas três formas, arrasto de: superfície, forma e resistência de onda.

O empuxo é relativo à parte da prancha submersa na água e age verticalmente para cima. Durante o velejo com velocidade elevada uma porção muito pequena da prancha fica submersa, pois a prancha tende a planar sobre a água devido à velocidade desta em relação ao fluido, e conseqüentemente, a participação do empuxo é diminuída neste momento. Porém, no *water start*<sup>7</sup> e em velocidades diminuídas sua participação é maior. As pranchas utilizadas na iniciação são normalmente maiores e com bastante flutuação exatamente para valer-se do empuxo e facilitar a saída da água e o velejo em baixas velocidades.

Além de colaborar na flutuação os materiais utilizados na fabricação das pranchas normalmente são bastante lisos e pouco porosos, para diminuir o arrasto de superfície da prancha. O formato da prancha também é importante e, tende a propiciar que o movimento ocorra na direção do bico da prancha. As quilhas, estruturas laminares perpendiculares ao fundo da prancha, têm papel fundamental para estabilizar e evitar ou, ao menos, diminuir qualquer deslocamento lateral, auxiliando no direcionamento do movimento, pelo arrasto que causam (NORTHRIP; LOGAN; MCKINNEY, 1979; NICKEL *et al.*, 2004).

Além disso, quando a prancha desliza sobre a água ela cria uma onda e esta onda exerce uma força de reação, resistência de onda. A resistência de onda é bastante importante na pratica do *kitesurfing*, ela normalmente é evidente atuando em conjunto com a força de arrasto das quilhas para evitar o deslocamento lateral da prancha.

Na pratica do *kitesurfing* o velejador modifica o posicionamento da prancha conforme objetivo (direção de deslocamento, manobras), ou seja, o posicionamento da prancha altera as forças geradas pela prancha e sobre a prancha. E, a interação dessas forças com as outras forças vai resultar em determinada direção de deslocamento.

### 2.6.3 INTERAÇÃO DE TODOS OS COMPONENTES

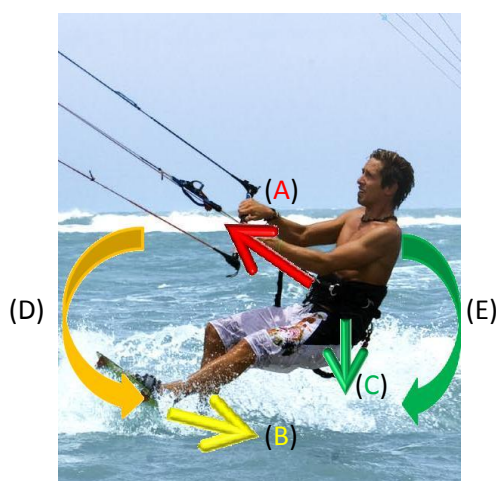
O deslocamento final na pratica de *kitesurfing* é resultado de uma complexa interação entre as diversas forças vistas anteriormente.

O *kite* puxa o indivíduo na altura do quadril ou da cintura, enquanto que as forças da prancha atuam nos pés do indivíduo. Assim, a força do *kite* combinada a força da prancha gera

---

<sup>7</sup> *Water start*: manobra na qual o praticante tira seu corpo da água e inicia o velejo.

uma tendência de giro sobre o corpo do indivíduo, para contrapor esta tendência de giro, o praticante se inclina para trás. E, dessa maneira, ocorre um deslocamento do seu centro de massa e do local onde ele é puxado pelo *kite*, para um ponto mais distante da sua base, a prancha. Com isso, também ocorre um aumentando a área frontal da prancha em contato com a água, provocando um aumentando da resistência da onda (Figura 16). Neste momento as quilhas auxiliam a evitar a tendência da prancha de deslizar para o lado.



**Figura 16.** Figura elaborada pelo autor. Ilustração do posicionamento do indivíduo, inclinado para trás, onde o eixo de rotação é considerado no tornozelo. (A) Força do *kite* (arrasto e sustentação) transmitida por meio das linhas. (B) Força de arrasto das quilhas e de resistência da onda. (C) Força peso do indivíduo. (D) Tendência de giro causada pela combinação das Forças A e B. (E) Tendência de giro provocada pela força C.

Quando o indivíduo está posicionado sobre a prancha com os pés paralelos, dispostos no maior comprimento da prancha, o deslocamento do indivíduo e da prancha ocorre em uma direção coincidente com o plano frontal do indivíduo. Nesta situação a força transmitida pelo *kite* por meio das linhas traciona o indivíduo “para frente”, “para o lado” e “para cima”. Considerando as forças que ocorrem no plano da água, esta análise pode ser realizada em duas direções: latero-lateral (coincidente com o plano frontal) e ântero-posterior (coincidente com o plano sagital). No plano sagital o eixo de rotação pode ser considerado no tornozelo do indivíduo, sendo que a mudança de posição do corpo do indivíduo em relação à prancha ocorre pelo movimento de dorsi-flexão, enquanto a prancha gira em torno do eixo de rotação acompanhando o movimento dos pés do indivíduo. Já no plano frontal o eixo de rotação é antero-posterior e está entre os pés do indivíduo indo de uma borda lateral a outra da prancha

(menor dimensão). O movimento em torno deste eixo tem a tendência de afundar a ponta ou a rabeta da prancha.

No plano da água a força oriunda do *kite* transmitida pelas linhas possui duas componentes: uma na direção do movimento (latero-lateral) e outra perpendicular a este (ântero-posterior). A força na direção latero-lateral pode ser associada à força de sustentação atuando no *kite*, sendo contraposta pela força de arrasto da prancha. Enquanto que a componente da direção ântero-posterior, associada à força de arrasto que atua no *kite*, é contraposta pela força de arrasto de onda da prancha e pela força de arrasto das quilhas.

No início dos deslocamentos a força na direção latero-lateral é maior do que as forças de arrasto da prancha na água. Este desequilíbrio gera uma aceleração e conseqüente deslocamento nesta direção. Durante o deslocamento esta força se iguala às forças de arrasto, resultando em um deslocamento com velocidade constante. Quando a força de arrasto atuando sobre a prancha for superior, ocorre uma aceleração negativa, ou seja, uma diminuição da velocidade.

Portanto, em qualquer tipo de deslocamento a força do *kite* pode ser considerada uma das forças essenciais para o velejo. E, apesar do comportamento das forças dinâmicas com a alteração do ângulo de ataque de objetos com forma de fólhos ser consistentemente descrito na literatura (SANDERS, 1999; HALL, 2005), e o comportamento da força do *kite* ao subir e descer a barra de controle ser descrito, mas não mesurado, por Blouin Junior; Isabella; Rodden, (2007), não existem estudos sobre o comportamento da força do *kite* durante seu deslocamento dentro da janela de vento, existe apenas um relato sobre o comportamento da força do *kite* em relação ao ângulo de ataque (PAELINCK, 2010). Dessa forma a compreensão do comportamento da força do *kite* pode ser o primeiro passo para um melhor entendimento da biomecânica desse esporte.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de concretizar o objetivo desse estudo – o qual caracteriza-se como *Ex Post Facto* do tipo descritivo – foi elaborada a metodologia a ser seguida, a qual abrangeu os seguintes tópicos: (1) hipóteses, (2) definição operacional das variáveis, (3) amostra, (4) procedimentos metodológicos e (5) instrumentos de coleta de dados.

#### 3.1 Hipóteses

Nenhum estudo sobre o comportamento da força do *kite* durante seu deslocamento dentro da janela de vento foi encontrado. No entanto, baseado nos conhecimentos existentes sobre o comportamento das forças dinâmicas com a alteração do ângulo de ataque de objetos com forma de fólios (SANDERS, 1999; HALL, 2005), na descrição do comportamento da força do *kite* ao subir e descer a barra de controle (BLOUIN JUNIOR; ISABELLA; RODDEN, 2007), e no relato de Paelinck (2010) sobre o comportamento da força do *kite* em relação ao ângulo de ataque, é possível estabelecer as seguintes hipóteses:

- (1) Os valores de força aumentam à medida que a barra de controle é abaixada, devido ao aumento o ângulo de ataque do *kite*.
- (2) Os valores de força aumentam à medida que o *kite* se posiciona na zona de força da janela de vento, visto que o ângulo de ataque aumenta dessa forma.

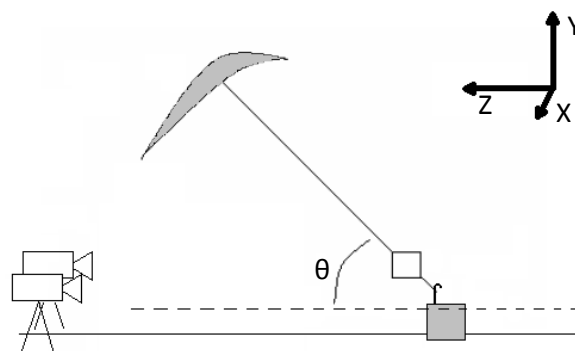
#### 3.2 Definição operacional das variáveis

Neste estudo, a variável dependente foi:

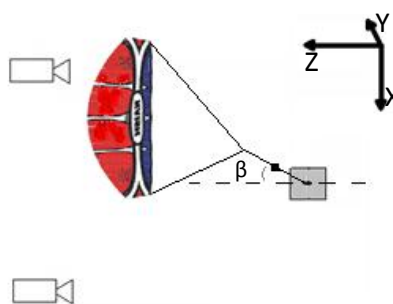
- Força do *kite* (kgf): o *kite* gera forças dinâmicas devido ao seu deslocamento em relação ao ar, essa força é transmitida pelas linhas e é exercida sobre o praticante por meio do *chicken loop* e da barra de controle. A força do *kite* foi medida por meio de uma célula de carga.

As variáveis independentes foram:

- Posicionamento do *kite* na janela de vento: compreende o deslocamento vertical e lateral do *kite*. O deslocamento vertical é representado pelo o ângulo vertical (em graus) formado entre as linhas do *kite* e o plano horizontal, o qual esta representado pela linha tracejada na figura 17. O deslocamento lateral é representado pelo ângulo horizontal (em graus) formado entre as linhas do *kite* e um plano vertical, paralelo ao eixo Z do sistema de referências, que passa aproximadamente entre as câmeras, e está representado pela linha tracejada na figura 18. Logo, o posicionamento do *kite* é expresso pela combinação desses dois ângulos, os quais foram determinados por meio da análise cinemática realizada no *software* Matlab (versão 7.5).



**Figura 17.** Figura elaborada pelo autor. Modelo esquemático - vista lateral - do ambiente de coleta com os eixos do sistema de referências: eixo Y ínfero-superior, o eixo X médio-lateral e o eixo Z ântero-posterior. O ângulo  $\theta$  representa o ângulo vertical formado entre as linhas do *kite* e o plano horizontal, representado pela linha tracejada.



**Figura 18.** Figura elaborada pelo autor. Modelo esquemático - vista superior - do ambiente de coleta com os eixos do sistema de referências: eixo Y ínfero-superior, o eixo X médio-lateral e o eixo Z ântero-posterior. O ângulo  $\beta$  representa o ângulo horizontal formado entre as linhas do *kite* e o plano vertical, representado pela linha tracejada.



- Distância percorrida pela barra de controle (m): é a distância percorrida pela barra de controle. Foi determinada a partir da distância entre o ponto médio da barra de controle e um marcador reflexivo posicionado sobre a linha. A barra de controle na posição mais elevada corresponde a distância zero. A medida que a barra é deslocada para baixo, em direção ao indivíduo, a distância aumenta.

E, as variáveis intervenientes foram:

- Velocidade do vento (m/s): é a variação da distância percorrida pelo vento em um intervalo de tempo. Não foi controlada, mas foi medida por meio de um anemômetro.
- Regulagem do equipamento: o equipamento permite uma regulagem sutil no comprimento das linhas. As regulagens foram feitas de modo a deixar as linhas compridas quanto possível e, essas regulagens não foram alteradas durante a coleta de dados.

### **3.3 Amostra**

Os testes não envolveram seres humanos. O equipamento testado foi um *kite* YARGA HYBRID SLE 2007; de área 9,5 m<sup>2</sup>; tipo LED; da marca BEST. Com este equipamento foram realizados dois testes, os quais foram repetidos duas vezes. Foram os testes: (1) deslocamento da barra com três repetições de abaixar e levantar; e (2) movimentando o *kite* cinco vezes na janela de vento em forma de oito. Sendo que cada oito compreende dois mergulhos do *kite* na zona de força da janela de vento, e que de cada mergulho foram selecionados dois pontos, o maior e o menor valor de força, bem como as angulações em que estes valores ocorreram.

### **3.4 Procedimentos metodológicos**

#### **3.4.1 AQUISIÇÃO DOS DADOS**

Para a aquisição dos dados, os seguintes equipamentos e softwares foram utilizados:

- (1) Anemômetro (modelo *Skywatch-xplorer1* da marca JDC);
- (2) *Kite* (modelo YARGA HYBRID SLE 2007; de área 9,5 m<sup>2</sup>; tipo LED; da marca BEST);
- (3) Célula de carga (modelo ZX 250 Alfa Instrumentos – SP – com sensibilidade de 2mV/V e capacidade para 2500N);
- (4) Miotec (Miotec equipamentos Biomédicos Ltda);
- (5) *Software* Miograph;
- (6) Duas câmeras de vídeo digital (VPC-WH1- Sanyo) e dois tripés;
- (7) Calibrador (modelo 5.3 da marca *Peak Performance*) e um tripé;
- (8) Computador pessoal (modelo PCG-7154L da marca Sony Vaio);
- (9) Um sistema eletrônico de sincronização (Miotec equipamentos Biomédicos Ltda).

A coleta dos dados ocorreu em Tramandaí – Rio Grande do Sul, em um dia com poucas nuvens, e vento sul (paralelo à praia) com velocidade variando entre 9,8 m/s e 11,3 m/s. A velocidade do vento foi verificada a cada cinco minutos durante a coleta de dados com um anemômetro.

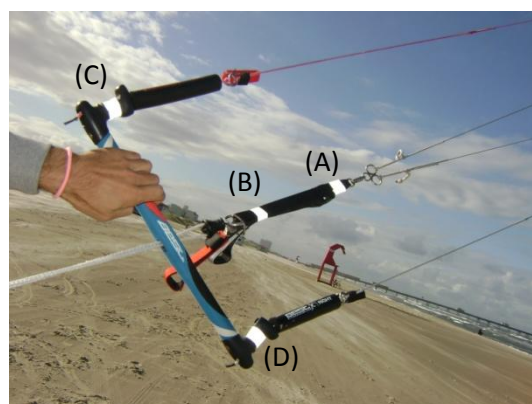
#### 3.4.1.2 Coleta dos dados cinemáticos

Duas câmeras de vídeo digital foram usadas para capturar o deslocamento de marcadores reflexivos com uma taxa de amostragem de 30 Hz. Para isso, essas câmeras foram posicionadas a 3,52 m uma da outra, a câmera “A” foi posicionada a 3,00 m do centro do volume de calibração, e a câmera “B” foi posicionada a 3,64 m do centro do volume de calibração, como ilustra a figura 19. As imagens foram armazenadas nos chips de memória de cada câmera.



**Figura 19.** Figura elaborada pelo autor. Câmeras posicionadas a 352 cm uma da outra, a câmera “A” foi posicionada a 300 cm da célula de carga, e a câmera “B” foi posicionada a 364 cm da célula de carga.

Dois marcadores reflexivos foram posicionados no cabo formado pela união das linhas que saem do bordo de ataque do *kite* (A e B) e mais dois marcadores foram posicionados nas extremidades da barra de controle (C e D), conforme a figura 20.



**Figura 20.** Figura elaborada pelo autor. (A e B) marcadores posicionados no cabo formado pelas linhas que saem do bordo de ataque do *kite*, e (C e D) marcadores posicionados nas extremidades da barra de controle.

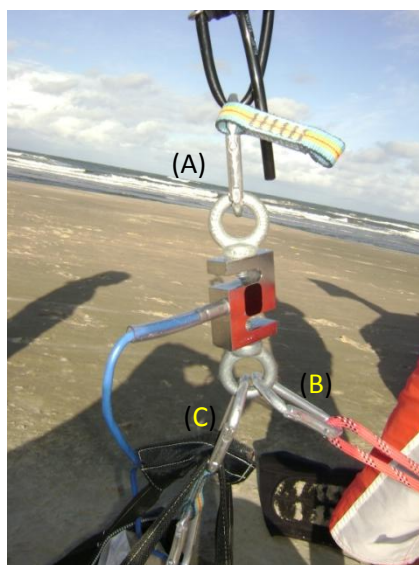
Ainda, para que fosse possível realizar a reconstrução espacial de acordo com a localização espacial dos marcadores reflexivos posicionados nos pontos de interesse em relação a um sistema de referências, optou-se por usar um o sistema de referência do ambiente (sistema de referência global). Para tanto, foi usado um calibrador, o qual foi posicionado e gravado no volume de realização da coleta (figura 21).



**Figura 21.** Figura elaborada pelo autor. Calibrador da marca *Peak Performance* (modelo 5.3) no local da coleta de dados.

#### 3.4.1.2 Coleta dos dados cinemáticos

Para registrar a força do *kite*, o *chicken loop* foi preso por meio de um mosquetão em uma extremidade da célula de carga. Enquanto que, com auxílio de mosquetões, a outra extremidade da célula de carga foi presa a uma mala cheia de areia e ao gancho de reboque de um carro (figura 22). A conexão com o reboque do carro foi feita com intuito de não permitir que a célula de carga se afastasse do carro a ponto de romper o fio que a ligava ao computador (já que o computador, assim como o equipamento Miotec estavam dentro do carro). A célula de carga estava ligada a um equipamento Miotec, o qual estava conectado a um computador. A taxa de amostragem da dinamometria foi de 2000 Hz.



**Figura 22.** Figura elaborada pelo autor. (A) Mosquetão preso a célula de carga e ao *chicken loop* do kite, (B) mosquetão preso à célula de carga e ao carro e (C) mosquetão conectado à célula de carga e à mala.

#### 3.4.1.3 Sincronização dos sistemas de dinamometria e cinemetria

Como a coleta envolveu a aquisição de dados cinemáticos e cinéticos de forma independente, foi necessário utilizar um sistema eletrônico de sincronização, o qual quando acionado fornece, simultaneamente, um sinal elétrico – observado no *software* Miograph – e um sinal luminoso – observado em todas as câmeras – possibilitando a sincronização entre esses dois sistemas de medida (LOSS *et al*, 1996). Além disso, o sinal luminoso também foi usado como forma de sincronizar as câmeras.

#### 3.4.1.4 Procedimento de aquisição dos dados

Foram realizados dois diferentes testes (cada teste foi repetido duas vezes): (1) teste do deslocamento da barra de controle com duas repetições de abaixar e levantar, com o *kite* na posição mais elevada da zona neutra da janela de vento – acima do indivíduo, e (2) teste movimentando o *kite* na janela de vento em forma de oito, totalizando cinco oitos. Sendo que cada oito compreende dois mergulhos do *kite* na janela de vento. Para isso, um praticante de

*kitesurfing* experiente se posicionou de pé, atrás da mala cheia de areia, de modo que pudesse manipular a barra de controle.

### 3.4.2 ANÁLISE DOS DADOS

A digitalização dos marcadores reflexivos e a reconstrução tridimensional das coordenadas foram realizadas no *software Digital Video for Windows (DVideow)* (BARROS *et al.*, 1999). Todos os outros procedimentos para análise dos dados foram realizados no *software Matlab* (versão 7.5).

#### 3.4.2.1 Análise dos dados cinemáticos

Os marcadores reflexivos foram digitalizados manualmente no *software DVideow*, sendo que foi escolhida a opção de desentrelaçar em duas imagens, assim, a taxa de amostragem passou a ser 60 Hz. As coordenadas tridimensionais desses pontos foram obtidas por meio do método de transformação linear direta (*Direct Linear Transformation – DLT*) no *software DVideow*. Essas posições foram filtradas com um filtro passa baixa de ordem três, e a frequência de corte foi determinada por meio da Análise Residual proposta por Winter (2005).

As posições filtradas foram interpoladas para que a taxa de amostragem da cinemetria coincidissem com a da dinamometria. Após isso, foram calculadas as variações dos ângulos (1) vertical e (2) horizontal. Para o cálculo desses ângulos, foi necessário definir um vetor que representasse as linhas a partir dos marcadores A e B (figura 20) e outro que representasse o plano horizontal e o plano vertical.

Desse modo, o centro da janela de vento é representado pelo ângulo vertical zero e pelo ângulo horizontal zero. Os valores negativos do ângulo horizontal representam o lado esquerdo da janela de vento, enquanto que valores positivos representam o lado direito da janela de vento. Tendo em vista o caráter indicador do sinal (direita ou esquerda), para realização dos cálculos da média e desvio padrão foi utilizado o valor absoluto desse ângulo, uma vez que o fator que afeta a força do *kite* é a angulação com o plano vertical, independente do lado ser o direito ou o esquerdo. Assim, a zona de força da janela de vento compreende a combinação dos menores

ângulos verticais e horizontais. Conseqüentemente, a zona neutra da janela de vento compreende as combinações de ângulos em que pelo menos um dos ângulos não corresponda a descrição da zona de força, ou seja, para que o *kite* esteja na zona neutra o ângulo vertical deve ser próximo de 90° e/ou o ângulo horizontal deve ser distante de zero.

Também foi calculada a distância percorrida pela barra de controle. Para isso, foi determinado o ponto médio entre os marcadores C e D (figura 20) e calculada a distância desse ponto até o marcador B. Dos valores obtidos foi subtraída a distância mínima entre o ponto médio da barra e o marcador B para que eles representassem a distância percorrida pela barra de controle. Deste modo, quando o valor da distância percorrida é zero a barra de controle esta na posição mais elevada e, o aumento da distância percorrida pela barra significa que esta está sendo abaixada, ou seja, está se aproximando do corpo do velejador.

#### 3.4.2.2 Análise dos dados cinéticos

Os dados de força foram filtrados com um filtro passa baixa de ordem três, e a frequência de corte foi determinada por meio da Análise Residual proposta por Winter (2005).

Ainda, como no teste 1 a barra foi abaixada até pressionar o *chicken loop*, o que tirou a tensão da célula de carga, foram removidos os valores da força quando a distância percorrida pela barra ultrapassava 0,5 m.

### 3.5 Instrumentos de coleta de dados

A coleta dos dados foi realizada por meio de videogrametria com reconstrução tridimensional e dinamometria. Todavia, antes deste trabalho foi realizado um estudo piloto para teste e aprimoramento da metodologia deste trabalho. Esse estudo piloto foi realizado dentro do laboratório e serviu para determinar o posicionamento dos marcadores e das câmeras, para elaboração de rotinas dos cálculos no *software* Matlab (versão 7.5), além de servir na familiarização do autor com os instrumentos de coleta de dados. Esse estudo piloto foi apresentado no XXI Salão de Iniciação Científica (SIC) com o título - Determinação da força das linhas do *kite* sobre um praticante em terra, utilizando o trapézio e a cadeirinha do *kitesurfing*.

Além disso, a acurácia da coleta dos dados de cinemetria foi determinada de acordo com Barros *et al.* (2006) como é ilustrado na seguinte equação:

(equação 5)

em que,

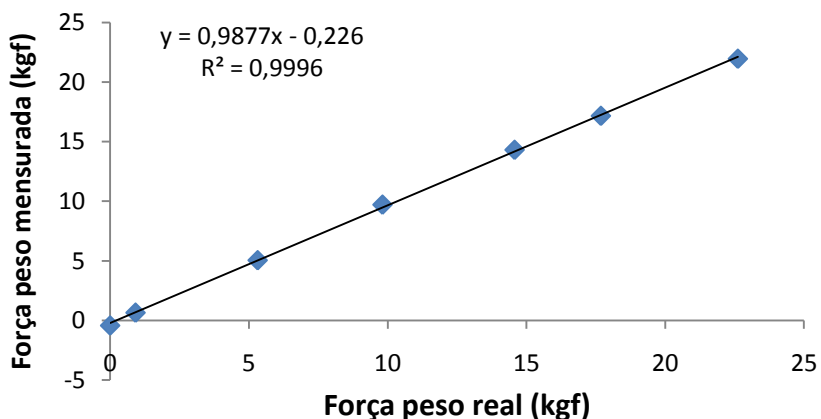
$a$  (m) é a acurácia;

$b$  (m) é a diferença entre o tamanho real da barra e a média do valor calculado e;

$c$  (m) é desvio padrão do valor médio calculado.

O valor da acurácia encontrado para o teste 1a foi de 8,9 mm e, para o teste 1b foi de 0,0084 m. E, o valor estimado para o teste 2a foi de 9,7 mm e para o teste 2b foi de 0,0095 m.

Em relação a dinamometria, pesos conhecidos foram aplicados sob forma de tração na célula de carga. Os valores medidos e os reais foram plotados, e a linearidade da curva foi estabelecida por meio do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), figura 23.



**Figura 23.** Figura elaborada pelo autor. Gráfico dos valores reais de força em relação aqueles mensurados pela célula de carga.

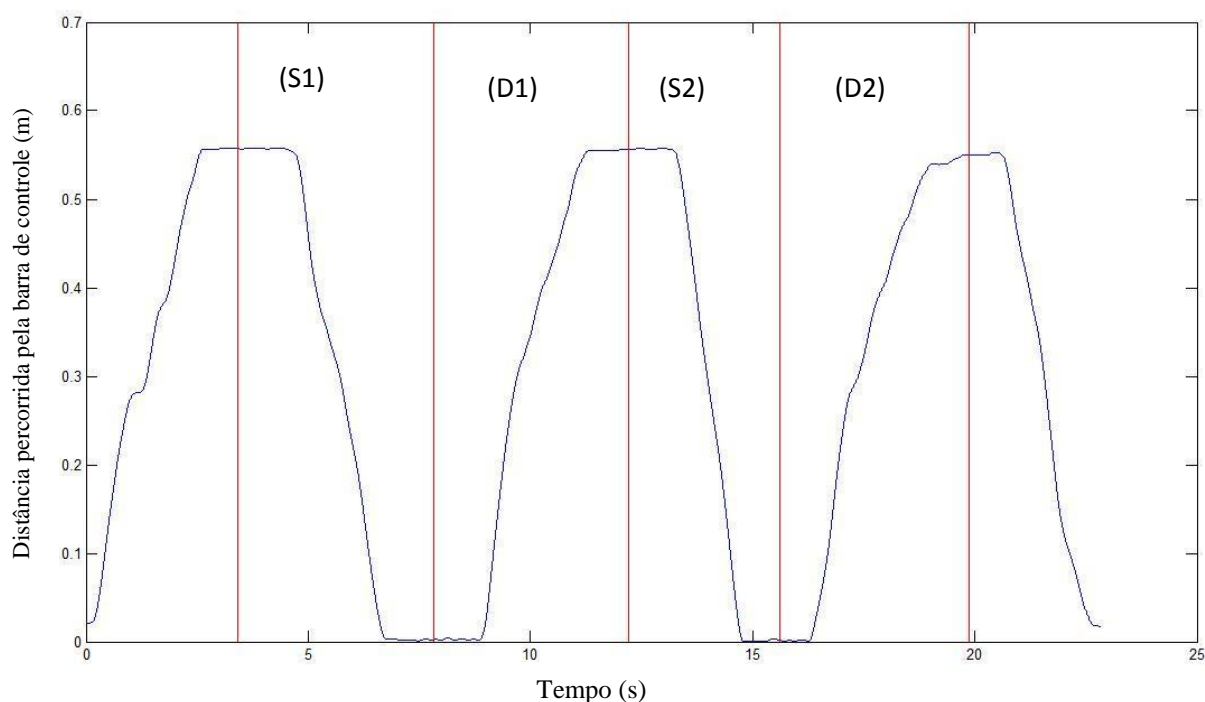


## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são apresentados de acordo com as hipóteses estabelecidas. Logo, serão abordados os seguintes tópicos: (1) teste do deslocamento da barra (2) teste movimentando o *kite* na janela de vento. Ainda, como cada teste foi realizado duas vezes, para diferenciar as execuções serão utilizadas as extensões “a” ou “b” após o número do teste.

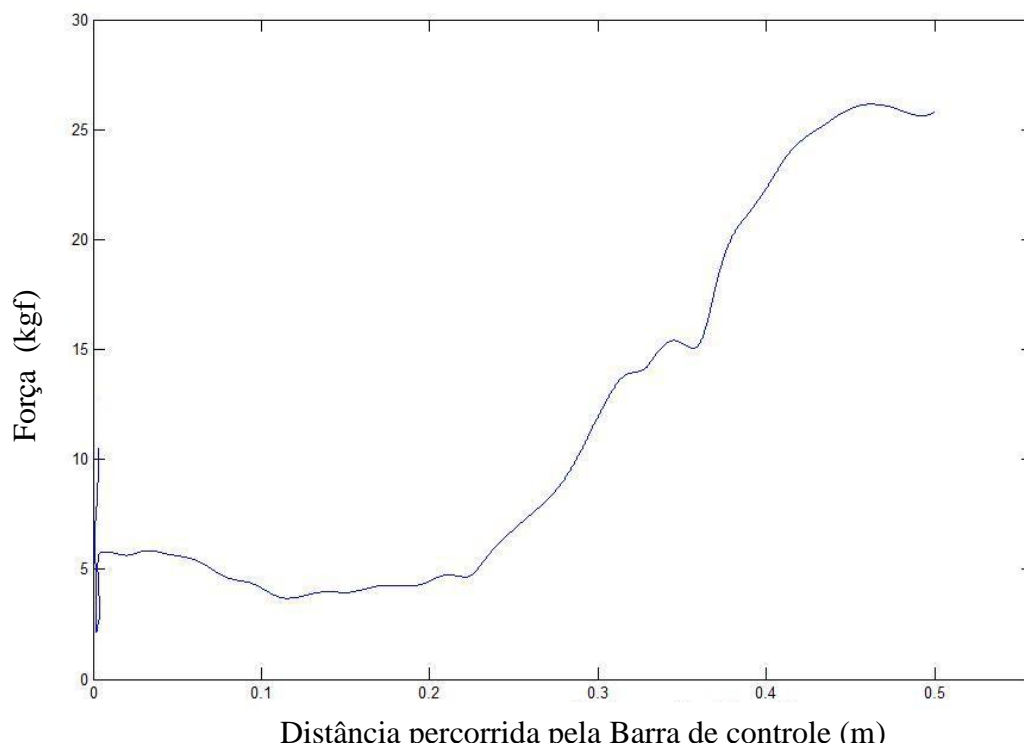
### 4.1 Teste do deslocamento da barra

Nesse tópico será abordado o comportamento da força do *kite* em relação à distância percorrida pela barra. Para facilitar o entendimento dos resultados encontrados os testes de deslocamento da barra de controle foram divididos em quatro partes, duas representam momentos de subida da barra e duas representam momentos de descida da barra, como demonstra a figura 24. Lembrando que a distância percorrida zero representa a barra de controle na sua posição mais elevada.

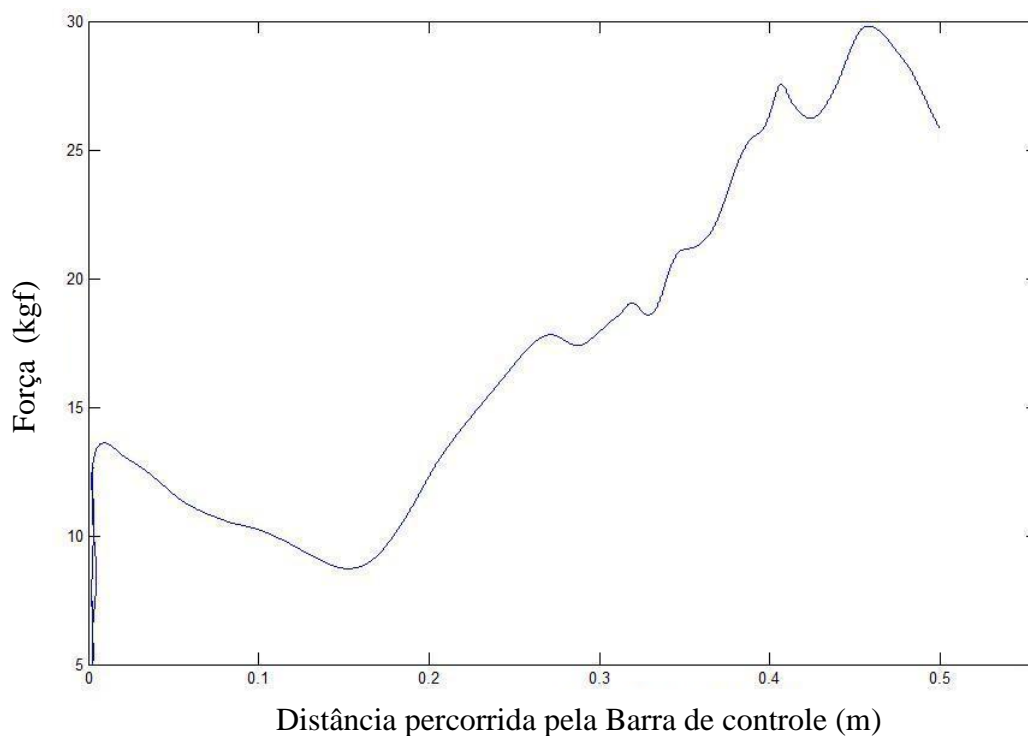


**Figura 24.** Distância percorrida pela barra de controle em relação ao tempo. Em que, S1 e S2 representam fases de subida da barra de controle e D1 e D2 representam fases de descida da barra.

Para ilustrar o comportamento da força do *kite* em relação à distância percorrida pela barra de controle foram escolhidas aleatoriamente uma fase de subida e outra fase de descida dos testes de deslocamento da barra de controle. A fase de subida (figura 25) deve ser observada da direita para a esquerda e, a fase de descida (figura 26) deve ser observada da esquerda para a direita, já que a distância percorrida zero corresponde a posição mais elevada da barra de controle.



**Figura 25.** Força do *kite* em relação à distância percorrida pela barra de controle na fase de subida da mesma, no teste 1a. Como a distância percorrida pela barra zero corresponde a posição mais elevada da barra de controle, essa figura deve ser observada da direita para a esquerda.



**Figura 26.** Força do *kite* em relação à distância percorrida pela barra de controle na fase de descida da mesma, no teste 1a.

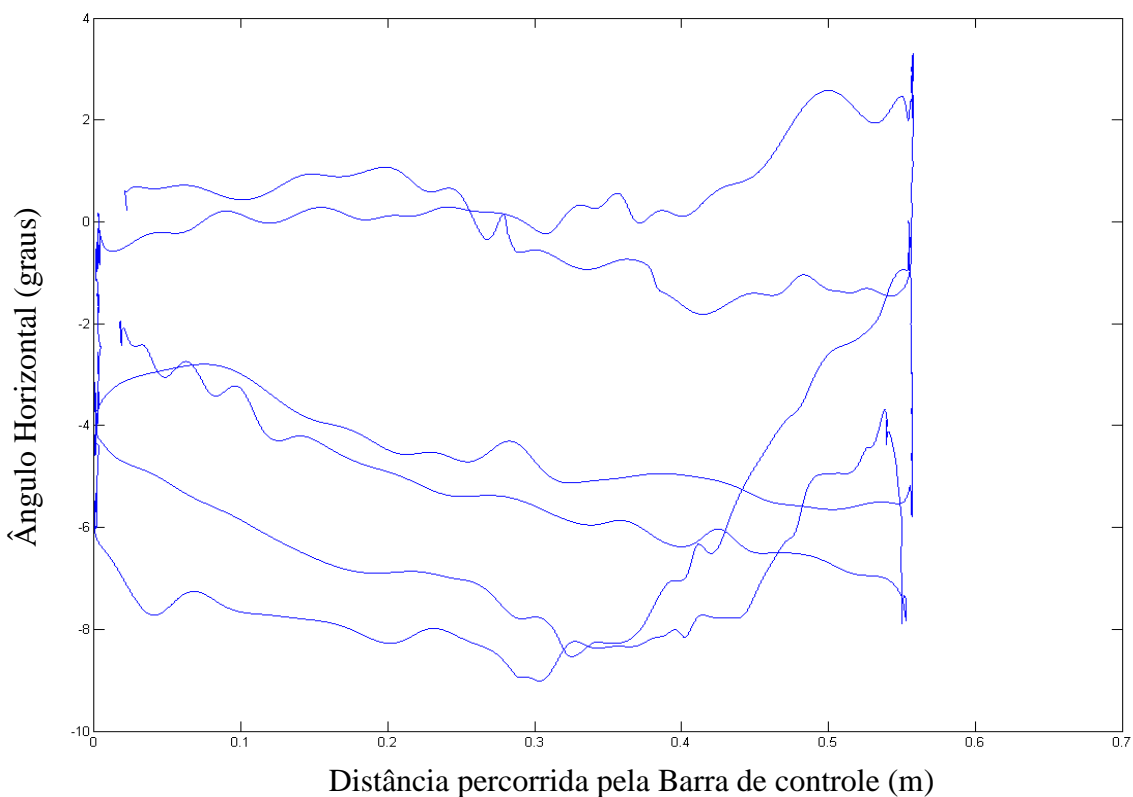
Considerando ambos os testes (1a e 1b), os valores de força variaram entre 2,5 e 32 kgf, apresentando um comportamento padrão em que os valores de força aumentam à medida que a barra de controle é abaixada e diminuem à medida que a barra de controle sobe, o que confirma a hipótese do autor.

Sobre os valores apresentados, apesar de serem semelhantes ao relato de Paelinck (2010), que com dois *kites* diferentes de  $8 \text{ m}^2$  encontrou valores médios de força de aproximadamente 14 kg e valores máximos de aproximadamente 25 kg, deve-se considerar, que no estudo de Paelinck (2010) a velocidade do vento foi de 5 m/s. Enquanto que no presente estudo a velocidade do vento variou entre 9,8 m/s e 11,3 m/s. Também deve-se considerar a diferença do tamanho e do modelo dos *kites* utilizados.

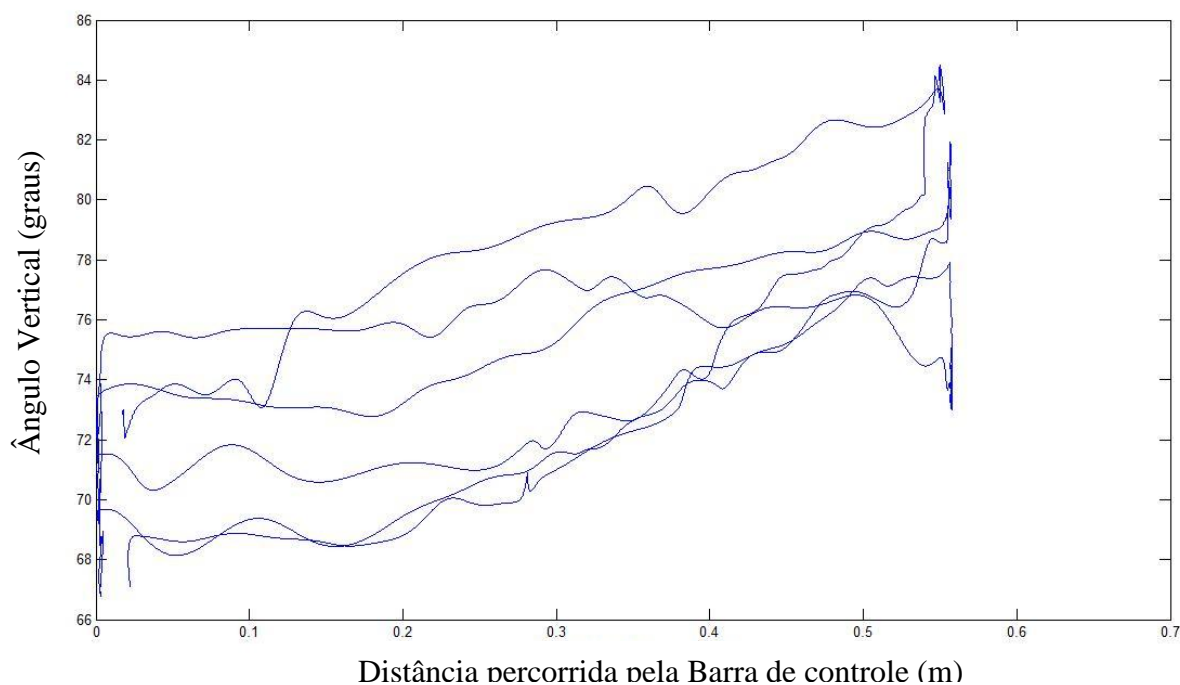
Ainda, os valores de força apresentaram uma oscilação de 2,5 a 13,5 kgf quando a barra de controle estava levantada. As possíveis explicações para isso são: primeiro, que essas variações sejam causadas pela variação da velocidade do vento. E, segundo, pelo fato de que nessa situação

as linhas presas ao bordo de fuga estão sem tensão, deixando o *kite* livre para realizar pequenas mudanças do ângulo de ataque.

Além disso, foram calculadas as variações dos ângulos horizontal e vertical durante o deslocamento da barra de controle. As figuras 27 e 28 ilustram a variação desses ângulos durante todas as repetições de um dos testes.



**Figura 27.** Variação do ângulo horizontal da linha do *kite* em relação à distância percorrida pela barra de controle durante todas as repetições do teste 1a.



**Figura 28.** Variação do ângulo vertical da linha do *kite* em relação à distância percorrida pela barra de controle durante todas as repetições do teste 1a.

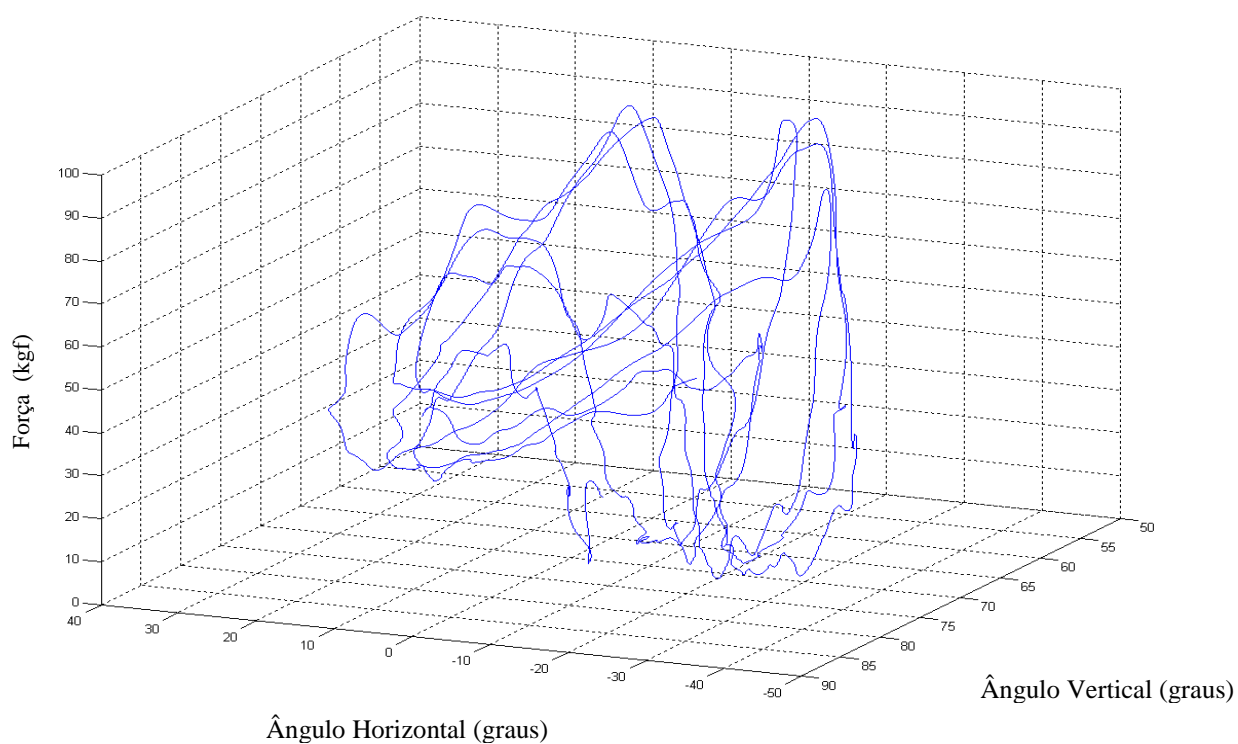
Considerando os testes 1a e 1b, ambos os ângulos apresentaram uma variação de aproximadamente  $20^\circ$ . As variações do ângulo horizontal são provocadas por pequenas assimetrias das extremidades da barra de controle durante os movimentos de abaixar e levantar. Parece não haver uma tendência definida no ângulo horizontal (aumento ou diminuição) quando a barra se desloca, de forma que obtém-se uma variação aleatória deste ângulo com a mudança de posição da barra. O ângulo vertical apresenta uma tendência de um leve aumento do ângulo com o deslocamento da barra de controle para baixo. Isso se deve ao aumento da força de sustentação, pois, abaixar a barra de controle faz com que o ângulo de ataque aumente provocando o aumento da força de sustentação. E, conseqüentemente, o *kite* tenciona mais intensamente as linhas e se movimenta na direção em que seu bordo de ataque está apontado. Logo, quando a barra de controle é abaixada, além de aumentar os valores de força do *kite*, esta ação também tem influência sobre o posicionamento (movimento) do *kite*.

Durante a prática do *kitesurfing* os praticantes combinam esses movimentos, de abaixar a barra de controle com o posicionamento do *kite* dentro da janela de vento, para que o *kite*

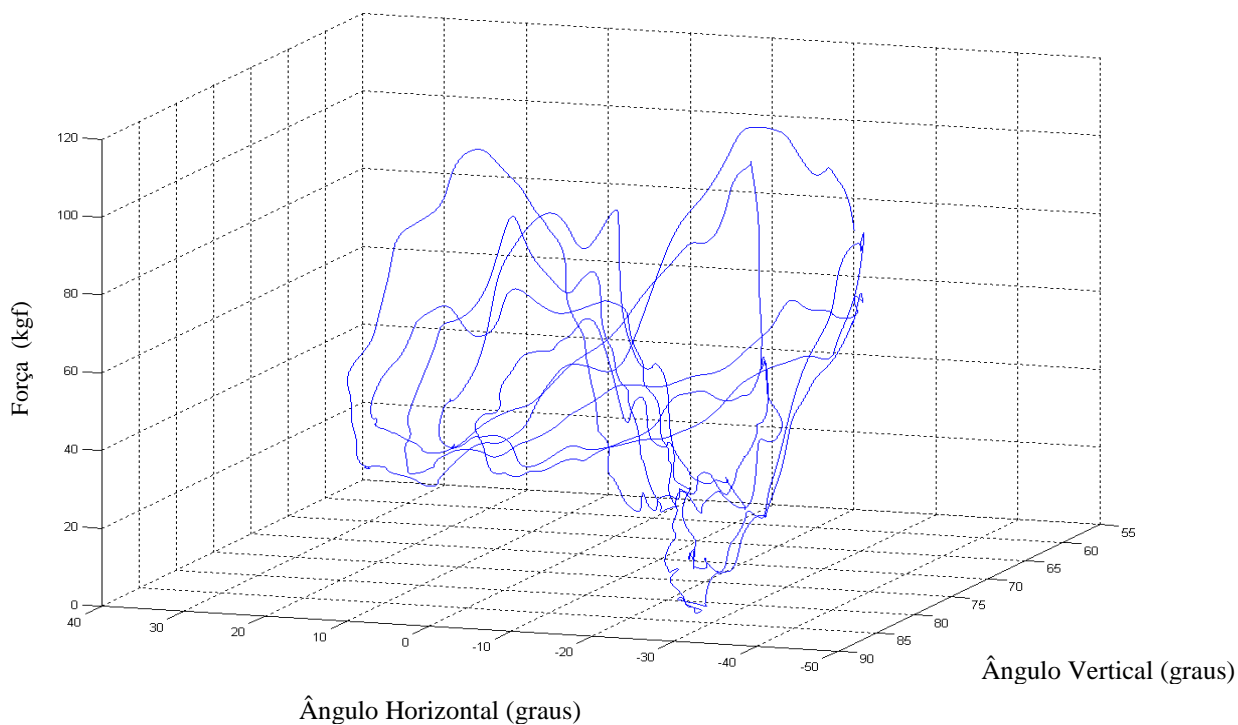
produza força suficiente para elevar os praticantes da água. Um exemplo disso é a técnica básica de salto prevê que em determinado momento o indivíduo aproxime a barra do corpo.

#### 4.2 Teste movimentando o kite na janela de vento.

Os resultados do comportamento da força do *kite* quando esse foi movimentado na janela de vento estão expressos nas figuras 33 e 34. As quais apresentam a variação da força do *kite* em relação à combinação dos ângulos horizontal e vertical.



**Figura 29.** Gráfico da força do *kite* em relação à combinação dos ângulos horizontal e vertical do teste 2a.



**Figura 30.** Gráfico da força do *kite* em relação à combinação dos ângulos horizontal e vertical do teste 2b.

Para facilitar a interpretação das figuras acima, cada oito foi analisado separadamente. E, como cada oito compreende dois mergulhos na janela de vento, um mais a direita e outro mais a esquerda da janela de vento, foram selecionados os dois valores máximos e os dois valores mínimos de força, bem como seus respectivos ângulos horizontal e vertical. Esses valores são apresentados nas tabelas 1 e 2.

Para a análise desses dados é importante salientar que a zona de força da janela de vento compreende a combinação dos menores ângulos verticais com os ângulos horizontais mais próximos de zero. E, conseqüentemente, a zona neutra da janela de vento compreende as combinações de ângulos em que pelo menos um dos ângulos não corresponda à descrição da zona de força, ou seja, para que o *kite* esteja na zona neutra o ângulo vertical deve ser próximo de 90° e/ou o ângulo horizontal deve ser distante de zero.

**Tabela 1.** Valores mínimos e máximos da força do *kite* encontrados em cada oito do teste 2a, com os seus respectivos ângulos horizontal e vertical.

		VMinF (kgf)	AH (graus)	AV (graus)	VMáxF (kgf)	AH (graus)	AV (graus)
Oito1	a	14,7	-27,7	82,1	59,39	-26,7	72,5
	b	19,04	24	65,3	88,49	9,1	53,7
Oito2	a	17,98	-36,7	87,4	86,5	-28,5	65,5
	b	12,94	19,2	68,49	53,6	18,1	58,2
Oito3	a	13,56	-16,47	77,5	95,11	-17,13	59,29
	b	29,27	24,4	64,86	110,7	-33,17	58,55
Oito4	a	18,38	-36,42	84,04	95,44	-21,02	59,22
	b	30,95	26,2	65,4	78,61	14,9	50,66
Oito5	a	18,72	-39,14	86,67	91,79	-22,4	60,67
	b	13,71	26,8	68,28	83,27	8,81	50,98

VMinF, valor mínimo da força do *kite*. VMáxF, Valor máximo da força do *kite*. AH, ângulo horizontal. AV, ângulo vertical. a, primeiro mergulho do *kite* na janela de vento. b, segundo mergulho do *kite* na janela de vento.



**Tabela 2.** Valores mínimos e máximos da força do *kite* encontrados em cada oito, com os seus respectivos ângulos horizontal e vertical, do teste 2b.

		VMinF (kgf)	AH (graus)	AV (graus)	VMáxF (kgf)	AH (graus)	AV (graus)
Oito1	a	21,85	-26,97	77,21	57,99	-26,81	74,53
	b	19,99	9,14	70,56	55,05	3,83	64,64
Oito2	a	22,85	-17,83	78,55	74,55	-37,68	73,66
	b	16,78	21,4	68,75	78,33	14,5	62,89
Oito3	a	8,14	-21,18	77,77	88,66	-38,14	75,26
	b	23,53	17	68,25	75,67	6,99	57,21
Oito4	a	2,4	-27,27	84,36	93,87	-13,03	61,12
	b	19	21,2	65,36	57,4	16,3	60,71
Oito5	a	16,87	-11,43	74,78	102,5	-13,58	60,43
	b	13,11	19,3	67,87	89,53	23,7	57,71

VMinF, valor mínimo da força do *kite*. VMáxF, Valor máximo da força do *kite*. AH, ângulo horizontal. AV, ângulo vertical. a, primeiro mergulho do *kite* na janela de vento. b, segundo mergulho do *kite* na janela de vento.

Considerando os dois testes (2a e 2b), os valores máximo e mínimo de força encontrados foram 110,7 e 2,4 kgf. A média e desvio-padrão dos valores mensurados em cada teste estão apresentados nas tabelas 3 e 4.

**Tabela 3.** Média e desvio padrão dos valores máximos e mínimos de força encontrados, e de seus respectivos ângulos no teste 2a.

	Média	Desvio-padrão
Força Máxima (kgf)	83,1	17,6
Ângulo horizontal (graus)	20,0	8,0
Ângulo vertical (graus)	58,9	6,6
Força Mínima (kgf)	16,5	6,8
Ângulo horizontal (graus)	19,3	5,8
Ângulo vertical (graus)	73,3	6,1

**Tabela 4.** Média e desvio padrão dos valores máximos e mínimos de força encontrados, e de seus respectivos ângulos no teste 2b.

	Média	Desvio-padrão
Força Máxima (kgf)	77,4	16,5
Ângulo horizontal (graus)	19,5	11,8
Ângulo vertical (graus)	64,8	7,0
Força Mínima (kgf)	18,9	6,3
Ângulo horizontal (graus)	27,7	7,5
Ângulo vertical (graus)	75,0	9,5

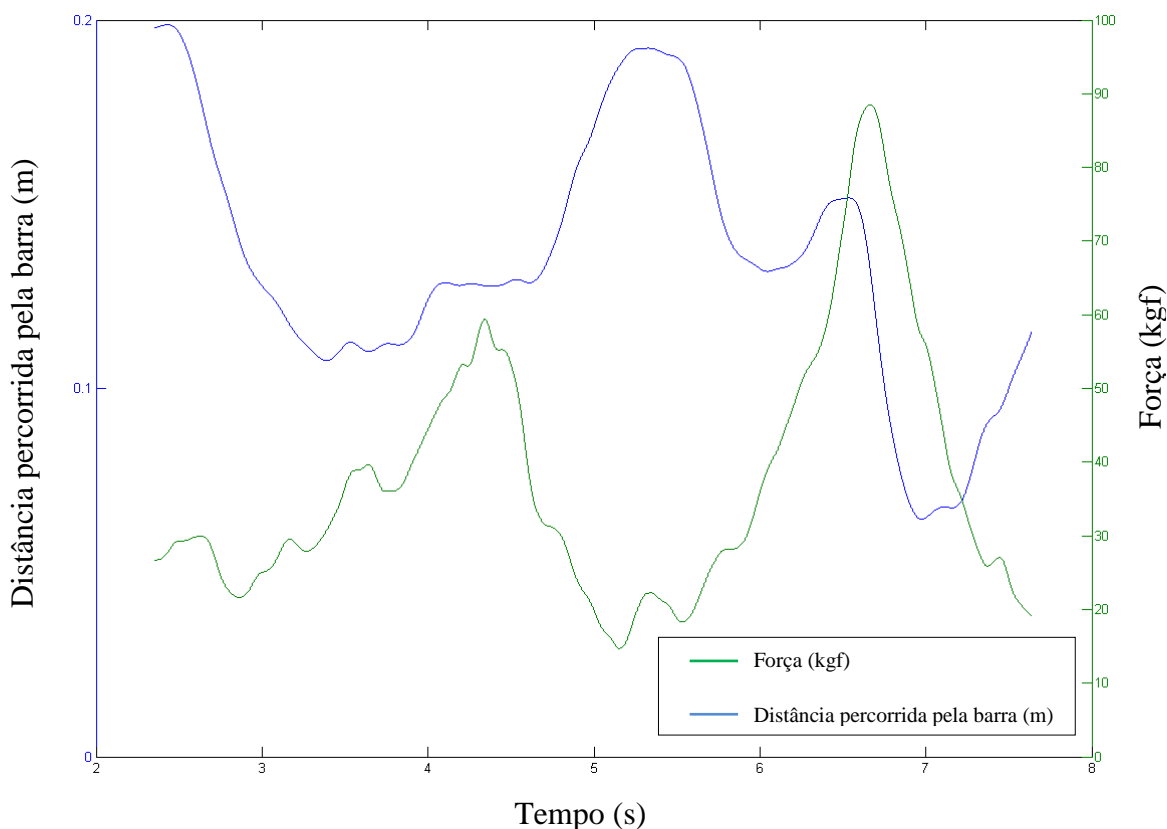
Tanto os valores máximos quanto os mínimos de força ocorreram, próximos ao ângulo horizontal de 20°, dessa forma, parece que o ângulo vertical exerce maior influência sobre os valores de força. Além disso, esses resultados concordam com a hipótese do autor, que diz que os valores de força aumentam à medida que o *kite* se posiciona na zona de força da janela de vento, pois as médias dos ângulos verticais foram menores para os valores máximos de força e o ângulo de 20° do ângulo horizontal pode ser considerado como próximo do centro da janela de vento.

A partir desses resultados também é possível definir melhor a zona de força e a zona neutra da janela de vento. A zona de força da janela de vento compreende os pontos em que as linhas do *kite* apresentam a combinação de um ângulo vertical inferior a 65° com um ângulo horizontal menor que 25°. Enquanto que zona neutra compreende as combinações de ângulos em que o ângulo vertical é maior do que 65° e/ou o ângulo horizontal é maior do que 25°.

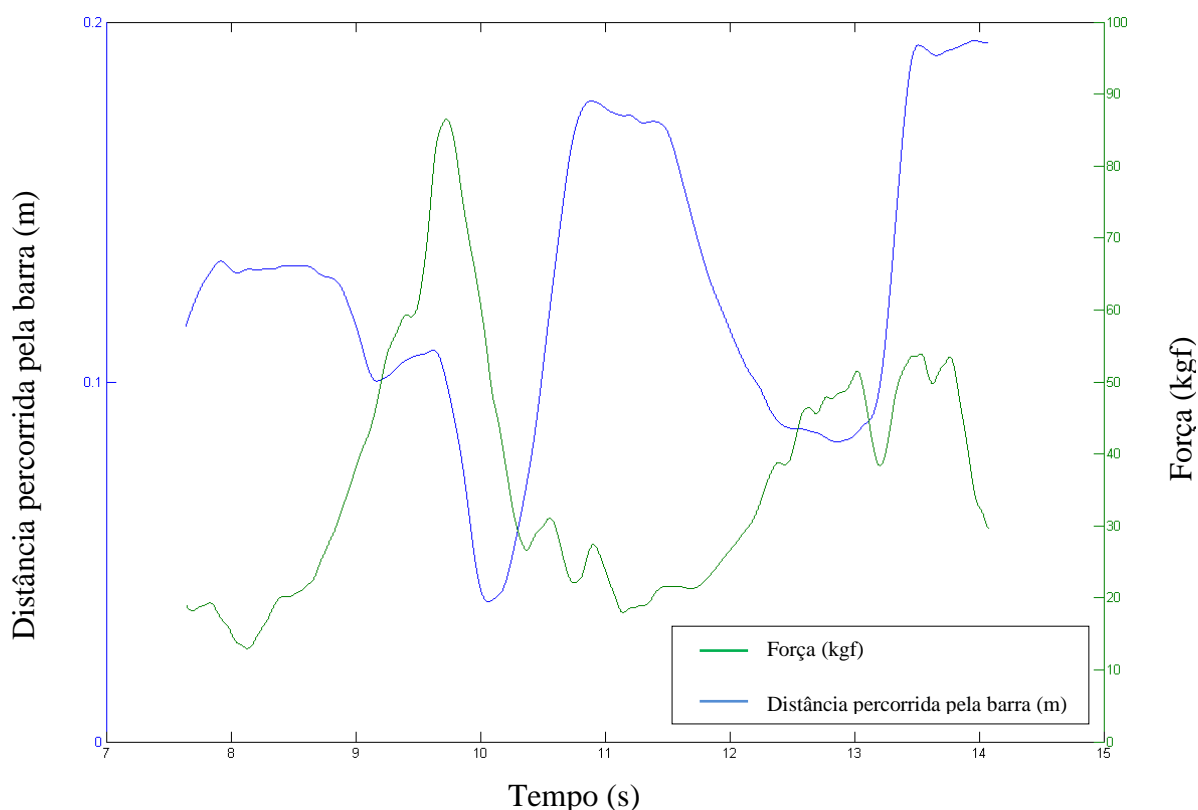
No entanto, quando analisamos individualmente os pontos de maior e menor força encontramos valores altos de força em ângulos que não seriam considerados como a zona de força da janela de vento, como os valores do segundo oitavo do teste 2a (74,5 kgf, ângulo horizontal: -37,7° e ângulo vertical: 73,7°) e do terceiro oitavo do teste 2b (88,7 kgf, ângulo horizontal: -38,1° e ângulo vertical: 75,3°). Também encontramos valores baixos de força em combinações de ângulos que poderiam ser consideradas dentro da zona de força da janela de vento, como o segundo oitavo do teste 2a (12,9 kgf, ângulo horizontal: 19,2° e ângulo vertical: 68,6°) e o quinto oitavo do teste 2b (13,1 kgf, ângulo horizontal: 19,3° e ângulo vertical: 67,9°).

Uma possível explicação para isso seria que nesses instantes o indivíduo que estava controlando o *kite* tivesse abaixado a barra de controle, pois como foi visto no teste de deslocamento da barra de controle, abaixar a barra provoca um aumento da força produzida pelo *kite*. Por isso, também foi analisado o deslocamento da barra de controle nos testes do *kite* se movimentando na janela de vento.

Nessa análise, foi constatado que para realizar os oitos o indivíduo movimentou a barra de controle entre 0 e 0,25 m, ou seja, ele sempre manteve a barra de controle da metade para a posição mais elevada, nunca aproximando-a completamente do corpo. As figuras ilustram o deslocamento da barra de controle e os valores de força em relação ao tempo nos primeiros dois oitos do teste 2a, nesses gráficos, para visualização da distância da barra no mesmo eixo numérico, o valor indicado no eixo das ordenadas deve ser dividido por 500, para que a distância possa ser entendida em metros. Os menores valores da distância percorrida pela barra de controle representam a posição elevada da barra (distante do corpo do indivíduo).



**Figura 31.** Gráfico do deslocamento da barra de controle e dos valores de força em relação ao tempo no primeiro oito do teste 2a.



**Figura 32.** Gráfico do deslocamento da barra de controle e dos valores de força em relação ao tempo no segundo oito do teste 2a.

Ao contrário do esperado, em alguns momentos de força elevada a barra de controle se encontrava em posições elevadas. Segundo a descrição do indivíduo que controlou o *kite*, para mergulhar o *kite* na janela de vento ele abaixava mais uma das extremidades da barra, e também abaixava a barra como um todo. E, assim que o *kite* respondia ao comando, ele aliviava a barra de controle, ou seja, deixava que esta se elevasse. Até o momento em que um novo comando fosse necessário. Deste modo, a variação da distância percorrida não parece ter sido responsável pelo comportamento inesperado dos valores de força em determinadas angulações.

A força produzida pelo *kite* depende, entre outros, do posicionamento do mesmo em relação ao vento. A definição da distância percorrida pela barra de controle e dos ângulos horizontal e vertical, tentam descrever o posicionamento do *kite* em relação ao vento, visto que não foi possível medir diretamente o ângulo de ataque do mesmo. A falta desta informação (medição do ângulo de ataque do *kite*) constitui um fator limitante deste estudo. A medição da velocidade do vento a cada 5 minutos também se constitui em uma limitação, na medida em que eventuais

variações bruscas na velocidade do vento são esperadas, influenciando nos valores de força medidos nos diferentes testes realizados.

Portando os resultados do teste de deslocamento do *kite* dentro da janela de vento não são conclusivos, mas sugerem que os valores de força aumentam a medida que o *kite* entra na zona de força da janela de vento. A zona de força da janela de vento foi definida como sendo a área em que o *kite* voa em que suas linhas têm ângulo vertical menor que  $65^\circ$  e um ângulo horizontal menor do que  $25^\circ$ .

São necessários mais estudos que verifiquem o comportamento da força do *kite* durante o deslocamento do mesmo dentro da janela de vento. Entre esses estudos é interessante que sejam avaliados outros movimentos, além do oito. O movimento de *kite looping* é bastante realizado na prática e empiricamente sabe-se que produz um nível elevado de força. A medição da força do *kite* na situação prática do esporte com a verificação do posicionamento do *kite* (ângulos das linhas) e da barra de controle é com certeza o grande desafio.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados encontrados, foi possível analisar o comportamento da força do *kite* em relação ao deslocamento da barra de controle e ao posicionamento do *kite* dentro da janela de vento.

Dessa forma, foi observado que nas condições testadas os valores de força variam entre 2,5 e 32 kgf simplesmente manipulando, abaixando e levantando, a barra de controle. Ainda, os valores de força aumentam a medida que a barra de controle é abaixada, e diminuem a medida que a barra de controle sobe. Além disso, com a barra de controle levantada, estando o *kite* na posição mais elevada da zona neutra da janela de vento, a força exercida por ele apresenta uma oscilação.

Sobre os valores de força com o *kite* sendo movimentado dentro da janela de vento foram encontrados valores entre 110,7 e 2,4 kgf. No entanto, os resultados quanto ao posicionamento do *kite* não são conclusivos, mas sugerem que o ângulo vertical exerce maior influencia sobre os valores de força. E, que os maiores valores de força acontecem nas combinações de ângulos verticais menores que  $65^\circ$  com ângulos horizontais menores que  $25^\circ$ . Assim, esses valores definem a zona de força da janela de vento.

Ambos os testes foram realizados duas vezes e, como os resultados foram semelhantes, a metodologia criada parece ter apresentado uma boa reprodutibilidade. No entanto, isso ainda deve ser testado com rigor estatístico necessário, utilizando de outros *kites*, bem como em outras condições de vento.

Esses achados constituem o primeiro passo para compreender o comportamento das forças do *kite*. No entanto, ainda são necessários mais dados científicos, como: (1) a realização desses testes no mesmo *kite* em outras condições de vento, (2) teste de outros modelos e tamanhos de *kites*, (3) teste de *kites* realizando o *kite looping* e, provavelmente a mais importante, (4) testes da força do *kite* em situação real de velejo.

## REFERÊNCIAS

ALCANTELADO, Wander Vilson Lioy. **A evolução do kitesurf e o papel do usuário na inovação tecnológica dos equipamentos**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Tecnologia, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2009.

BARROS, RML *et al.* Desenvolvimento e avaliação de um sistema para análise tridimensional de movimentos humanos. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, v. 15, n. 1-2, p. 79-86, 1999.

BARROS, RML *et al.* A method to synchronize video cameras using the audio band. **Journal of Biomechanics**. 39,776-780, 2006.

BENNETT, Richard. Kite Surfing. In: BOOTH, Douglas; THORPE, Holly (Org.). **Berkshire Encyclopedia of Extreme Sports**. Great Barrington: Berkshire, 2007. p. 164-169.

BITENCOURT, Valéria; NAVARRO, Patrícia. Kitesurfe. In: DACOSTA; LAMARTINE. **Atlas do esporte no Brasil : atlas do esporte, educação física e atividades físicas de saúde e lazer no Brasil**. Rio de Janeiro: Shape, 2005. p. 430-431.

BEST KITEBOARDING. **07 Yarga Hybrid manual (2007)**. Disponível em: <[http://media.bestkiteboarding.com/manuals/Yarga\\_Hybrid\\_SLE\\_USER\\_MANUAL.pdf](http://media.bestkiteboarding.com/manuals/Yarga_Hybrid_SLE_USER_MANUAL.pdf)> Acesso em: 20 agosto 2009.

BLOUIN JUNIOR, M. R.; ISABELLA, B. E.; RODDEN, J. E.. **Wind power from kites**. A Major Qualifying Project - Faculty of the Worcester Polytechnic Institute. Worcester, 2007.

CABRINHA. Disponível em: <[www.cabrinhakites.com](http://www.cabrinhakites.com)>. Acesso em: 20 julho 2009.

CONFEDERAÇÃO BRASILEIRA DE VELA E MOTOR (Brasil). **Kitesurf**. Disponível em: <[http://www.cbvm.dutbot.com/programa/automatic\\_site/index.php?idioma=0&id=7](http://www.cbvm.dutbot.com/programa/automatic_site/index.php?idioma=0&id=7)>. Acesso em: 14 abril 2009.

COSTA, Alcides Viera. **O potencial das atividades físicas de aventura na natureza em Porto Alegre: um estudo integrado dos critérios de adequação do local, da infra-estrutura, das contribuições sócio-ambientais e dos riscos**. 2006. 228 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Movimento Humano, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

COSTA, Paula Hentschel Lobo da. **Natação e atividades aquáticas - Subsídios para o ensino**. Brasil: Editora Manole Ltda., 2010.

EXADAKTYLOS, A.K.; SCLABAS, G.M.; BLAKE, I.; SWEMMER K.; MCCORMICK, G.; ERASMUS, P. The kick with the kite: an analysis of kite surfing related off shore rescue

missions in Cape Town, South Africa. **British Journal of Sports Medicine**. England, n.5, p.270-274, 2005.

FOX, Robert W.; MCDONALD, Alan T.; PRITCHARD, Philip J.. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2006.

HALL, Susan J. Movimento humano nos fluidos. In: HALL, Susan J.. **Biomecânica Básica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005. Cap. 15, p. 453-483.

INTERNATIONAL KITEBOARDING ORGANIZATION. **IKO Profile**: The IKO Network . Disponível em: <<http://www.ikointl.com/profile.php>>. Acesso em: 22 maio 2009.

KITESURF MANIA. **Janela do vento**. Disponível em: <<http://www.kitesurfmania.com.br/ksm/kiteschool/Default.asp?id=250>> Acesso em: 17 junho 2009.

KITESURF MANIA. **Tipos de equipamento**. Disponível em: <<http://www.kitesurfmania.com.br/ksm/kiteschool/Default.asp?id=96>> Acesso em: 22 junho 2009

KRISTEN, K.; KRÖNER, A. Kitesurfing — Surfen mit Lenkdrachen. Präsentation und Risikoabschätzung einer neuen Trendsportart. **Sportorthopädie Sporttraumatologie**, Switzerland, n.17, p.253–259, 2001.

LOSS, JF *et al.* Sincronismo entre Cinemetria e Eletromiografia. In: **Anais do VII Congresso Brasileiro de Biomecânica**, Campinas, p. 453-456, 1997.

LUNDGREN, Lina; OLANDERSSON, Sofia; HILLIGES, Marita; OSVALDER, Anna-Lisa. Biomechanics of extreme sports - a kite surfing scenario. **Proceedings Of Nordic Ergonomic Society (NES) Conference**, Lysekil, Sweden, 2007.

LYNN, Peter. **A BRIEF HISTORY OF KITESURFING**. Disponível em: <<http://www.aquilandiafestival.com/inter2-surf1.htm>>. Acesso em: 24 maio 2009.

MAZZOCATO, Dudu. **Aerodinâmica no Kitesurfing**. Disponível em: <<http://www.kitesurfmania.com.br/ksm/kiteschool/>>. Acesso em: 1 jul. 2009.

MCGINNIS, Peter M. Mecânica dos Fluidos: os efeitos da água e do ar. In: MCGINNIS, P. M. **Biomecânica do Esporte e Exercício**. Porto Alegre: Artmed, 2002. p. 195-212.

NAISH. **2009 Kite user's guide**. Disponível em: <[www.naishkites.com](http://www.naishkites.com)>. Acesso em: 1 agosto 2009.

NICKEL, C.; ZERNIAL, O.; MUSAHL, V.; HANSEN U.; ZANTOP, T.; PETERSEN W. A Prospective Study of Kitesurfing Injuries. **American Journal of Sports Medicine**, United



States, n.4, p. 921-927, 2004.

NORTHRIP, John W.; LOGAN, Gene A.; MCKINNEY, Wayne C.. **Biomechanic Analysis of Sport**. 2. ed. Dubuque: Wm. C. Brown, 1979. p. 313-320.

O RADICAL. **História do ksurf.** Disponível em: <<http://oradical.uol.com.br/kitesurf/historiakitesurf.asp>> Acesso em: 3 julho 2009.

PAELINCK, Reinhart. **Is a Kite's Weight Important?** Disponível em: <<http://www.thekiteboarder.com/wordpress/2010/04/is-a-kites-weight-important/>> Acesso em: 1 maio 2010.

PETERSEN, W.; HANSEN, U.; ZERNIAL, O.; NICKEL, C.; PRYMKA, M. Mechanisms and prevention of kitesurfing injuries. **Sportverletz Sportschaden**, Germany, n.3, p.115–121, 2002.

PETERSEN, W.; NICKEL, C.; Zantop, T.; ZERNIAL, O. Kitesurfing injuries. A trendy youth sport. **Der Orthopäde**, Germany, n.5, p.419-425, 2005.

SPANJERSBERG, W. R.; SCHIPPER, I. B.. Kitesurfing: When Fun Turns to Trauma—The Dangers of a new extreme sport. **The Journal of Trauma**, United States, n.3p. E76-80, 2007.

SANDERS, R. Hydrodynamic Characteristics of a Swimmer's Hand. **Journal of Applied Biomechanics**, United States, n.15, p.3-27, 1999.

UNITED STATES KITESURFING ASSOCIATION (United States Of America). **Kitesurfing Equipment**. Disponível em: <<http://www.uskite.org/content/view/318/45/>>. Acesso em: 21 maio 2009.

UNITED STATES KITESURFING ASSOCIATION (United States Of America). **Kite History**. Disponível em: <<http://www.uskite.org/content/view/314/45/>>. Acesso em: 21 maio 2009.

UNITED STATES KITESURFING ASSOCIATION (United States Of America). **Kitesurfing Equipment**. Disponível em: <http://www.uskite.org/content/view/318/45/>. Acesso em: 14 maio 2009.

VERCRUYSSSEN, F.; BLIN, N.; L'HUILLIER, D.; BRISSWALTER, J. Assessment of physiological demand in kitesurfing. **European Journal of Applied Physiology**, Germany, n.1, p.103-109, 2009.

WALLS, J. t.; GALE, T. j. A Technique for the Assessment of Sailboard Harness. **Journal of Science and Medicine in Sport**, Australia, n.3, p.348-356, 2001.