

Universidade de São Paulo
Escola de Educação Física e Esporte

PRINCÍPIOS FÍSICOS DA INTERAÇÃO ENTRE SER HUMANO E AMBIENTE AQUÁTICO

Marcos Duarte, Prof. Dr.

mduarte@usp.br

<http://www.usp.br/eef/lob/md>

2004

SUMÁRIO

1.	Introdução	2
1.1	Sistema de Unidades	4
2.	Forças no meio aquático	5
2.1	Dimensões Geométricas	5
2.2	Massa	6
2.3	Densidade	6
2.3.1	Densidade específica	6
2.3.2	Densidade do corpo e contração muscular	8
2.4	Peso	9
2.5	Centro de Massa (CM) e Centro de gravidade (CG)	10
2.6	Empuxo	14
2.7	Centro de volume	15
2.8	Metacentro	17
2.9	Peso aparente do corpo dentro da água	22
2.9.1	Meio aquático e a sobrecarga na coluna vertebral	23
2.10	Pressão	23
2.10.1	Efeitos da pressão sobre o corpo humano	26
2.10.2	Efeitos da massagem com jatos d'água embaixo d'água	27
2.11	Tensão superficial	27
2.12	Forças resistivas	29
2.12.1	Determinação das forças resistivas e coeficiente de arrasto durante o movimento humano	30
3.	Cinemática do movimento humano no meio aquático	33
4.	Propriedades óticas	35
4.1	Refração	35
4.2	Absorção ótica da água	35
5.	Propriedades elétricas	37
6.	Propriedades térmicas	37
7.	Biomecânica da marcha em ambiente aquático	39
7.1.1	Análise do andar de adultos no ambiente terrestre e no ambiente aquático- Experimentos no Laboratório de Biofísica da USP	44
8.	Referências	49

1. INTRODUÇÃO

O uso terapêutico da água para tratamento de doenças e lesões e prática de atividades físicas remonta ao tempo da Grécia e Roma. São evidentes as principais diferenças da água em relação ao ar quanto ao movimento do ser humano: na água temos a sensação de estarmos mais leves, mas ao mesmo tempo sentimos uma resistência maior para executarmos um movimento qualquer dentro da água e sua temperatura é crítica na sensação de frio e calor que sentimos quando em uma piscina, por exemplo. A piscina rasa também se constitui como um meio seguro para a prática de exercícios devido as consequências mínimas de quedas uma vez dentro da piscina.

Embora o meio aquático seja um meio alternativo bastante empregado para treinamento físico e reabilitação, há uma carência de estudos mais aprofundados e extensos sobre suas verdadeiras vantagens, desvantagens, consequências e precauções na sua utilização. Inúmeros benefícios e vantagens são atribuídos ao uso do meio aquático na reabilitação; infelizmente grande parte destes benefícios ainda carecem de comprovação científica. Isto não invalida e nem mesmo desmerece o uso do meio aquático; vários outros procedimentos terapêuticos ainda tem pouca validação científica. Ainda que o benefício de determinado procedimento clínico justifique seu uso antes de mais estudos científicos, devemos ser cautelosos e críticos no uso de tais procedimentos e sempre buscar uma explicação científica para o fenômeno observado.

O estudo do comportamento do homem na água quanto ao aspecto físico, e das propriedades físicas da água relacionadas a permanência do homem na água, pertence ao campo de estudo da Biofísica. Mais especificamente, a Biomecânica, uma sub-área da Biofísica, se preocupa com o estudo do movimento humano segundo os princípios da Mecânica. Esta apostila aborda os princípios físicos básicos relacionados à prática de movimentos no meio aquático para o público com formação em Fisioterapia e áreas afins. Também serão abordados aspectos da biomecânica da locomoção no meio aquático em um capítulo escrito por Ana Maria Forti Barela e Ulysses Ervilha.

No capítulo 1 faremos uma revisão de alguns conceitos físicos gerais para um melhor embasamento dos outros capítulos. No capítulo 2 veremos as propriedades mecânicas na água - área conhecida como Mecânica dos fluidos. Veremos as forças envolvidas no movimento em fluidos e o movimento humano na água quanto ao tipo de solicitação mecânica dos músculos. Serão abordados as propriedades térmicas da água e seus efeitos no corpo humano, um ser vivo não adaptado para este ambiente no capítulo 3. Nos capítulos 4 e 5, veremos as propriedades óticas e elétricas da água, respectivamente. O comportamento da luz na água é um pouco diferente se comparado ao comportamento no

ar. Conceitos como refração da luz e absorção ótica da água serão abordados. A água tem um comportamento diferente do ar quanto à condução elétrica, e suas propriedades elétricas serão vistas. Esta apostila tem um caráter bastante básico e não pretende cobrir tópicos de técnicas terapêuticas ou exercícios físicos a serem ministrados no meio aquático.

1.1 Sistema de Unidades

Quando desejamos medir algo como o comprimento de um objeto ou a intensidade de corrente elétrica que o ser humano pode suportar, por exemplo, estamos medindo uma **grandeza física**. Uma grandeza física é qualquer observável da natureza que pode ser expresso por um número objetivamente. Por exemplo, massa, tempo, comprimento, força e intensidade luminosa são grandezas físicas. Já a beleza de uma pessoa, embora você possa atribuir uma escala de notas, como em um concurso, a nota é apenas um critério subjetivo da beleza da pessoa, não sendo portanto, uma grandeza física. A medida de uma grandeza física é expressa pelo número de vezes que a unidade padrão, tomada como referência, está contida na grandeza a ser medida. Por exemplo, quando se fala que uma pessoa tem 1,70 m, isto quer dizer que a medida padrão 1 metro cabe 1,70 vezes na altura da pessoa. Um carro que “pesa” (na verdade “tem uma massa de”) 1 tonelada, quer dizer que o carro tem uma massa de 1.000 vezes a massa padrão 1 kg. O valor de uma medida é composto então por duas partes inseparáveis: o número e a unidade padrão em que a grandeza foi expressa. Claramente, a informação de que uma pessoa saltou “15” de distância está incompleta, porque se foram 15 cm, 15 polegadas ou até 15 m, é completamente diferente. No sentido de normalizar as unidades de medida, é que surgiu o Sistema Internacional de Unidades (SI), que determina quais são as unidades padrões para utilização, sistema este que o Brasil adota. Na Tabela 1 podemos ver as unidades de medida para as grandezas físicas mais utilizadas por nós.

Tabela 1. Unidades de medida do Sistema Internacional de Unidades (SI).

GRANDEZA FÍSICA	UNIDADE (SI)
comprimento	metro (m)
massa	Kilograma (kg)
tempo	segundo (s)
velocidade	metro/segundo (m/s)
aceleração	metro/segundo ² (m/s ²)
força	newton (N)
torque	newton-metro (N.m)

2. FORÇAS NO MEIO AQUÁTICO

2.1 Dimensões Geométricas

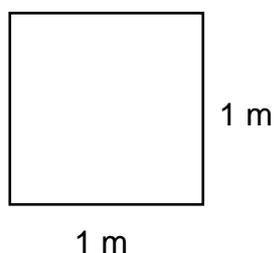
Comprimento: O comprimento é uma grandeza de uma dimensão. Sua unidade no Sistema Internacional é o metro (m). Algumas unidades derivadas do metro são :

$$1 \text{ m} = 100 \text{ centímetros (cm)}$$

$$1 \text{ quilômetro (km)} = 1000 \text{ m}$$

Por exemplo, uma piscina pode medir em extensão 25 metros, ou em centímetros: 2500 cm.

Área : Grandeza de duas dimensões. Sua unidade SI é o metro quadrado (m^2).



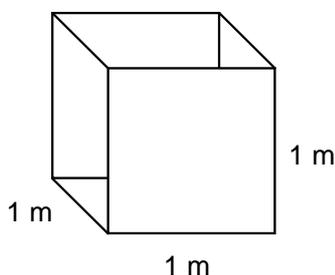
$$\begin{aligned} \text{Área} &= 1\text{m} \times 1\text{m} = 1 \text{ m}^2 \\ &= 100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} = 10.000 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$1 \text{ m}^2 = 10.000 \text{ cm}^2$$

Por exemplo, uma piscina de 10m x 25m tem uma área de 250 m^2

A área da superfície de uma pessoa é da ordem de $1,5 \text{ m}^2 = 15.000 \text{ cm}^2$

Volume : Grandeza de três dimensões. Sua unidade SI é o metro cúbico (m^3).



$$\begin{aligned} \text{Volume} &= 1\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m} = 1\text{m}^3 \\ &= 100\text{cm} \times 100\text{cm} \times 100\text{cm} = 1.000.000 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$1 \text{ m}^3 = 1.000.000 \text{ cm}^3$$

Outra unidade de volume é o litro (l), $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ l}$.

Por exemplo, o volume de uma piscina de 10m x 25m x 1,5m é de 375 m^3 ou 375 l. O volume de uma pessoa é da ordem de 0,07 $\text{m}^3 = 70.000 \text{ cm}^3$ ou 70 l

2.2 Massa

Massa é a quantidade de matéria de um corpo, é uma propriedade intrínseca do corpo, sendo a mesma dentro ou fora da piscina, ou no espaço longe da Terra. Uma grandeza associada à massa é a inércia, no sentido de quanto maior for a inércia ou a massa, maior é a dificuldade de mudar sua velocidade, como expresso pela 2ª lei de Newton: **F=m.a**

Isto é, quanto maior a massa, m, ou inércia do corpo, maior a força que deve ser feita para provocar uma aceleração, a, (uma variação de velocidade) neste corpo.

A unidade SI de massa é o quilograma (kg), 1 kg = 1.000 g

Massa de uma pessoa: 70 kg = 70.000 g

Massa de água de uma piscina: 375.000 kg

2.3 Densidade

A densidade é uma grandeza física que mede quanto há de massa (m) de um corpo por unidade de volume (V), matematicamente é dada por:

$$d = \frac{m}{V}$$

Unidade SI : kg/m³

1 kg/m³ = 0,001 g/cm³ (1 mg/cm³) = 1 µl

Densidade da água: 1.000 kg/m³ = 1 g/cm³ = 1 ml

Densidade do ar: 1,215 kg/m³

A densidade é uma grandeza derivada, ela depende da massa e do volume. Um objeto pesado (muita massa) não obrigatoriamente é mais denso que um objeto leve (pouca massa). Por exemplo, 1 kg de chumbo e 1 kg de algodão tem a mesma massa, mas como o chumbo é muito mais denso que o algodão, o volume de 1 kg de algodão é muito maior que de 1 kg de chumbo. As densidades de alguns materiais são dadas na tabela 1.

2.3.1 Densidade específica

A densidade específica é a razão entre a densidade do corpo e a densidade da água. Este conceito é útil porque elimina a unidade de medida e fornece quantas vezes o objeto é mais ou menos denso que a água. Por exemplo, para o alumínio, sua densidade é $2,7 \text{ g/cm}^3$, e sua densidade específica é:

$$d_e(\text{Al}) = \frac{d(\text{Al})}{d(\text{agua})} = \frac{2,7 \text{ g/cm}^3}{1 \text{ g/cm}^3} = 2,7$$

Isto quer dizer que o alumínio é 2,7 vezes mais denso que a água. Para calcularmos a densidade específica é fundamental que as densidades do objeto e da água estejam na mesma unidade.

Tabela 2. Densidade de materiais e de tecidos do corpo humano.

Sólidos	Densidade (g/cm^3) ¹
Ar	0,0012
Água	0,998
Água do mar	1,026 ²
Gelo (0°C)	0,92
Alumínio	2,7
Cortiça	0,24
Corpo humano (média)	1,05
Osso compacto	1,8
Gordura humana	0,9
Massa humana sem gordura	1,1

A densidade do corpo humano varia para cada pessoa e para diferentes partes do corpo, porque cada tecido humano tem diferentes densidades, e esta constituição varia de pessoa para pessoa. O osso compacto tem uma densidade de $1,8 \text{ g/cm}^3$, já a gordura é menos densa que a água, conforme podemos observar na Tabela 2. Geralmente, por causa da maior proporção de osso, a densidade dos segmentos distais é maior que a de segmentos proximais, e todos segmentos aumentam suas densidades com o aumento da densidade do corpo. A Figura 1 mostra as densidades para seis segmentos corporais em função da densidade do corpo.

¹ A 20 °C e à pressão atmosférica do nível do mar

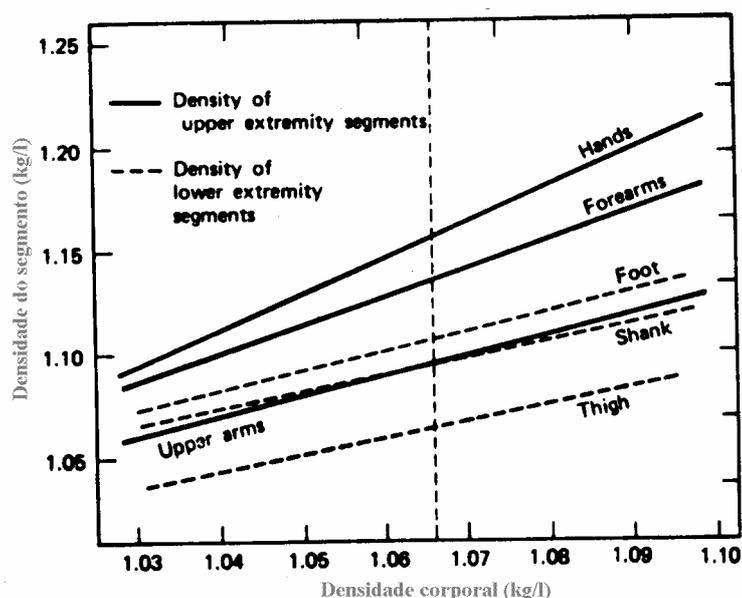


Figura 1. Densidade de segmentos do corpo em função da densidade corporal (Winter, 1990).

2.3.2 Densidade do corpo e contração muscular

É comum o conceito de que deve-se relaxar para boiar mais facilmente na água. Algumas pessoas entendem erradamente que bóia-se mais fácil porque os músculos quando contraem fariam com que os respectivos segmentos do corpo ocupassem um menor volume e como a massa do corpo é constante, então a densidade aumentaria o que faria o corpo afundar mais facilmente. Esse conceito é errado porque há muito se sabe que o músculo quando contrai não apresenta variação de volume. Historicamente, a hipótese inicial era justamente o contrário: quando um músculo contraísse ele aumentaria de volume. Jan Swammerdam (circa 1663) fez um experimento, ilustrado na Figura 2, mostrando que o volume do músculo não varia quando ele contrai (McMahon, 1984). Mas de fato relaxar facilita a flutuação! O que acontece na verdade é que relaxa-se os músculos da caixa torácica e ela então expande, diminuindo a densidade do corpo. Mais tarde mostraremos o efeito da expansão da caixa torácica sobre o movimento do corpo na água mas antes temos que ver mais alguns conceitos de mecânica.

² A 10 °C e 3,3% de salinidade

Fig. 1.2. The experiment of Jan Swammerdam, circa 1663, showing that a muscle does not increase in volume as it contracts. A frog's muscle (*b*) is placed in an air-filled tube closed at the bottom (*a*). When the fine wire (*c*) is pulled, the nerve is pinched against the support (*d*), causing the muscle to contract. The drop of water in the capillary tube (*e*) does not move up when the muscle contracts. From Needham (1971).

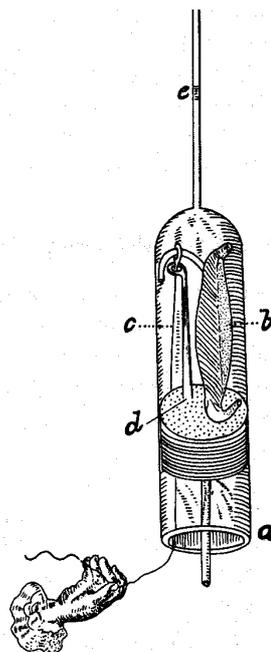


Figura 2. Experimento de Jan Swammerdam sobre o volume de um músculo (McMahon, 1984).

2.4 Peso

O peso de um corpo é a força com que ele é atraído gravitacionalmente pela Terra. Para um corpo na superfície da Terra (ou perto dela), o peso, P , de um corpo de massa m é dado por:

$$P = mg$$

onde g é a aceleração da gravidade, que em módulo vale $9,81 \text{ m/s}^2$.

A direção desta força é a direção que passa pelo corpo e pelo centro da Terra, sendo o seu sentido apontando para o centro da Terra (para baixo). A aceleração da gravidade, g , para facilitação de cálculo, pode ser aproximada para $g = 10 \text{ m/s}^2$.

A unidade SI da força é o Newton :

$$1\text{Newton}(N) = \frac{1\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$$

Outra unidade de força é o quilograma-força (kgf), um kgf é o peso de um corpo de massa 1 kg, então :

$$1 \text{ kgf} = 9,81 \text{ N}$$

Por exemplo, para uma pessoa com massa de 60 kg, e considerando-se $g=10 \text{ m/s}^2$, seu peso é de 600 N ou 60 kgf. No cotidiano, a massa é um conceito comumente

confundido com a grandeza Peso, que é uma força e que discutiremos posteriormente. É comum dizer que o **peso** de uma pessoa é 60 kg, por exemplo, onde o correto seria a **massa** de uma pessoa é 60 kg. É importante lembrar que na física, massa e peso são conceitos totalmente diferentes, embora no cotidiano sejam usados com o mesmo significado.



2.5 Centro de Massa (CM) e Centro de gravidade (CG)

O **centro de massa (CM)** é a região do corpo em torno da qual a **massa** está igualmente distribuída em todas as direções. Se considerarmos que todos os elementos de massa do corpo sofrem a ação da mesma força de gravidade, o que é verdade para situações do cotidiano, o centro de massa é idêntico ao **centro de gravidade (CG)**, o ponto em torno do qual o **peso** do corpo está igualmente distribuído em todas as direções.

Embora abstrato, este conceito tem importância fundamental porque o que determinará se uma pessoa boiando, vai girar ou não na água, por exemplo, é a posição do centro de gravidade em relação ao centro de volume, conceito que veremos mais tarde, mas que é análogo ao centro de gravidade.

A situação mais simples de localização do centro de gravidade, é de um objeto simétrico e de densidade homogênea, onde o CG fica exatamente no centro deste objeto, como ilustrado na Figura 3.

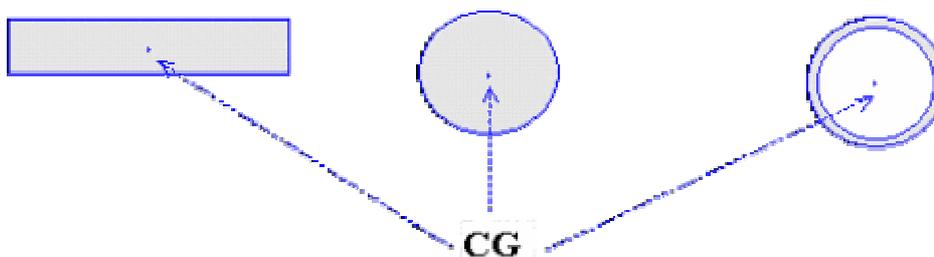


Figura 3. Posição do centro de gravidade.

Nos dois primeiros objetos, parece claro que o CG deve ficar no centro do objeto, pois se quisermos equilibrá-los com um dedo, por exemplo, deveríamos segurar nos pontos indicados, que seriam então os pontos de equilíbrio. Já para o terceiro objeto, em forma de anel, o CG fica, como esperado, no centro do anel. A diferença agora é que este ponto não está no objeto, mas fora dele. Este exemplo evidencia que o CG ou CM é um ponto abstrato, não sendo necessariamente uma região do corpo.

É claro que se tentarmos segurar um bastão por uma das extremidades de tal modo que ele fique solto para girar, ele não ficará na posição horizontal parado, a menos que se segure firmemente a extremidade. O bastão irá girar em torno do ponto por onde está pendurado e somente irá parar quando ele estiver numa posição de equilíbrio, que no caso será quando estiver orientado na vertical Figura 4.

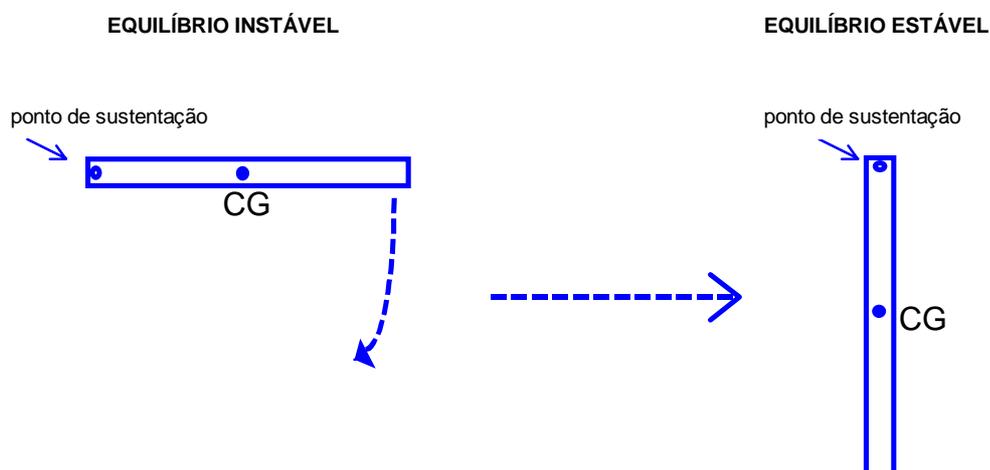
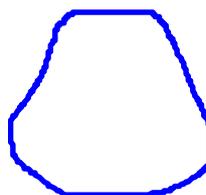


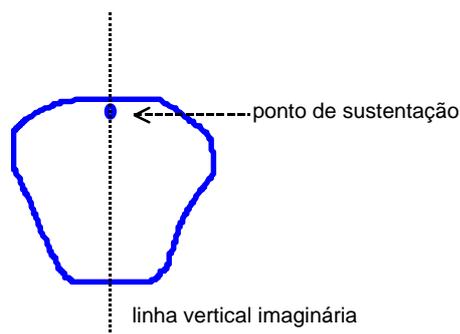
Figura 4. Condições de equilíbrio.

Quando o formato do objeto é irregular, a determinação do CG é mais difícil, por ser mais complicado achar o centro do objeto. Esta determinação pode ser feita teoricamente, dividindo-se o objeto em pequenas massas para localizar o CG, ou experimentalmente, achando-se o ponto de equilíbrio do objeto. Por exemplo, suponha uma placa de madeira com um formato qualquer:

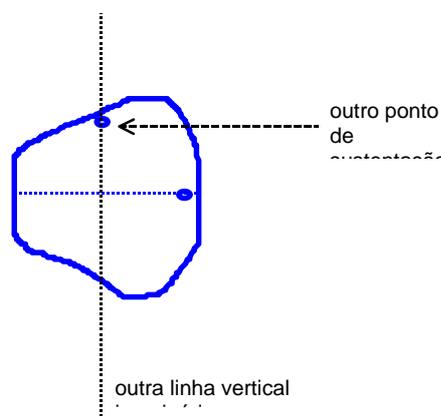
Se você pendurar a placa por uma das extremidades, de modo que ela consiga girar livremente mas não caia, a placa atingirá uma configuração de equilíbrio em que ela estará pendurada e parada:



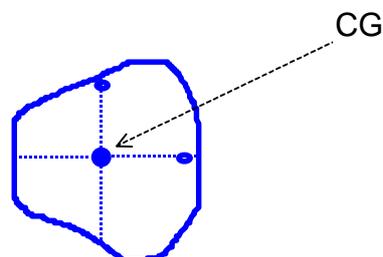
Se você marcar com um giz o tracado da linha vertical que passa pelo ponto de sustentação da placa, você terá marcado a reta que contém o centro de gravidade.



Mas como uma reta contém infinitos pontos, ainda não sabemos em que lugar da reta está o CG, então se pendurarmos a placa por um outro ponto e repetindo os passos acima poderemos marcar outra reta que contém o CG:



Como as duas retas contêm o CG, ele só pode estar no cruzamento das duas retas:



Simplificadamente, esta é a maneira de determinarmos experimentalmente o CG (CM) de um objeto qualquer.

Por trás desta dedução do CG há dois comportamentos fundamentais do CG (CM):

O CG (CM) é o ponto do corpo que se move como se toda a massa do sistema estivesse concentrada nele e como se toda a força externa estivesse aplicada nele.

O CG (CM) é o ponto no qual a soma dos torques produzidos pelos pesos dos segmentos é igual à zero.

Há outros métodos de determinação, especialmente quando queremos determinar o CG do corpo humano. Pode-se utilizar uma “tábua de gravidade” para determinarmos o CG do corpo humano, este método se baseia no cálculo do torque produzido pelo corpo humano (pelo CG!) na configuração da Figura 5.

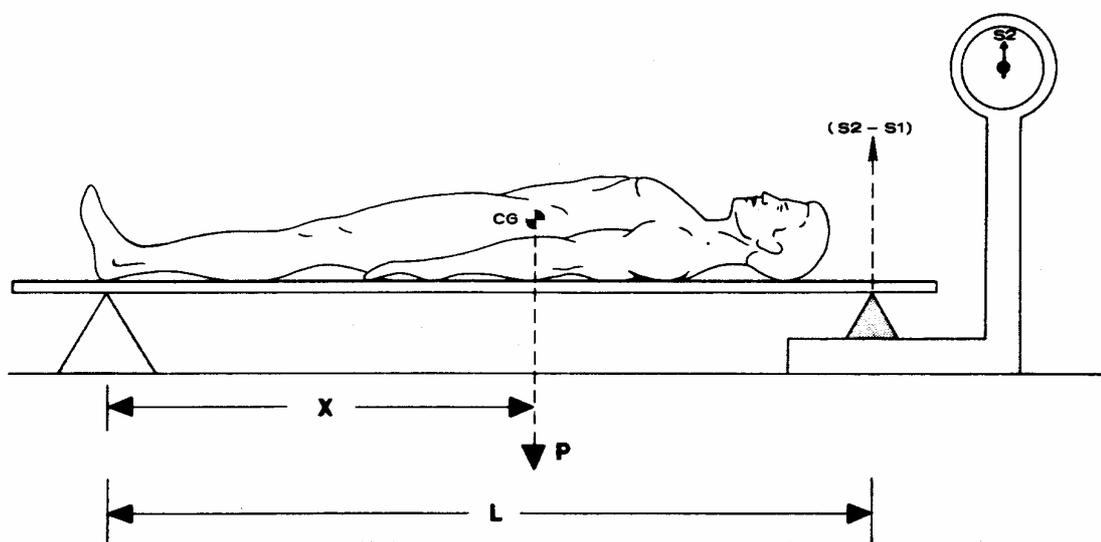


Figura 5. Método para determinação do centro de gravidade (CG) de uma pessoa.

Se S_1 é a massa da tábua registrada na balança, S_2 a massa da tábua mais o indivíduo, então a posição do CG (x) é dada por:

$$x = \frac{(S_2 - S_1)L}{Peso}$$

2.6 Empuxo

Empuxo é uma força descoberta pelo matemático Arquimedes em 2.200 AC. É enunciada como o princípio de Arquimedes: o empuxo é a força exercida pela água com intensidade igual ao peso do volume de água deslocado pelo corpo submerso (ou parcialmente submerso) e com direção igual da força peso mas com sentido contrário (para cima).

Se caminharmos em uma piscina, da parte rasa para a parte funda, temos a sensação de que nosso peso diminui gradativamente, também quando boiamos, nos sentimos mais leves. Do mesmo modo quando seguramos um objeto submerso na água, temos a sensação de que ele fica mais leve.

O empuxo pode ser expresso em função da densidade, pois :

$$E = P_{H_2O} = m_{H_2O} \cdot g$$

como $d = \frac{m}{V} \Leftrightarrow m = d \cdot V$

Onde:

m = massa do objeto

V = volume do objeto que está submerso (volume do fluido deslocado)

d_{H_2O} = densidade da água (fluido)

portanto:

$$E = d_{H_2O} \cdot V \cdot g$$

Isto permite compreender porque os "icebergs" e os navios flutuam como um pedaço de isopor ou uma rolha de cortiça, enquanto objetos como moedas, pregos, afundam na água; um objeto afunda em um líquido quando a intensidade do empuxo que ele recebe é menor que a de seu peso. Assim 1 cm³ de gelo tem 0,92g de massa enquanto o mesmo volume de água tem 1g. Por isso o empuxo sobre o gelo é maior que seu peso e ele flutua, o alumínio, por outro lado, é mais denso que a água, 1 cm³ de alumínio maciço tem 2,7g de massa e ao ser mergulhado na água, o empuxo sobre ele é menor que seu peso e ele afunda.

Manter um objeto em equilíbrio, num fluido, significa tomar a resultante das forças sobre ele nula. Em outras palavras, o peso deve ser equilibrado pelo empuxo.

Na situação de equilíbrio: $\vec{E} + \vec{P} = 0$

Isto esclarece o fato de um navio flutuar, carregado ou sem carga: as marcas da água no seu casco indicam que quanto maior a carga que leva, maior é o volume de água que ele desloca (pois ele afunda mais) e maior será o empuxo que ele sofre.

2.7 Centro de volume

O **centro de volume (CV)** é a região do corpo em torno da qual o **volume** está igualmente distribuído em todas as direções. Assim como a força peso pode ser considerada atuando em um único ponto, o centro de gravidade, a força empuxo também pode ser considerada como atuando em um único ponto : o centro de volume. O empuxo atua no centro de volume da parte submersa do corpo, ou seja, no centro de massa da água deslocada.

Exemplo: A densidade média de uma certa pessoa, sem encher os pulmões de ar, é de 1,1 g/cm³, dado que a massa desta pessoa é 60 kg, calcular :

- A força peso que age sobre esta pessoa (em Newtons (N) e kilogramas-força (kgf))
- O empuxo que age sobre esta pessoa quando totalmente imersa em uma piscina (densidade da água d = 1 g/cm³)
- O peso aparente desta pessoa

R.: O peso da pessoa é dado por $P=mg$, onde g é a aceleração da gravidade ($g \sim 10 \text{ m/s}^2$)

$$P = 60 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2 = 600 \text{ N} = 60 \text{ kgf}$$

O empuxo tem intensidade igual ao peso do volume deslocado pelo corpo quando submerso.

O volume deslocado pelo corpo é:

$$d = \frac{m}{V} \Leftrightarrow V = \frac{m}{d}$$

$$V = \frac{60 \text{ kg}}{1,1 \text{ g/cm}^3} = \frac{60.000 \text{ g}}{1,1 \text{ g/cm}^3} \approx 54.500 \text{ cm}^3$$

O peso deste volume de água é :

$$d = \frac{m}{V} \Leftrightarrow m = d.V$$

$$m = 1 \text{ g/cm}^3 \cdot 54.500 \text{ cm}^3$$

$$m = 54.500 \text{ g} = 54,5 \text{ kg}$$

$$P = mg = 54,5 \cdot 10 = 545 \text{ N}$$

$$\text{Empuxo} = 545 \text{ N} = 54,5 \text{ kgf}$$

Lembre-se que o peso é uma força que aponta para baixo, enquanto o empuxo é uma força que aponta para cima.

O peso aparente da pessoa é :

$$P_{\text{apar.}} = P - E$$

$$P_{\text{apar.}} = 600 \text{ N} - 545 \text{ N} = 55 \text{ N}$$

Isto é, a pessoa afunda com uma força de 55 N.

E se a pessoa inspirasse ar e ficasse com uma densidade $d=0,95 \text{ g/cm}^3$, qual seria o resultado? (faça as contas)

Então, quando um corpo estiver na água ele estará sobre a ação de no mínimo duas forças: seu **peso** e o **empuxo** sobre ele, conforme a figura abaixo. Os movimentos provocados por este par de forças serão regidos não só pela intensidade destas forças, mas também pela relação das posições relativas do centro de gravidade (CG) e do centro de volume (CV).

Na Figura 6a o indivíduo estava em uma posição de equilíbrio instável dentro d'água, já que as forças peso e empuxo não se cancelam por não estarem em uma mesma direção, então o indivíduo irá girar até adquirir uma posição de equilíbrio estável, como ilustrado na Figura 6b.

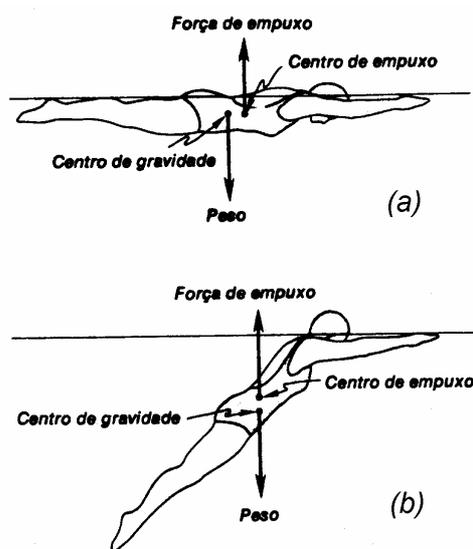


Figura 6. Situação dentro d'água, equilíbrio instável (a) e equilíbrio estável (b).

Uma vez conhecido a posição do centro de gravidade, o centro de volume pode ser determinado de maneira semelhante à determinação do centro de gravidade como mostrado no item 2.5, mas agora a medida deve ser feita dentro d'água como ilustrado na Figura 7 (McLean & Hinricks, 2000).

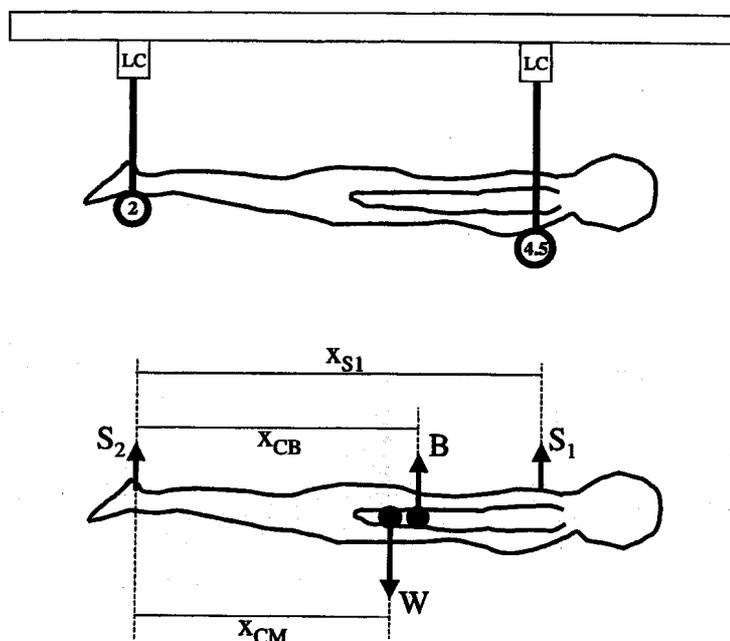


Figure 1 — Diagram and associated free body diagram of apparatus used to measure the location of the CB. The body was positioned in the water using two tethers attached to two load cells (LC). This position was stabilized by adding mass to each tether (2 or 4.5 kg). The buoyancy force (B) acted through the center of buoyancy (CB), and body weight (W) acted through the center of mass (CM). Cranial and caudal supporting forces (S_1 and S_2 , respectively) represented the resultant force acting at each of these points.

$$x_{CB} = \frac{W \cdot x_{CM} - S_1 \cdot x_{S1}}{W - S_1 - S_2} \quad (3)$$

Figura 7. Método experimental para determinação do centro de volume (McLean & Hinricks, 2000).

2.8 Metacentro

Para um corpo parado imerso na água há então duas forças atuando sobre ele: peso e empuxo. Como o corpo está parado, estas duas forças são iguais em módulo mas com sentidos opostos. Caso este corpo seja perturbado, o tipo e grau de estabilidade (estável, o corpo retorna à posição inicial; instável, o corpo não retorna à posição inicial) do corpo pode ser avaliado pelo conceito de metacentro como mostrado na Figura 8. A partir da situação inicial (Figura 8a), é traçada uma linha vertical passando pelo centro de gravidade.

Quando o corpo é inclinado esta linha inclina-se da mesma forma. Na situação inclinada o cruzamento desta linha (que também está inclinada) com a linha vertical b passando pelo centro de empuxo define o metacentro deste corpo. A distância entre o metacentro e o centro de gravidade é chamada altura metacêntrica (h na Figura 8b). Se o metacentro do corpo está acima do centro de gravidade, o equilíbrio é estável porque o corpo tende a voltar à posição inicial (Figura 8b). Se o metacentro está abaixo do centro de gravidade o equilíbrio é instável e o corpo tomba (Figura 8c).

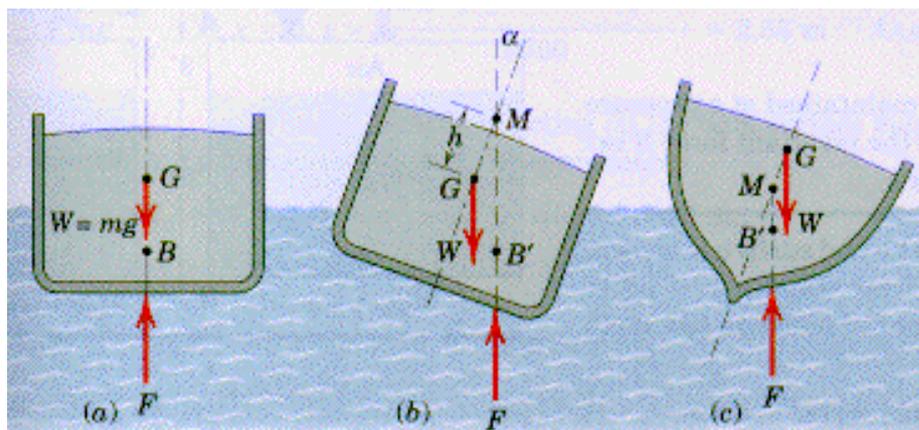
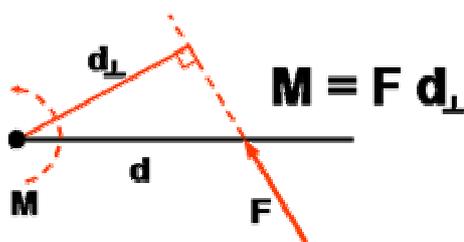


Figura 8. Metacentro (ponto M em (b) e (c)) para corpos submersos sob a ação da força peso ($W=mg$) atuando no centro de gravidade (G) e da força empuxo (F) atuando no centro de empuxo (B).

Zamparo e colaboradores (Zamparo, Antonutto et al. 1996) mediram o resultado da ação da força peso (que atua no centro de massa) e da força empuxo (que atua no centro de volume) sobre o corpo parado na horizontal imerso na água. Como estas duas forças não atuam no mesmo ponto, o corpo tem a tendência de girar, devido ao torque resultante da ação destas duas forças.

Torque ou momento de força (M) é a ação de uma força (F) aplicada a um corpo em relação a um ponto distante (d) da linha de ação desta força. O resultado é uma rotação.



Na Figura 9 é mostrado o diagrama conceitual do corpo e as forças que agem sobre ele que Zamparo e colaboradores (Zamparo, Antonutto et al. 1996) utilizaram para estimar o torque sobre o corpo quando submerso, isto é, a “força” que faz os pés afundar quando o corpo está imerso na horizontal.

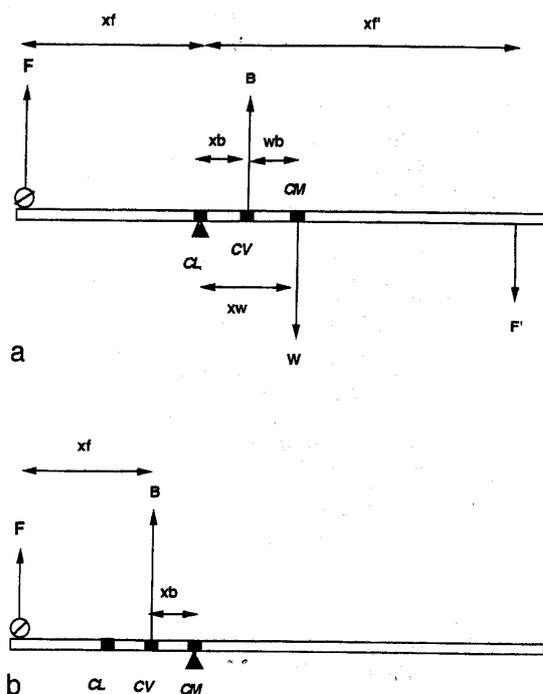


Fig. 1. Scheme of 'torque balance'. Closed triangle, fulcrum; slashed circle, load cell; CV, center of volume of the lungs; CL, center of volume of the lungs; CM, center of mass; B, buoyant force; W, body weight. (a) Assessment of the underwater torque (T'). The subject rested with his or her center of volume of lungs over the fulcrum. The product of the net force read on the load cell (F) times the distance from the load cell to the fulcrum (xf) is equal to the product of the force at the subject's feet (F') times the distance from the feet to the fulcrum (xf'), i.e. to the underwater torque (T') as defined by Pendergast & Craig (1) (see text for details). (b) Assessment of the true torque (T). The subject rests with his or her center of mass over the fulcrum. The product of the net force read on the load cell (F) times the distance from the load cell to the fulcrum (xf) is equal to the product of the buoyant force (B) times the distance from the center of volume to the fulcrum (xb) (see text for details).

Figura 9. Diagrama conceitual do corpo e as forças que agem sobre ele (Zamparo, Antonutto et al. 1996).

Zamparo e colaboradores (Zamparo, Antonutto et al. 1996) mostraram o efeito do volume dos pulmões durante ciclos de respiração sobre este torque o que é mostrado na Figura 10.

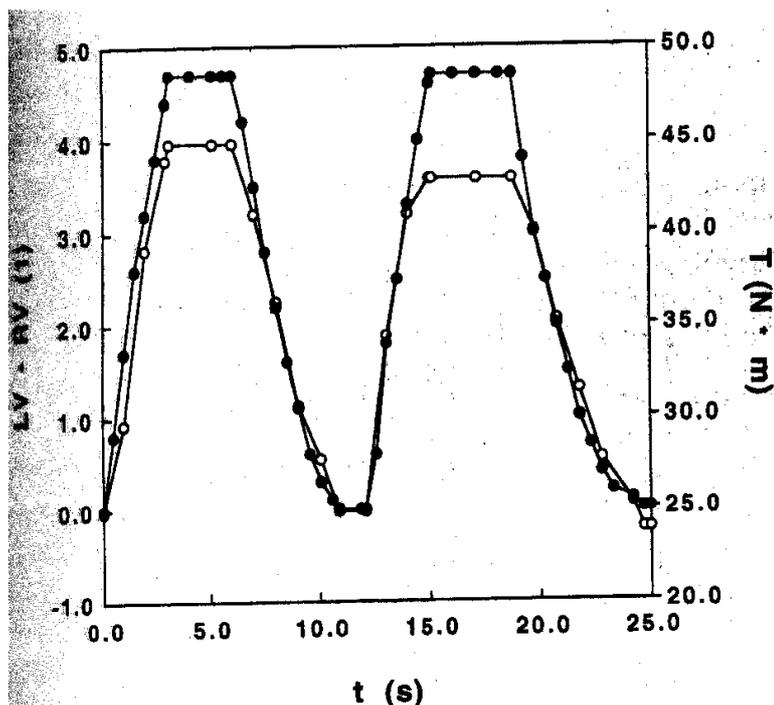


Fig. 3. True torque (T , full symbols and right ordinate) and lung volume ($LV-RV$, empty symbols and left ordinate) are represented as a function of time (t) during two breathing cycles from residual volume (RV , 0 l) to vital capacity (4.7 l) in one subject.

Figura 10. Volume do pulmão e torque sobre o corpo durante dois ciclos de respiração para um corpo imerso na água (Zamparo, Antonutto et al. 1996).

A relação entre volume do pulmão e torque pode ser observada na Zamparo e colaboradores (Zamparo, Antonutto et al. 1996) mostraram que este torque aumenta com a idade e mais ainda para os homens do que para as mulheres como mostrado na Figura 11.

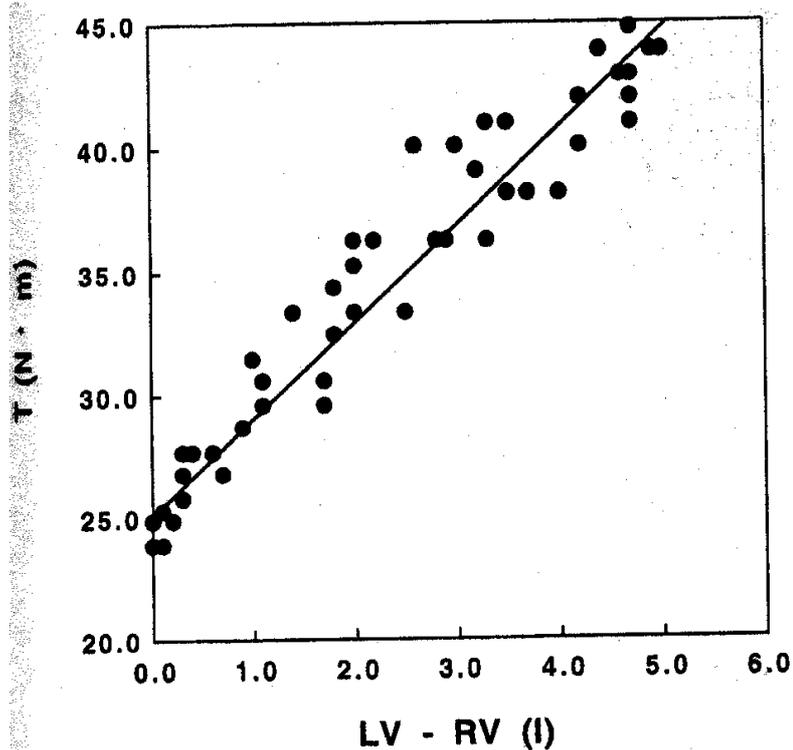


Fig. 4. The relationship between lung volumes (LV-RV, l) and true torque (T, N·m) is described by: $T=25.08+3.94 \cdot LV-RV$, $n=43$, $r^2=0.96$; 0 l corresponds to the end of a maximal expiration (i.e. to residual volume, RV).

Figura 11. Volume do pulmão e torque sobre o corpo para um corpo imerso na água (Zamparo, Antonutto et al. 1996).

Zamparo e colaboradores (Zamparo, Antonutto et al. 1996) mostraram que este torque aumenta com a idade e mais ainda para os homens do que para as mulheres como mostrado na Figura 12.

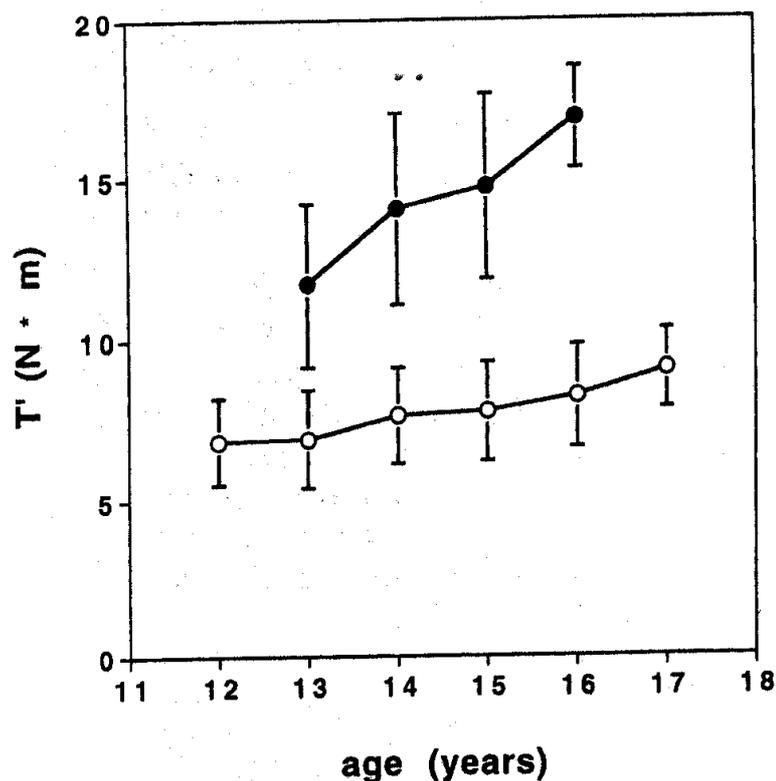


Fig. 2. The mean T' values ($N \cdot m$) in subjects of group B are represented as a function of age (years). Full circles refer to boys and open circles to girls. Bars represent the standard deviations.

Figura 12. Torque médio dos sujeitos em função da idade. Círculos fechados representam homens e círculos abertos, mulheres (Zamparo, Antonutto et al. 1996).

2.9 Peso aparente do corpo dentro da água

Como vimos, para um corpo parado a força total que atua sobre ele é o peso do corpo menos a força empuxo. O resultado desta diferença pode ser chamado de peso aparente do corpo e é um valor menor que o peso do corpo porque empuxo e peso sempre tem sentidos opostos. Não é correto falar que nosso peso diminuir dentro da água mas sim que o peso aparente (a força que sentimos) é menor. A Figura 13 mostra os valores do peso aparente em função da profundidade de imersão do corpo humano para o caso estático e para diferentes velocidades do andar dentro d'água, este último será melhor discutido separadamente mais tarde.

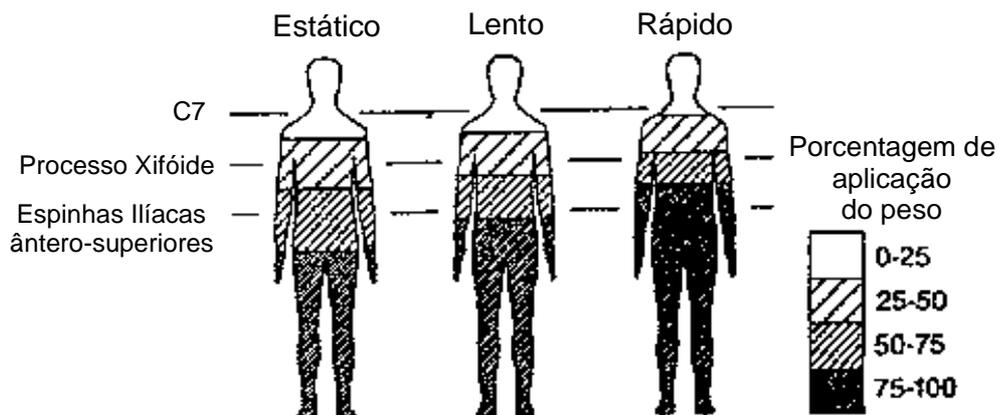


Figura 13. Força de reação do solo em situação estática e durante o andar em diferentes níveis de imersão (adaptado de HARRISON *et al.*1992).

2.9.1 Meio aquático e a sobrecarga na coluna vertebral

A sobrecarga compressiva sobre a coluna vertebral é inevitável durante as várias atividades realizadas fora d'água. Por exemplo, durante a corrida, os pés impactam o solo cerca de 600 a 1200 vezes por quilômetro produzindo uma força de reação de solo de 2 a 4 vezes o peso corporal, que é transmitida em parte à coluna vertebral. Esta sobrecarga compressiva sobre a coluna produz uma redução das distâncias entre os discos intervertebrais resultando numa diminuição da estatura do indivíduo. Dowzer e colaboradores (Dowzer *et al.*, 1998) determinaram o encolhimento da coluna em indivíduos que realizaram 30 minutos de corrida fora d'água, ou em água rasa (ao nível da espinha ilíaca antero superior) ou em água profunda (com o uso de flutuador). A redução média de estatura foi de $4,59 \pm 1,48$ mm, $5,51 \pm 2,18$ mm e $2,92 \pm 1,7$ mm após 30 minutos de corrida fora d'água, em água rasa e em água profunda, respectivamente. Houve uma diferença estatisticamente significativa entre os valores para corrida em água profunda e em água rasa. Este resultados sustentam o uso de corrida em água profunda para o decréscimo da sobrecarga compressiva sobre a coluna.

2.10 Pressão

Sob o ponto de vista macroscópico, costumamos classificar a matéria em sólidos e fluidos. Fluidos são substâncias que podem escoar. Assim o termo fluido abrange os líquidos e gases. A separação entre os sólidos e os líquidos não é tão definida, o piche flui tão vagarosamente que se comporta como sólido, por exemplo.

A maneira pela qual uma força atua nos sólidos e nos fluidos não é a mesma. Para os sólidos a direção desta força pode ser qualquer, mas, para um fluido em repouso, a

força superficial deve ser sempre perpendicular à superfície. Para descrever as forças que atuam em um fluido utiliza-se a grandeza pressão.

A pressão é uma grandeza definida como :

$$\text{Pressão} = \frac{\text{Força}}{\text{Área}} \rightarrow P_r = \frac{F}{A}$$

Sua unidade de medida no SI é o Pascal (Pa) :

$$P_r = \frac{F}{A} \equiv \frac{N}{m^2} \equiv \text{Pascal}(Pa)$$

Outras unidades são bar (1 bar = 1 kgf/cm² = 100.000 Pa), atmosfera (1 atm = 101.325 Pa).

Embora a força seja uma grandeza vetorial³, a pressão é uma grandeza escalar porque para o cálculo da pressão só interessa a força perpendicular à superfície.

O modo como uma força ou pressão se transmite em um fluido é enunciada no princípio de Pascal, um cientista francês do séc. XVII:

"A pressão aplicada a um fluido contido em um recipiente é transmitida integralmente a todos os pontos do fluido e às paredes do recipiente."

Isto é, se você fizer uma pressão num canto da piscina, esta pressão será sentida em toda piscina.

O planeta Terra está envolto por uma atmosfera, então podemos imaginar que a Terra está imersa em um fluido: o ar. Devido a este fluido, o ar, há uma pressão sobre todos os corpos na Terra, chamada pressão atmosférica. Torricelli (séc. XVII) descobriu um método de medir a pressão atmosférica, inventando o barômetro. Na superfície do mar, a pressão é da ordem de 1 atmosfera ou 101.325 Pa. Com este dado, nós podemos calcular qual é o tamanho da coluna de ar sobre nossa cabeça.

A pressão sobre nossa cabeça é devida exclusivamente ao peso da coluna de ar:

$$P_r = \frac{F}{A} = \frac{\text{Peso}_{ar}}{A_{cabeça}} = \frac{m_{ar} g}{A}$$

mas a massa de ar pode ser expressa em termos da densidade e do volume :

³ Revisão: Grandeza vetorial: é definida por intensidade, direção e sentido (ex.: velocidade, força); grandeza escalar: é definida somente pela intensidade (ex.: massa, volume, pressão).

$$d = \frac{m}{V} \Leftrightarrow m = d \cdot V$$

então

$$P_r = \frac{d_{ar} \cdot V_{ar} \cdot g}{A}$$

Por último, o volume da coluna de ar é dado por $V=A \cdot h$ (onde A é a área da coluna de ar e h é a altura da coluna de ar), então :

$$P_r = \frac{d_{ar} \cdot A \cdot h \cdot g}{A} \Rightarrow P_r = d_{ar} \cdot h \cdot g$$

Isto é, a pressão do ar na atmosfera terrestre independe da área. Dado que a pressão atmosférica é 101.325 Pa e a densidade do ar é de $1,2 \text{ kg/m}^3$, a altura da coluna de ar é:

$$101.325 \text{ Pa} = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot h_{ar}$$

mas $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 / \text{m}^2$:

$$h_{ar} = \frac{101.325 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}^2}}{1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \approx 10.000 \text{ m}$$

Então a pressão atmosférica é devida a uma coluna de ar de 10.000 m sobre nossa cabeça. O interessante é que embora a pressão atmosférica seja grande, nós não a sentimos porque ela atua em todos os lados do nosso corpo (de fora para dentro e de dentro para fora em todos os pontos), o que é diferente da pressão da água em uma piscina, por exemplo, onde a pressão é só externa (de fora para dentro do nosso corpo).

Utilizando as equações acima e o valor da densidade da água, podemos calcular a pressão de uma coluna de água em comparação com uma coluna de ar.

Como a densidade da água é aproximadamente 1.000 kg/m^3 , teremos que a coluna de água que dá uma pressão de 1 atm (a pressão de 10.000 m de coluna de ar) será:

$$h_{\text{água}} = \frac{101.325 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}^2}}{1.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \approx 10 \text{ m}$$

Isto é, 10.000 m de ar produzem a mesma pressão que 10 m de água, que é de 1 atm. É por isso que a cada 10 m que afundamos na água a pressão aumenta de 1 atm. O gráfico da Figura 14 mostra o nível de pressão em função da profundidade da água de uma piscina.

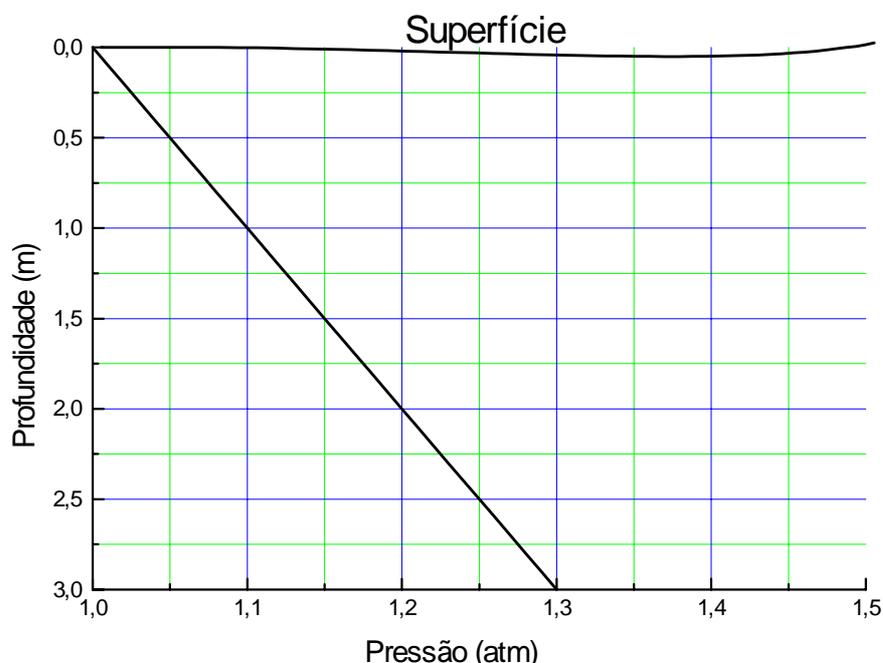


Figura 14. Pressão em função da profundidade de água.

2.10.1 Efeitos da pressão sobre o corpo humano

Para termos uma melhor idéia sobre o efeito da pressão sobre nós, suponha que um mergulhador de final de semana acha que se um snorkel com um tubo de 20 cm funciona, um snorkel com um tubo de 6 m também deveria. Se o mergulhador usasse um tubo tão longo para respirar à 6 m de profundidade ele estaria em grande perigo. A pressão externa (P_r) sobre ele é dada por:

$$P_r = P_{r0} + \rho gh$$

Onde P_{r0} é a pressão na superfície da água (a pressão atmosférica) e ρgh é a pressão da coluna de água com densidade ρ sobre ele à profundidade h .

Ao mergulhar, o corpo humano se adapta lentamente à pressão externa ajustando a pressão interna média (do sangue e do ar) ao valor P_r . Se o tolo mergulhador tentar usar um tubo de seis metros para respirar, a pressão nos pulmões à profundidade de

6 m será muito maior que a pressão atmosférica (na extremidade livre do tubo) e fará com que todo o ar seja expulso do pulmão. A diferença de pressão (ΔP_r) entre as duas extremidades do tubo (entre o pulmão e a superfície da água) é:

$$\begin{aligned}\Delta P_r &= P_r - P_{r0} = \rho gh \\ &= 1000 \text{kg} / \text{m}^3 \cdot 10 \text{m} / \text{s}^2 \cdot 5 \text{m} \\ &= 50.000 \text{Pa} \cong 0,5 \text{atm}\end{aligned}$$

Uma pressão de 0,5 atm é suficiente para colapsar os pulmões e forçar o sangue, ainda pressurizado, para os pulmões.

Para profundidades menores, como por exemplo 1 m (aproximadamente a profundidade de uma piscina para hidroterapia), a pressão externa sobre o corpo é da ordem de 0,1 atm ou 10.000 Pa (Figura 14). Acredita-se que uma pressão desta ordem tem efeitos positivos na redução de edemas por exemplo. Para termos uma melhor idéia do valor desta pressão, 10.000 Pa equivalem a 10.000 N em um metro quadrado, o que equivale ao peso de um objeto de 10 kg sobre uma área de 10 cm por 10 cm. Por exemplo, meias de uso terapêutico para tratamento de edemas e problemas circulatórios nos membros inferiores apresentam pressões de compressão variando de 18,4 mmHg a 59 mmHg (KRAEMER et al., 2000). Lembrando que 760 mmHg equivalem a 1 atm ou 100.000 Pa, a pressão à profundidade de 1 m na piscina é de 76 mmHg, maior que a pressão fornecida pelas meias de uso clínico, o que corrobora o relato do efeito clínico positivo da pressão da água sobre o corpo humano.

2.10.2 Efeitos da massagem com jatos d'água embaixo d'água

Além de aumentarmos a profundidade de imersão, outra forma de aumentar a pressão externa sobre o corpo é com jatos d'água embaixo d'água, que são empregados como técnica de massagem. Embora sejam desconhecidos os valores para o acréscimo de pressão, alguns autores reportam efeitos positivos do uso desta técnica na recuperação de atletas após a prática de atividade física intensa. Viitasalo e colaboradores (1995) observaram uma maior recuperação das capacidades físicas e uma menor queixa de dores musculares em atletas que após a atividade física intensa receberam massagem com jatos d'água do que os atletas que não fizeram o tratamento.

2.11 Tensão superficial

É a força entre as moléculas da superfície de um fluido. A força é devida às forças de atração entre as moléculas, na superfície a resultante destas forças é diferente do que no interior do fluido, conforme a Figura 15. A tensão superficial é responsável pela sustentação de pequenos insetos na superfície da água (Figura 16). Para corpos de tamanho e massa semelhantes ao corpo humano, a tensão superficial é uma força muito pequena, desprezível se comparada às forças peso e empuxo para um sujeito boiando próximo à superfície da água.

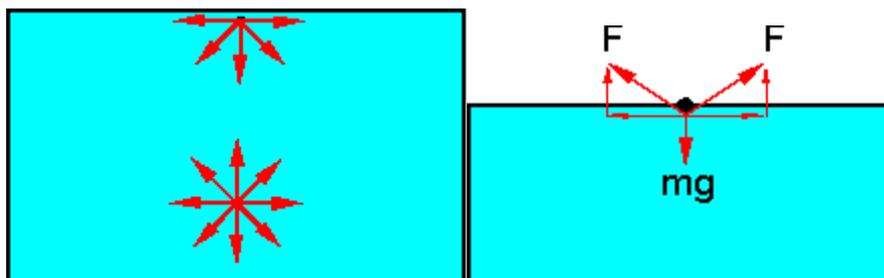


Figura 15. Representação da interação entre as moléculas no meio líquido e a diferença no equilíbrio entre as forças moleculares próximas à superfície.

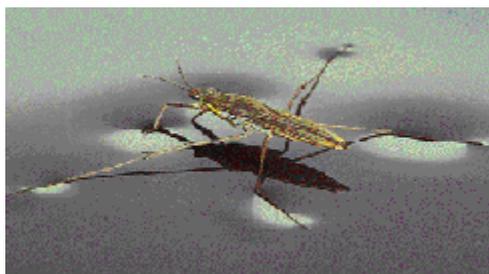
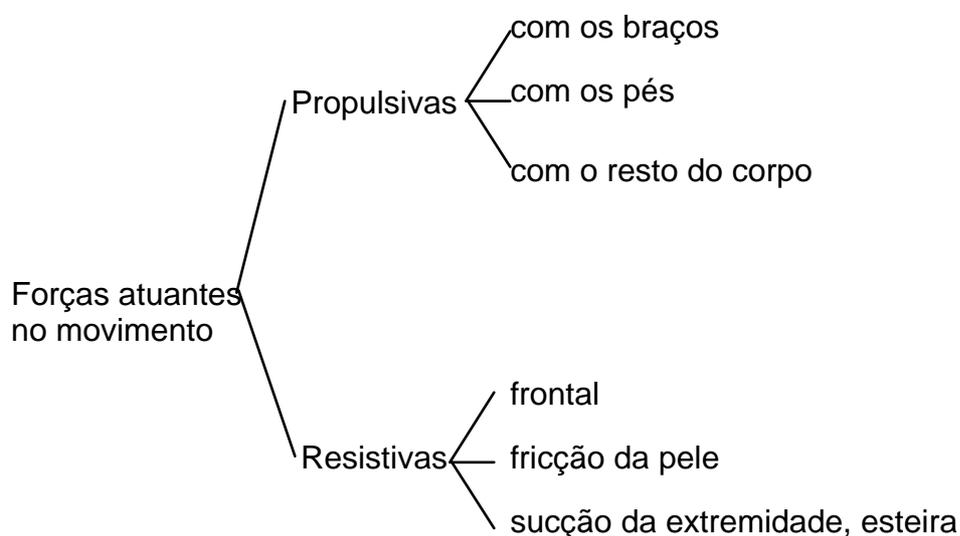
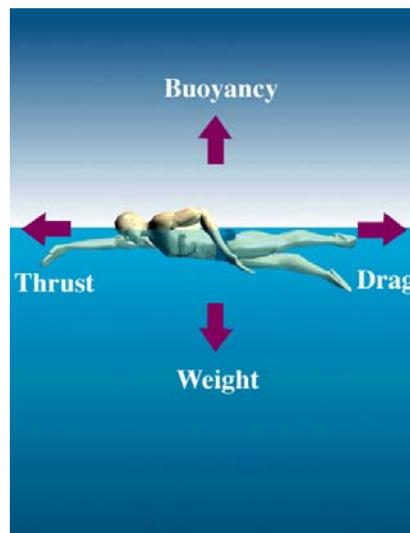


Figura 16. Inseto consegue repousar sobre a superfície da água devido à tensão superficial.

2.12 Forças resistivas

Quanto ao movimento na água, o corpo humano experimenta forças de intensidades diferentes ao do movimento no ar, como correr ou fazer ginástica, por exemplo. O conhecimento das forças que uma pessoa tem que vencer na água para se movimentar é importante para a elaboração de programas de reabilitação e de atividades físicas, quanto ao consumo de energia e stress que esta pessoa pode sofrer. As forças que atuam no corpo em movimento na água podem ser divididas como mostrado no Quadro 1.



Quadro 1. Tipos de forças que atuam no movimento na água. Adaptado de COUNSILMAN (1968).

Quanto às forças resistivas, a força frontal é devida à água que entra em contato frontal com a pessoa; a força de fricção da pele é devida à água próxima à pele e a de sucção da extremidade ou esteira é devido ao fato de que com a locomoção da pessoa na água, logo atrás dela forma-se uma região sem água (de baixa pressão), puxando a pessoa para trás. Esta última só é relevante no design de barcos de corrida ou de carros.

As forças de arrasto são uma combinação de arrasto viscoso e arrasto de pressão. O cálculo da força total de arrasto em um corpo rígido é dado pela equação:

$$F_A = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot C_A \cdot v^2$$

onde ρ é a densidade da água, A é a área da secção transversal do corpo, C_A é o coeficiente de arrasto e v é a velocidade do corpo em movimento. A densidade da água, a secção transversal e a velocidade do corpo podem ser medidas diretamente. O coeficiente de arrasto é um parâmetro crítico e que deve ser determinado experimentalmente. Ele depende da forma do corpo, da rugosidade da superfície e do tipo de fluxo: laminar ou turbulento. Um problema é que o tipo de fluxo é difícil medir.

Em um fluxo laminar a água flui em um só sentido, alinhada. O movimento dos militares em marcha unida pode ser visto como um fluxo laminar. Em um fluxo turbulento não há um sentido único de fluxo mas sim uma agitação devido aos vários sentidos que a água pode tomar. O movimento quase caótico das pessoas andando no centro da cidade pode ser enxergado como um fluxo turbulento.

O coeficiente de arrasto de um corpo em movimento na água é muito maior para um fluxo turbulento do que para um fluxo laminar. Quando o corpo se movimenta devido a sua própria propulsão, a velocidade e o modo de execução do movimento de seus membros podem gerar inconscientemente um fluxo turbulento, aumentando assim a resistênica ao seu movimento. Analisando a equação para a força de resistênica total observamos que ela é aumentada com o quadrado da velocidade do corpo, i.e., quanto maior a velocidade muito maior é a resistênica ao movimento; quanto mais denso o fluido mais difícil o movimento e quanto maior a área frontal do corpo em movimento maior é a resistênica ao seu movimento.

A dependência da força de resistênica com o quadrado da velocidade faz com que esta força tenha magnitudes bastante diferenciadas para diferentes partes de um segmento durante o movimento angular, uma vez que para um movimento angular quanto maior a distância de um ponto em relação ao eixo de giro (a articulação) maior a velocidade linear deste ponto. Matematicamente, esta relação é expressa por $v=\omega r$, onde v é a velocidade linear, ω é a velocidade angular e r é a distância do ponto ao eixo de giro. Isto significa que quanto maior a distância entre o membro e a articulação (esta distância pode ser variada flexionando ou extendendo os segmentos) maior a resistênica da água ao movimento.

2.12.1 Determinação das forças resistivas e coeficiente de arrasto durante o movimento humano

A quantificação das forças resistivas durante movimentos variados é um desafio para os pesquisadores em hidroterapia. Em princípio, as forças resistivas que atuam sobre segmentos do corpo durante um movimento da hidroterapia podem ser experimentalmente medidas utilizando-se sensores de força acoplados aos segmentos. Tal método tem sérias complicações e a melhor maneira é estimar as forças resistivas por meio da equação anterior e a determinação do coeficiente de arrasto, área da secção transversa do corpo e velocidade do corpo. Mesmo esta estimativa é complicada porque exige o conhecimento prévio de uma série de variáveis que nem sempre podem ser determinadas.

Num estudo desta natureza, Pöyhönen e colaboradores (2000) determinaram as forças de arrasto e os coeficientes de arrasto para um modelo de perna e pé humano durante um exercício de extensão do joelho. Uma prótese dos segmentos perna e pé humano foi conectada a um dinamômetro isocinético para medir as forças resistivas durante o movimento (Figura 17).

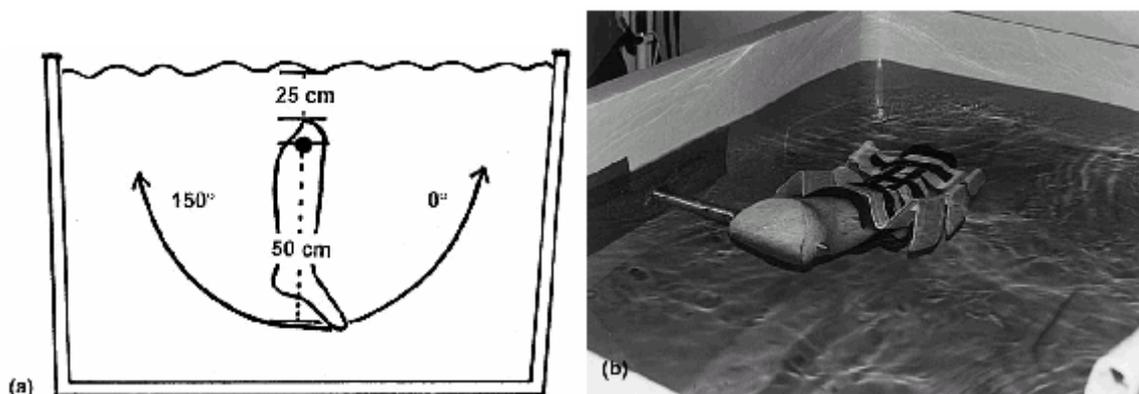


Figura 17. (a) Modelo da perna humana; (b) prótese com o *hydro-boot* para aumentar a área do segmento. (Pöyhönen et al., 2000)

No estudo de Pöyhönen e colaboradores (2000) o dinamômetro isocinético produzia velocidades angulares de 250°/s, 270°/s e 300°/s da prótese. Um dispositivo utilizado em hidroterapia, chamado *hydro-boot*, foi utilizado para estudar os efeitos do aumento da área (30%) da perna sobre as forças e coeficiente de arrasto. As máximas forças de arrasto foram de 61 N (300°/s) para condição somente a prótese e 270 N (270°/s) com o *hydro-boot* (Figura 18). Os valores dos coeficientes de arrasto foram de 0,3 a 0,1 e de 1 a 0,8, respectivamente (Figura 19).

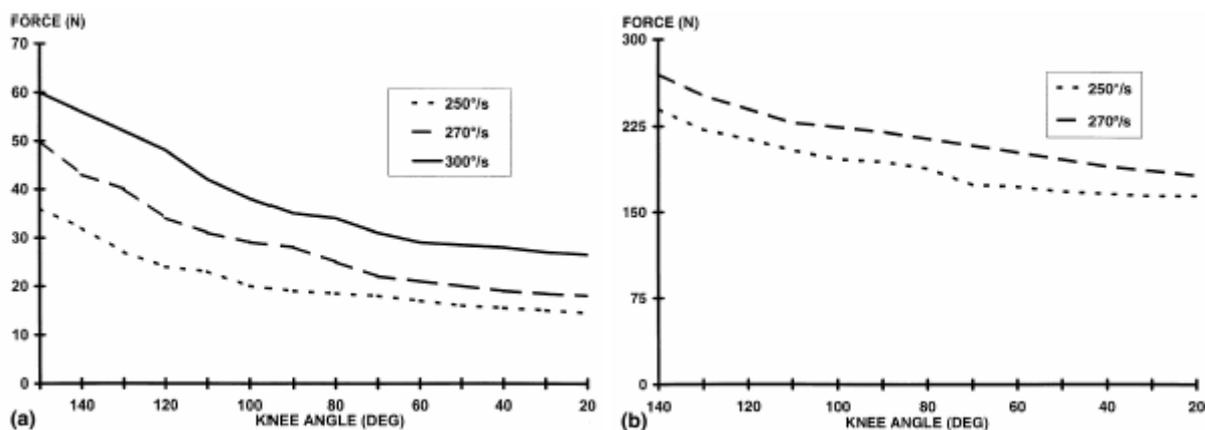


Figura 18. (a) Força de arrasto durante extensão do modelo da perna em função do ângulo do joelho; (b) Forças de arrasto para o modelo da perna com o *hydro-boot*. (Pöyhönen et al., 2000)

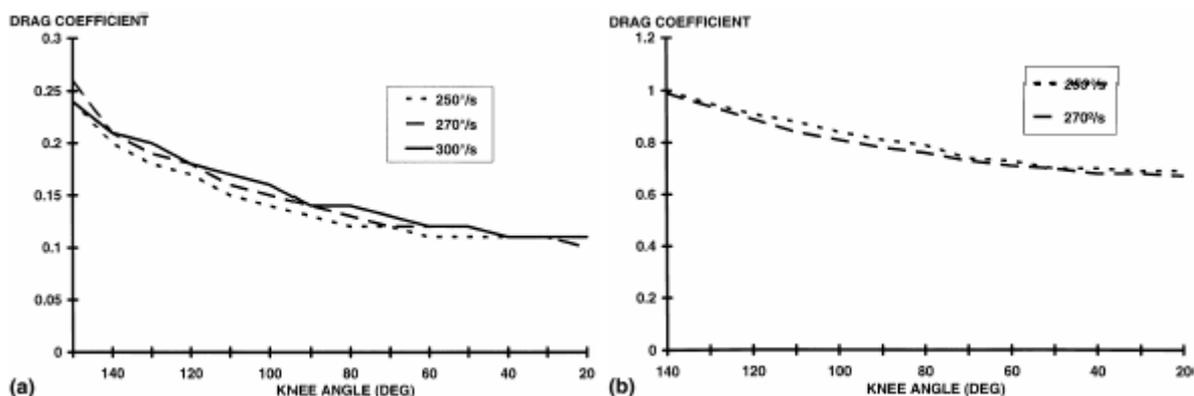


Figura 19. (a) Coeficiente de arrasto durante extensão do modelo da perna em função do ângulo do joelho; (b) Coeficiente de arrasto para o modelo da perna com o *hydro-boot*. (Pöyhönen et al., 2000)

Os autores concluíram que a força de arrasto e o coeficiente de arrasto foram maiores durante o começo da extensão da perna e que o efeito da velocidade foi muito grande sobre os valores das forças de arrasto mas pequeno sobre os valores dos coeficientes de arrasto.

3. CINEMÁTICA DO MOVIMENTO HUMANO NO MEIO AQUÁTICO

Quanto ao tipo de movimento observado, o movimento de um membro do corpo humano pode ser dividido em: isométrico, isotônico e isocinético. Este último, por ser feito em uma velocidade constante e controlada, teria vantagens de lesionar menos a musculatura e a articulação envolvidos. Existem alguns aparelhos de ginástica e de reabilitação fora da água que propiciam um movimento isocinético em condições especiais. Como por exemplo, os aparelhos isocinéticos da Biodex para reabilitação. O efeito da resistência aos movimentos da água acaba produzindo um movimento isocinético do corpo humano, embora haja poucas pesquisas quantitativas nesta área, há um consenso que para velocidades baixas na água (velocidades comumente usadas em exercícios dentro da água) o movimento de um membro do corpo humano tende para um movimento isocinético. Mas, na realidade, a questão fundamental é que devido à resistência da água, os movimentos dentro d'água são executados com uma velocidade menor que fora d'água.

Em função dos supostos benefícios da prática de exercício no meio aquático, diversos aparelhos de ginástica tem sido adaptados para o meio aquático, alguns destes aparelhos podem ser vistos na Figura 20. No entanto, as vantagens do uso destes aparelhos de cadeia cinética fechada na água não são claras, uma vez que a demanda de força muscular pode ser ainda maior nestes aparelhos sub-aquáticos do que nos baseados em terra.



Figura 20. Aparelhos de ginástica para o meio aquático da empresa Neptune Aquatic Systems, Inc. (www.pooltherapy.com). Cada um destes aparelhos custam da ordem de U\$3.000,00.

4. PROPRIEDADES ÓTICAS

4.1 Refração

A luz, ao atravessar um meio diferente, sofre um desvio na sua direção de propagação exatamente na fronteira entre estes dois meios (Figura 21). Este fenômeno é conhecido como refração. Além do desvio, parte do raio incidente é refletido. Quando a luz atravessa do ar para a água o raio transmitido se aproxima da normal à superfície. Quando a luz sai da água para o ar o efeito é inverso, o raio transmitido se afasta da normal. A refração explica porque nossas pernas parecem menores dentro da piscina, por exemplo. O índice de refração da água à 20 °C é 1,33 enquanto que para o ar é 1,0.

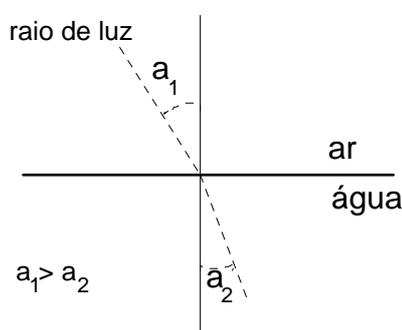


Figura 21. Refração da luz.

4.2 Absorção ótica da água

A absorção ótica pode ser entendida como o quanto de uma determinada luz é absorvida pelo meio em que ela se propaga. Por "determinada luz" entenda-se uma certa cor de luz ou um feixe com certo comprimento de onda. No caso do ar, sua absorção ótica é muito pequena, mas é pronunciável: o sol do meio dia é muito mais intenso que o sol das seis horas da tarde porque às seis horas a luz solar atravessa uma camada mais espessa de atmosfera, sendo portanto mais absorvida (a presença de particulares suspensas no ar, devido à poluição por exemplo, aumenta ainda mais a absorção ótica). A absorção ótica da água é muito maior, sendo que na região do infravermelho (região de emissão da radiação de um forno de Beer, por exemplo) a luz é muito mais absorvida (Figura 22). A menor absorção de luz pela água (maior transmissão) é na região do verde e azul (Figura 22), por isto a água do mar é da cor verde ou azul: a luz do sol ao incidir sobre o mar, atinge o fundo do mar e é refletida voltando para fora do mar. Como menos azul e verde são absorvidos pela água, maiores quantidades destas cores são observadas. O mesmo princípio se aplica ao caso de uma piscina; obviamente se o chão da piscina é azul, isto irá acentuar ainda

mais a observação das cores azul e verde. Produtos químicos adicionados à água, como por exemplo Cloro, podem alterar a cor da água.

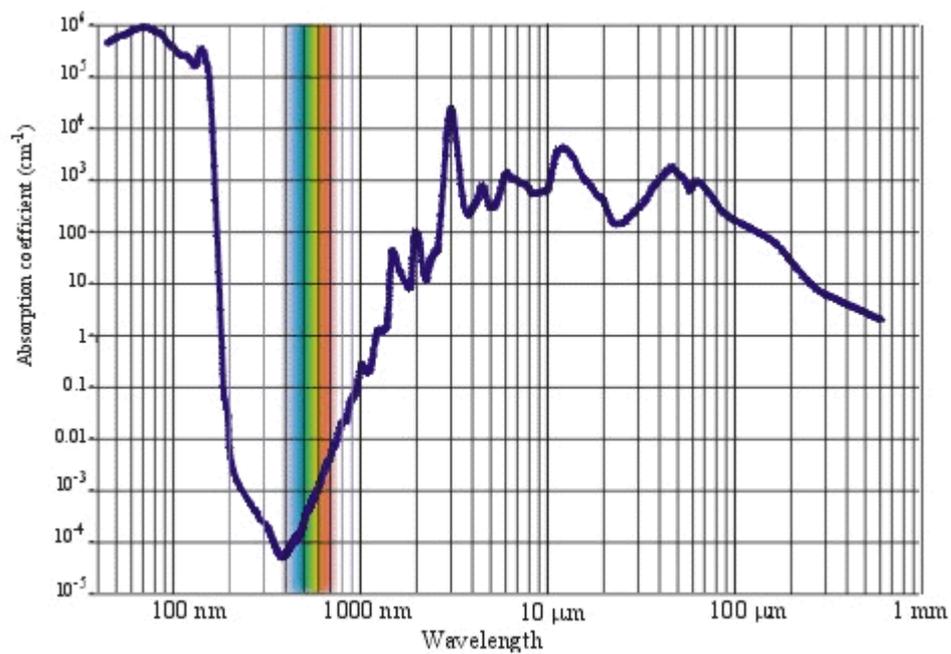


Figura 22. Espectro de absorção óptica da água.

5. PROPRIEDADES ELÉTRICAS

Quanto à condução de eletricidade, a água é muito mais condutora do que o ar. O ar é um material isolante e a água é um material condutor de eletricidade. Por isso não devemos manusear equipamentos elétricos na água. A presença de água no ar (umidade) aumenta a condutividade elétrica do ar. No cotidiano, podemos observar que em dias secos é muito mais provável tomarmos choques ou carregarmos eletricamente o cabelo, devido à eletricidade estática, do que em dias úmidos. Por conseguinte, as propriedades elétricas são alteradas não só dentro da piscina mas também na vizinhança dela, devido à umidade do ar. A constituição química da água influi na sua condutividade elétrica: a água do mar conduz 100 vezes melhor que a água destilada, por exemplo.

6. PROPRIEDADES TÉRMICAS

A condutividade térmica, que é a capacidade de um material conduzir calor, da água é cerca de 0,58 W/m·K e do ar é 0,0257 W/m·K à 20 °C, cerca de 23 vezes menor. Para comparação, a condutividade térmica do alumínio é 235 W/m·K e do vidro é 1,0 W/m·K. Isto é, a água é uma boa condutora térmica enquanto que o ar é um mau condutor, fazendo com que troquemos muito mais calor (e mais rapidamente!) com a água do que com o ar. Por isto, a temperatura da água é muito crítica para a permanência confortável do ser humano na água e deve ser ajustada em função da intensidade do exercício físico. Para a hidroterapia, temperaturas da ordem de 32 °C são geralmente recomendáveis, mas podem chegar a até 35 °C. Para a prática de atividade mais intensas como corrida na água ou natação as temperaturas baixam consideravelmente e são da ordem de 22 a 27 °C. Uma fina camada de ar, por apresentar uma baixa condutividade térmica, atua na verdade como um isolante térmico o que não acontece com a água. Um exemplo na natureza são os animais com pelos e penas: ao ouriçar, os animais estão criando uma fina camada de ar debaixo dos pelos e penas para atuar como um isolante térmico, digamos, um casaco natural! Um exemplo sobre a elevada condutividade térmica da água é que se fizermos um recipiente de papel cartolina, enchermos-o de água e colocarmos sobre o fogo, a água irá esquentar sem o papel queimar! A grandeza física condutividade térmica acaba sendo muito importante na nossa sensação sobre a temperatura dos materiais: no frio, temos a impressão que o chão ou um metal tem uma temperatura muito mais baixa que uma porta de madeira ou um tapete de

borracha. Na verdade, todos os materiais, por estarem no mesmo ambiente, tem a mesma temperatura! O que ocorre é os metais tem uma condutividade térmica muito maior e “roubam” calor do nosso corpo mais rapidamente.

7. BIOMECÂNICA DA MARCHA EM AMBIENTE AQUÁTICO

Embora o meio aquático já venha sendo utilizado como meio eletivo para treinamento físico e reabilitação, há uma carência de estudos mais aprofundados e extensos sobre suas verdadeiras vantagens, desvantagens e precauções (HANSON & BATES, 1996; SKINNER & THOMSON, 1985; HARRISON *et al.*, 1992), ademais, quase a totalidade dos estudos sobre o movimento humano em ambiente aquático se preocupam com parâmetros fisiológicos e não mecânicos; ou seja, há uma vasta literatura a respeito dos efeitos do meio aquático e também de exercícios realizados no mesmo, em relação à pressão arterial (MCMURRAY, FIESELMAN & AVERY, 1988; RISCH, KOUBENEC & BECKMANN, 1978), ritmo cardíaco (BUTTS, TUCKER & GREENING, 1991; SVEDENHAG & SEGER, 1992; CASSADY & NIELSEN, 1992; COSTILL, CAHILL & EDDY, 1967), gasto energético (GLEIN & NICHOLAS, 1989; GRAIG & DVORAK, 1968), enfim, respostas metabólicas ao meio (BISHOP, FRAZIER, SMITH & JACOBS, 1989; PRAMPERO, 1986; HEYNEMAN & PREMO, 1992; BENNET, 1951). Porém, quando se procura estudos relacionando variáveis biomecânicas como força de reação do solo, estimativas de momentos de força articular, eletromiografia, goniometria e outras, percebe-se que praticamente não há estudos neste sentido, muito embora, há muito tem-se divulgado os benefícios da reabilitação e do treinamento esportivo em ambiente aquático e suas vantagens como um meio que por um lado, oferece menor impacto durante as fases de apoio e por outro, exige maior força propulsiva do aparelho locomotor para que a força de resistência da água seja vencida (HARRISON *et al.*, 1992; YAMAMOTO *et al.*, 1995; YANO *et al.*, 1995).

Provavelmente, a escassez de literatura específica se dá por dificuldades na adaptação do instrumental necessário à coleta de dados em ambiente aquático e não por desinteresse da comunidade científica ou mesmo dos profissionais da área de reabilitação que se vêem diariamente utilizando um recurso pouco estudado.

Em um dos poucos estudos que se propuseram a medir parâmetros biomecânicos da marcha em ambiente aquático, YAMAMOTO *et al.* (1995) compararam o padrão de resposta da força de reação do solo para o andar dentro e fora da água e a variação angular das articulações do joelho, quadril e tornozelo em três diferentes velocidades: normal, rápida e lenta. Para este estudo, foram obtidos dados de três sujeitos voluntários e sem história pregressa de lesão do aparelho locomotor. As três diferentes velocidades de deslocamento foram auto selecionadas, permitindo-se que os sujeitos andassem por alguns minutos dentro e fora da água e estabelecessem o que para eles fosse o andar em velocidade “normal”. Para o andar em velocidade rápida ou lenta, a orientação foi para que o fizessem tendo como referência o andar em velocidade “normal”.

O número de passadas obtidas para cada uma das diferentes situações foi de 5 passadas e a profundidade escolhida foi fixada em 120 cm para todos os 3 sujeitos.

A Figura 23 exemplifica os valores de força de reação do solo nos dois ambientes e nas três diferentes velocidades, além de mostrar a variação angular das articulações do quadril, joelho e tornozelo.

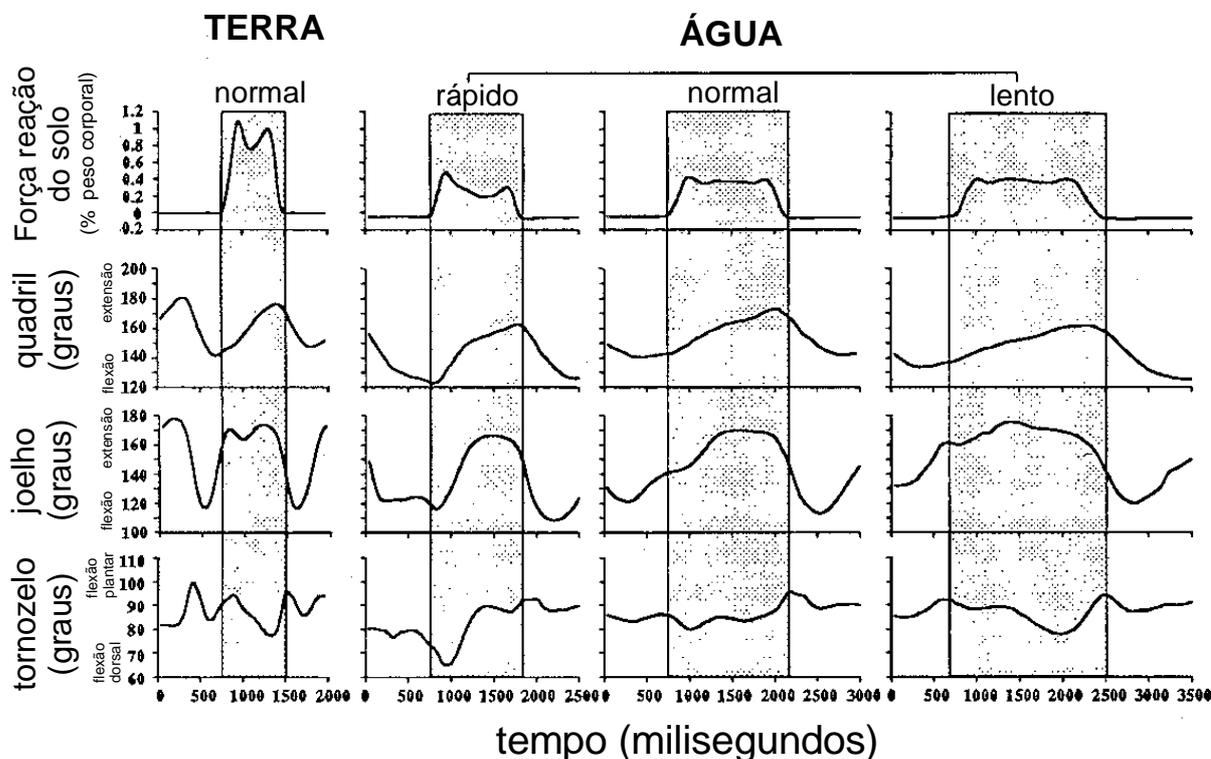


Figura 23. Exemplo típico de força vertical de reação do solo e variação angular das articulações do membro inferior. As áreas mais escuras representam a fase de apoio simples para cada condição ilustrada (adaptado de YAMAMOTO *et al.*, 1995).

Como resultado deste estudo, YAMAMOTO *et al.* (1995) observaram padrões diferentes de movimento das articulações do joelho e tornozelo para as velocidades rápida e normal quando da marcha realizada dentro da água, em comparação com a marcha realizada em ambiente terrestre; ao passo que para a articulação do quadril, em qualquer velocidade e ambiente e mesmo para as articulações do joelho e tornozelo em velocidade lenta, os padrões mantiveram-se similares para ambos ambientes, como mostra a Figura 23. Ainda na Figura 23 podemos observar que no instante do toque do calcanhar com o solo o joelho está mais flexionado quando o indivíduo está em ambiente aquático. Contudo, mesmo no ambiente aquático, observa-se que a flexão de joelho em diferentes velocidades aumenta à medida que a velocidade de deslocamento aumenta. Ou seja, da velocidade lenta para a rápida, houve um aumento de flexão do joelho no instante em que o calcanhar

entrou em contato com o solo. Embora o autor não tenha apresentado estas diferenças através de ferramentas estatísticas, notam-se as diferenças nos padrões através das figuras e seus valores absolutos. Nota-se também, na Figura 23, que há alteração do valor da flexão dorsal do tornozelo no instante em que o calcanhar toca o solo, mostrando um aumento da flexão dorsal à medida que há aumento da velocidade em ambiente aquático. Outro dado apresentado pelo estudo foi a alteração da amplitude total do movimento, mostrando que em ambiente aquático o deslocamento em velocidade alta provoca maiores variações angulares do que em ambiente terrestre ($90,29 \pm 3,62$ graus para o andar na terra e $120,99 \pm 14,69$ graus para o andar rápido na água). Porém, em velocidades baixas e normais, as amplitudes totais de movimento permanecem próximas ($88,26 \pm 10,64$ graus para o andar na água em velocidade lenta e $88,18 \pm 6,95$ graus para o andar na água em velocidade normal).

De acordo com estes resultados, os padrões de movimento das articulações dos membros inferiores sofrem alterações na fase de apoio, dependendo do ambiente em que a marcha é realizada e da velocidade de deslocamento. Segundo o mesmo autor, o aumento na amplitude total de movimento articular das articulações do membro inferior durante o andar em ambiente aquático em velocidades altas é resultado da maior resistência do meio ao deslocamento e à maior perturbação do sistema pelo próprio meio, sugerindo que a reabilitação em ambiente aquático é vantajosa, não só como forma de minimizar o impacto devido à deposição de carga sobre os membros inferiores, mas também por proporcionar condições de treinamento de força, devido à maior resistência oferecida pelo meio.

Em outro estudo sobre variáveis biomecânicas da marcha realizada em ambiente aquático, YANO *et al.* (1995) pesquisaram as mudanças do padrão da intensidade do sinal Eletromiográfico dos m. soleus, m. tibial anterior e m. gastrocnêmio medial durante o andar dentro e fora da água. O objetivo do trabalho era interpretar as alterações ocorridas na intensidade do sinal EMG, não somente para o mesmo músculo nas duas situações, mas as possíveis alterações de padrões ocorridas no conjunto. Ou seja, possíveis alterações no que se refere a ordem e a intensidade com que cada músculo participa do movimento de andar em ambientes diferentes. Os sinais EMG foram estudados durante a fase de apoio da marcha, cuja determinação foi possível devido a utilização de uma plataforma de força subaquática. A Figura 24 mostra a intensidade do sinal EMG dos músculos tibial anterior (TA), gastrocnêmio medial (GAS) e soleus (SOL) e a força de reação do solo durante a fase de apoio da marcha executada em ambiente terrestre a velocidade normal e em ambiente aquático em velocidade rápida e lenta.

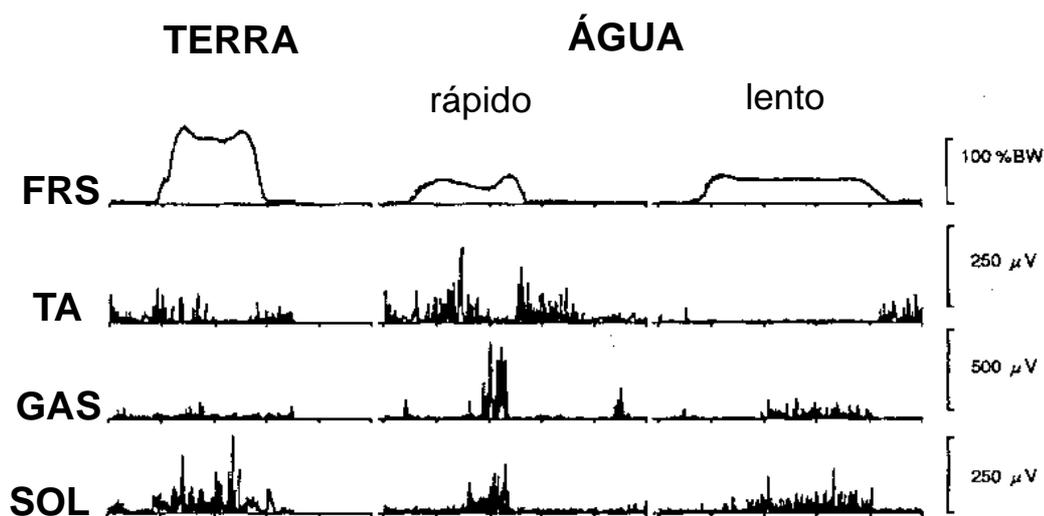


Figura 24. Exemplo típico de força de reação do solo e sinal eletromiográfico retificado durante o andar em ambiente terrestre e aquático em velocidade rápida e lenta (adaptado de YANO *et al.*, 1995).

Como mostra a Figura 24, mesmo de forma subjetiva, podemos observar que o m. tibial anterior teve a intensidade do sinal EMG aumentada, tanto em relação a ele mesmo, quanto em relação aos outros músculos quando a velocidade passou de lenta para rápida em ambiente aquático. Já o m. gastrocnêmio medial teve a amplitude do sinal EMG aumentada ao passar da velocidade lenta para a rápida em ambiente aquático. Este aumento de intensidade do sinal EMG do m. gastrocnêmio também fica claro ao comparar a amplitude do sinal EMG durante o andar em velocidade rápida dentro da água com a velocidade normal em ambiente terrestre. Uma vez que para o m. soleus, ao contrário do que ocorreu com o m. gastrocnêmio medial, houve uma diminuição da intensidade do sinal EMG, o autor sugere que este passa a ser o principal músculo responsável pela flexão plantar em detrimento daquele, quando há mudança do ambiente terrestre para o aquático.

Tendo em vista que um dos principais motivos do uso da piscina como ambiente propício para reabilitação é o fato de haver diminuição da sobrecarga dos membros inferiores nas fases de apoio da marcha, HARRISON *et al.* (1992) realizaram um estudo cujo objetivo era identificar os limites máximos atingidos de força de reação do solo durante o andar subaquático em diferentes níveis de profundidade e em velocidade rápida e lenta e compará-los com os valores obtidos na postura ortostática. Para tanto, desenvolveram uma plataforma de força subaquática para adquirir valores correspondentes à força de reação do solo.

Novo sujeitos foram usados no experimento sendo que os resultados estão apresentados na forma de porcentagem de imersão do corpo pela porcentagem de peso corporal adquirida via plataforma de força na postura ortostática (Figura 25), andando em velocidade lenta (Figura 26A) e em velocidade rápida (Figura 26B) em diferentes níveis de submersão, considerando o valor percentual relativo ao peso corporal.

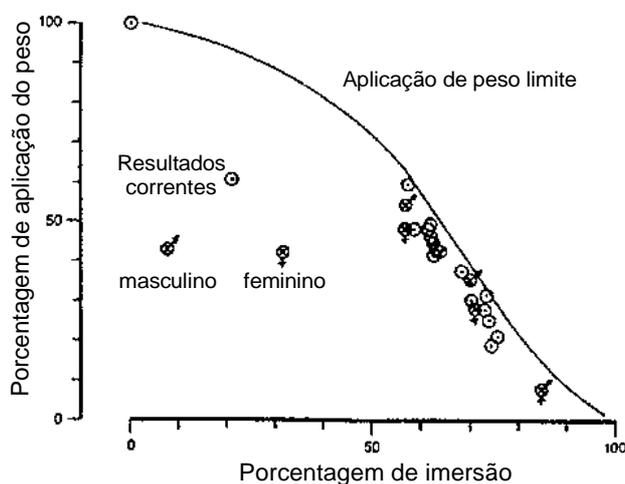


Figura 25. Força de reação estática em ambiente aquático (adaptado de HARRISON *et al.*, 1992).

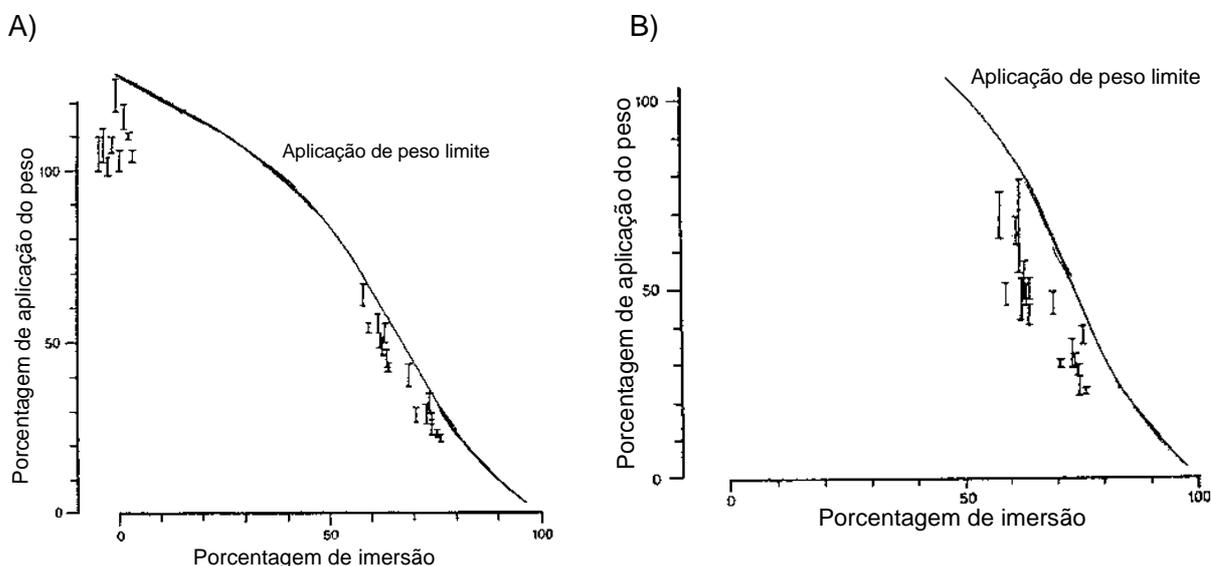


Figura 26. A) Força de reação para o andar em velocidade lenta em ambiente aquático. B) Força de reação para o andar em velocidade rápida em ambiente aquático (adaptado de HARRISON *et al.* 1992).

Pelo fato de ser a determinação da quantidade máxima de peso possível de ser atingida em diferentes níveis de imersão e velocidades da marcha o objetivo do estudo, os

autores estipularam, tendo como referência acidentes anatômicos de fácil identificação, a porcentagem do peso corporal de acordo o nível de submersão (Figura 27).

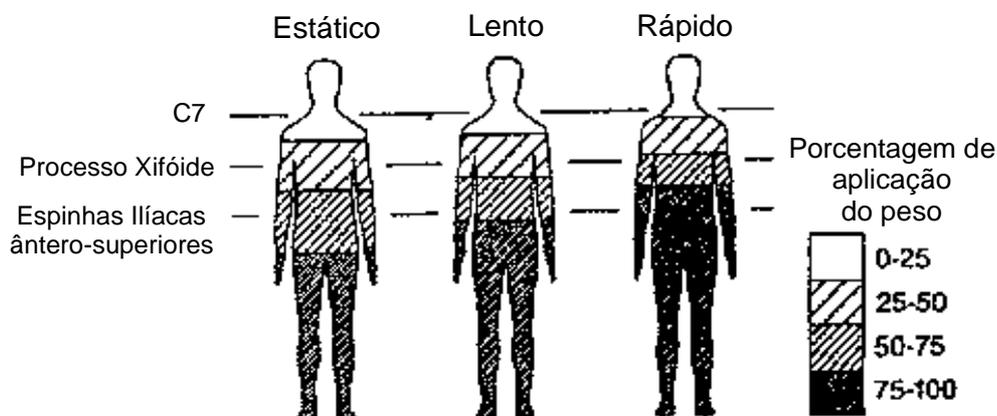


Figura 27. Força de reação do solo em situação estática e durante o andar em diferentes níveis de imersão (adaptado de HARRISON *et al.*1992).

Com base nos resultados apresentados nas Figura 25, Figura 26 e Figura 27, pode-se saber o grau de força de reação atingido ao caminhar em diferentes níveis de imersão.

7.1.1 Análise do andar de adultos no ambiente terrestre e no ambiente aquático- Experimentos no Laboratório de Biofísica da USP

A prática de atividade física no meio líquido tem se tornado cada vez mais comum. Porém, aspectos biomecânicos, tais como padrões cinemáticos, cinéticos e eletromiográficos, ainda são poucos explorados neste meio. Vários motivos colaboram para este fato, dentre eles, o desafio tecnológico. Com base nestas informações, uma análise das características biomecânicas do andar em ambiente aquático foram realizadas no presente estudo.

Dez adultos e dez idosos andaram na terra e na água com o nível da água na altura do processo xifóide (Figura 28). Uma plataforma de força à prova d'água (AMTI OR6-WP) registrou as componentes vertical e horizontal da força de reação dos solo (FRS). Uma câmera de vídeo digital (JVC GR-DVL 9800) foi colocada dentro de um invólucro (IKELITE Digital) e foi posicionada no plano sagital à passarela. Pequenas marcas foram afixadas na parte inferior e lateral do tronco, nas articulações do quadril, joelho e tornozelo e no quinto metatarso dos participantes, para registro dos sinais cinemáticos. Um sistema de eletromiografia por telemetria (Noraxon) foi utilizado, e eletrodos de superfície foram afixados no ventre muscular do reto abdominal, eretor espinhal, vasto lateral, tensor da

fáscia lata, bíceps femoral, tibial anterior e gastrocnêmio medial, para registro dos sinais eletromiográficos. Dez tentativas foram coletadas e o mesmo procedimento foi repetido fora da água (em terra), mantendo as mesmas marcas e eletrodos. O software APAS (Ariel, Inc.) foi utilizado para análise dos dados cinemáticos e o software Matlab (The Math Works, Inc.) foi utilizado para as demais análises.

A redução aparente do peso dos sujeitos foi em média 63% para os idosos e adultos. A velocidade média do andar foi de 1.45 ± 0.02 m/s fora d'água e 0.49 ± 0.01 m/s dentro d'água para os adultos. Para os idosos, estes valores foram 1.26 ± 0.02 m/s fora d'água e 0.49 ± 0.01 m/s dentro d'água.

A velocidade angular das três articulações foram menores na água do que na terra, sendo que os padrões de movimento das três articulações não foram diferentes nos dois ambientes (**Figura 29**).

Com relação aos componentes da FRS (**Figura 30**), a magnitude do componente vertical foi cerca de 70% menor na água do que na terra e os componentes horizontais apresentaram diferentes padrões dentro da água e com valores reduzidos.

A atividade eletromiográfica (**Figura 31**) dos oito músculos investigados apresentaram maior validade inter- e intra-sujeito na água do que na terra. O peso aparente reduzido e a resistência da água podem ter contribuído para as diferenças encontradas nas variáveis analisadas. Já as invariâncias observadas nos padrões cinemáticos podem ser fruto da adaptabilidade dos indivíduos para andar nos dois ambientes.

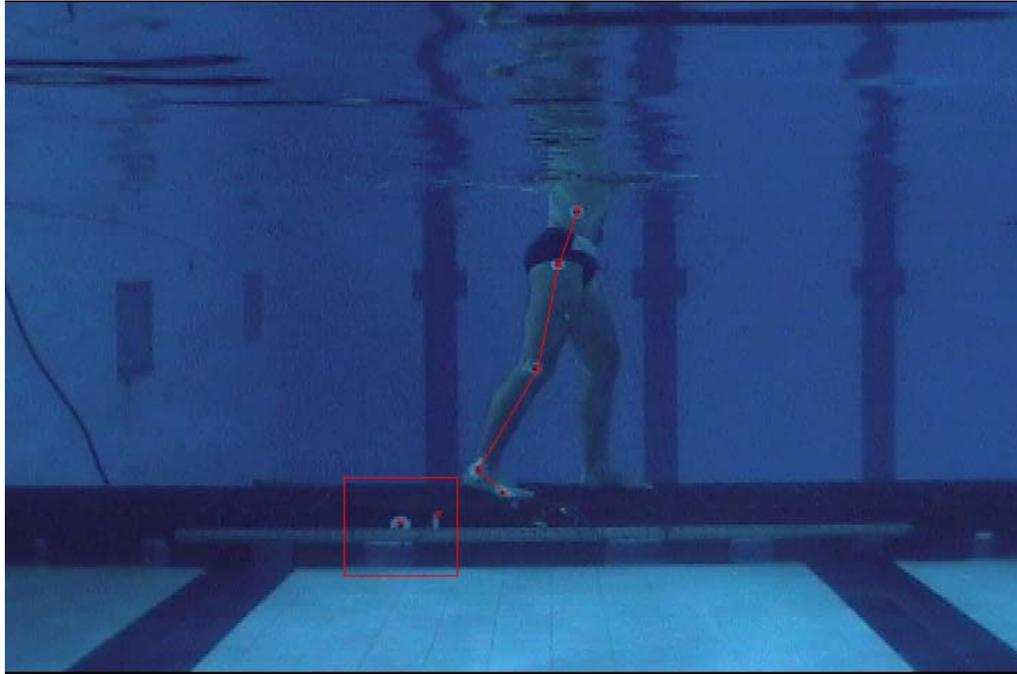


Figura 28. Sujeito andando na água durante coleta experimental. A figura mostra a plataforma de 5 m de extensão onde a placa de força se encontra no meio dela e os pontos digitalizados para este quadro.

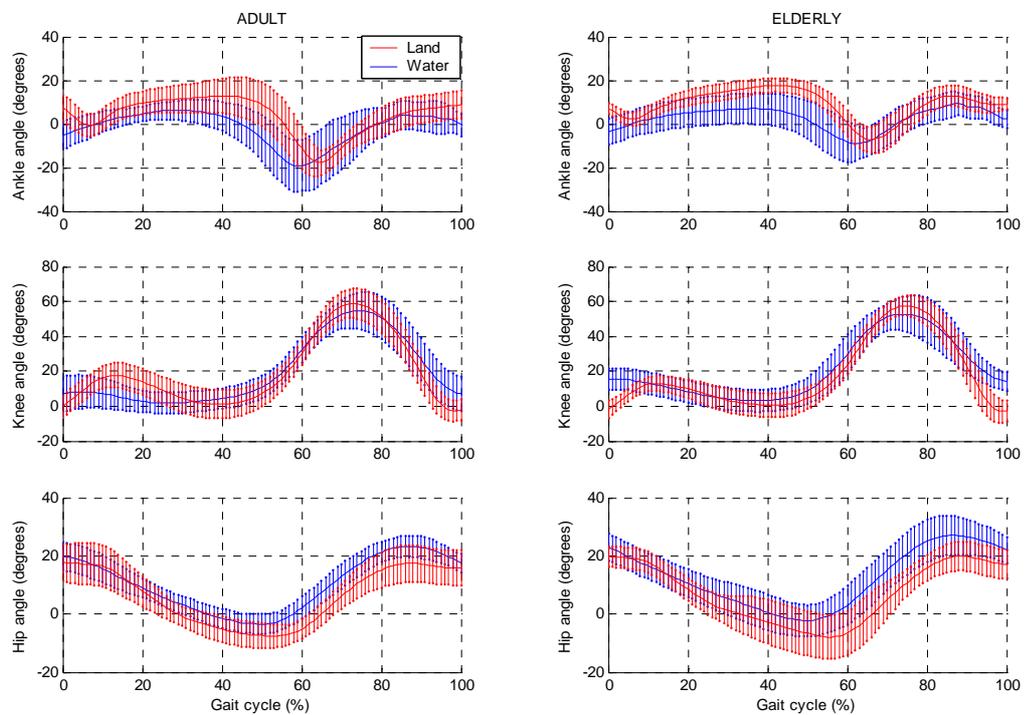


Figura 29. Curva média e desvio padrão para o ângulo articular do tornozelo, joelho e quadril durante uma passada completa (definida como dois

toques sucessivos do mesmo calcanhar) durante o andar dentro e fora d'água para adultos e idosos. (N=10).

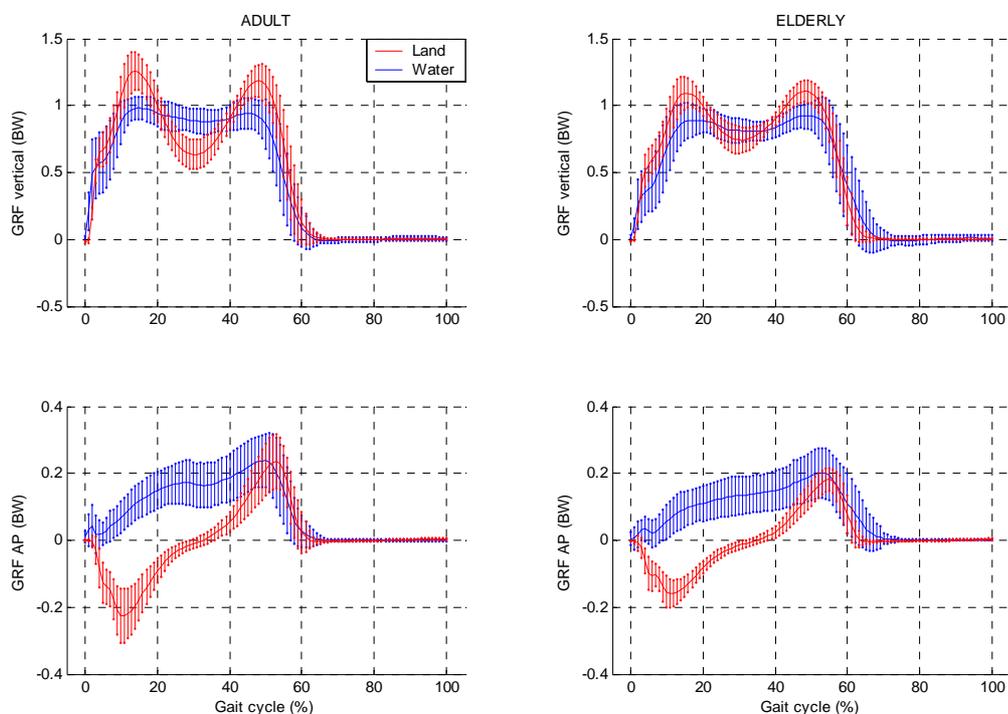


Figura 30. Curvas médias e desvio padrão para a força reação do solo nas direções antero-posterior (AP) e vertical durante uma passada completa (definida como dois toques sucessivos do mesmo calcanhar) durante o andar dentro e fora d'água para adultos e idosos. (N=10)

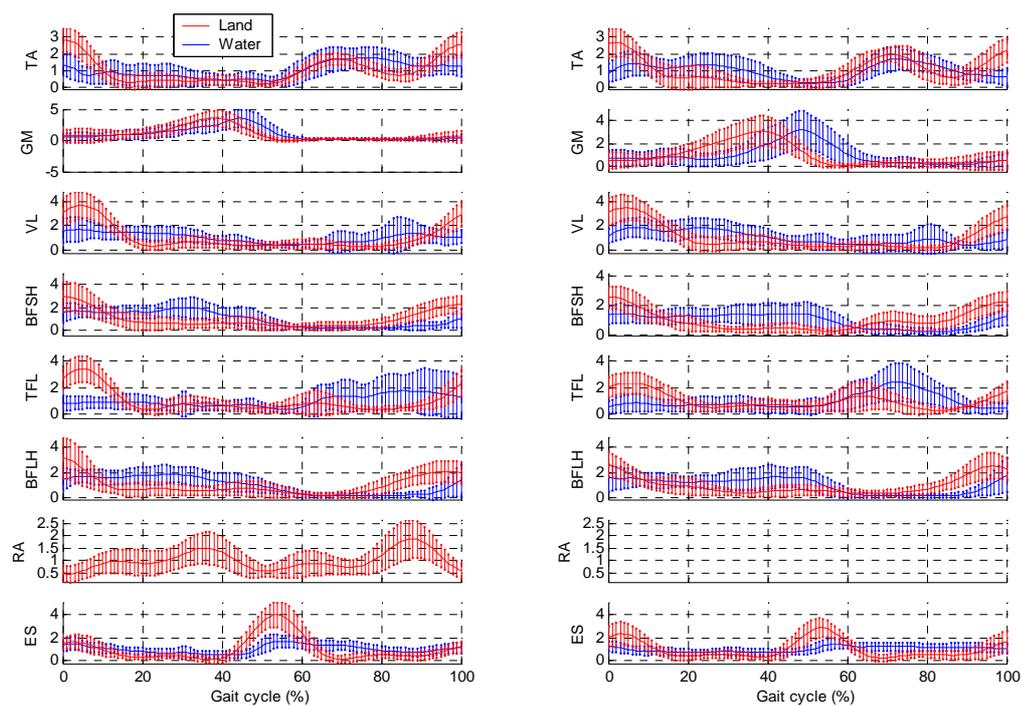


Figura 31. Curvas médias e desvio padrão para a atividade eletromiográfica durante o andar dentro e fora d'água para adultos e idosos. (N=10)

8. REFERÊNCIAS

- BENNETT, R.L. Water as a medium for therapeutic exercise. *New York State Journal of Medicine*. P.513-15, 1951.
- BISHOP, P.A.; FRAZIER, S.; SMITH, J.; JACOBS, D. Physiologic Responses to Treadmill and Water Running. *The Physician and Sports Medicine*. V.17, n.2, p.87-93, 1989.
- BUTTS, N.K.; TUCKER, M.; GREENING, C. Physiologic responses to maximal treadmill and deep water running in men and women. *The American Journal of Sports Medicine*. V.19, n.6, p.612-14, 1991.
- CAMPION, M.R. Hydrotherapy (cap. 16). In: *Sports Physiotherapy: Applied Science and Practice*. Zuluaga, M. et al.. Churchill Livingstone, Melbourne, Austrália, (1995).
- CASSADY, S.; NIELSEN, D.H. Cardiorespiratory Responses of Healthy Subjects to Calisthenics Performed on Land Versus in Water. *Physical Therapy*. V.72, n.7, p.62-68, 1992.
- COSTILL, D.L.; CAHILL, P.J.; EDDY, D. Metabolic responses to submaximal exercise in three water temperatures. *Journal of Applied Physiology*. V.22, n.4, p.628-32, 1967.
- COUNSILMAN, J.E. *Science of Swimming*. Editora Prentice Hall, 1968.
- DOWZER, C.N., REILLY, T., CABLE, N.T. Effects of deep and shallow water running on spinal shrinkage. *British Journal of Sports Medicine*, v. 32, p. 44-48, 1998.
- Edlich, R.F., Towler, M.A., Goitz, R.J., Wilder, R.P., Buscbacher, L.P., Morgan, R.F., Thacker, J.G. *Bioengineering Principles of Hydrotherapy*. J. Burn and Care Rehabilitation. V.8, n.6, p.580-584, 1987.
- GLEIN, G.W.; NICHOLAS, J.A. Metabolic costs and heart rate responses to treadmill walking in water at different depths and temperatures. *The American Journal of Sports Medicine*. V.17, n.2, p.248-52, 1989.
- GRAIG, A.B. JR.; DVORAK, M. Thermal regulation of man exercising during water immersion. *Journal of Applied Physiology*. V.25, n.1, p.28-35, 1968.
- HANSON, N.; BATES, A. *Aquatic exercise therapy*. Saunders, 1996.
- HARRISON, R. A.; HILLMAN, M.; BULSTRODE, S. Loading of the Lower Limb when Walking Partially Immersed: Implications for Clinical Practice. *Physiotherapy*, v. 78, n.3, p. 164-166, 1992.
- HEYNEMAN, C.A.; PREMO, D.E. A "Water walkers" Exercise Program for the Elderly. *Journal of the Health Service*. V.107, n.2, p.213-17, 1992.

- KRAEMER, W.J., VOLEK, J.S., BUSH, J.A., GOTSHALK, L.A., WAGNER, P.R., GOMEZ, A.L., ZATSIORSKY, V.M., DUARTE, M., RATAMESS, N.A., MAZZETTI, S.A., SELLE, B.J. Influence of compression hosiery on physiological responses to standing fatigue in women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32, 1849-1858, 2000.
- MCLEAN, S.P., HINRICHS, R.N. (2000) Buoyancy, gender, and swimming performance. *J. Applied Biomechanics*, 16, 248-263, 2000.
- MCMAHON, T.A. *Muscles, reflexes, and locomotion*. Princeton University Press, 1984.
- MCMURRAY, R.G.; FIESELMAN, C.C.; AVERY, K.E. Exercise hemodynamics in water and on land in patients with coronary artery disease. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation*. V.8, p.68-75, 1988.
- PÖYHÖNEN, T., KESKINEN, K.L., HAUTALA, A., MÄLKIÄ, E. Determination of hydrodynamic drag forces and drag coefficients on human leg/foot model during knee exercise. *Clinical Biomechanics*, 15, p.256-260, 2000.
- PRAMPERO, P.E. The Energy Cost of Human Locomotion on Land and in Water. *Journal of Sports Medicine*. V.7, p.55-72, 1986.
- RISCH, W.D.; KOUBENEC, H.J. BECKMANN, U. The effect of graded immersion on heart volume, central venous pressure, pulmonary blood distribution, and heart rate in man. *Pflugers arch*. V.374. p.115-118, 1978.
- SKINNER, A.T. ; THOMSON, A.M. *Duffield: Exercícios na água*. 3 ed. Manole, 1985.
- SVEDENHAG, J.; SEGER, J. Running on land and in water: comparative exercise physiology. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1992.
- VIITASALO, J.T., NIEMELA, K., KAAPPOLA, R., KORJUS, T., LEVOLA, M., MONONEN, H.V., RUSKO, H.K., TAKALA, T.E. Warm underwater water-jet massage improves recovery from intense physical exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*;71(5):431-8, 1995.
- WINTER, D.A: *The biomechanics and motor control of human gait: normal, elderly and pathological*, 2ed. Waterloo, University of Waterloo Press, 1990.
- YAMAMOTO, S.; NAKAZAWA, K.; YANO, H. Lower Limb Kinematics During Walking in Water, *Book of Abstracts XVth Congress ISB*, p.1012-1013, 1995.
- YANO, H.; NAKAZAWA, K.; YAMAMOTO, S. Activation Patterns of Human Ankle Muscles During Walking in Water, *Book of Abstracts XVth Congress ISB*, p.1018-1019, 1995.
- Zamparo, P., G. Antonutto, et al. (1996). "Effects of body size, body density, gender and growth on underwater torque." *Scand J Med Sci Sports* 6(5): 273-80.

