

**ELISA DELL' ANTONIO**

**ANÁLISE BIOMECÂNICA DE SALTOS EM PROFUNDIDADE  
NO SOLO E NA ÁGUA COM DIFERENTES NÍVEIS DE  
IMERSÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em Ciências do Movimento Humano

Orientador: Prof. Dr. Helio Roesler  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Caroline Ruschel

**FLORIANÓPOLIS, SC**

**2014**

## FICHA CATALOGRÁFICA

D357a

Dell' Antonio, Elisa

Análise biomecânica de saltos em profundidade no solo e na água com diferentes níveis de imersão / Elisa Dell' Antonio. -- 2014.

p. : il. 21 cm

Orientador: Helio Roesler.

Coorientadora: Caroline Ruschel

Dissertação (mestrado)-Universidade do Estado de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, 2014

Bibliografia

1. Biomecânica. 2. Salto (Atletismo). 3. Pliometria. I. Roesler, Helio. II. Ruschel, Caroline. III. Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano. IV. Título.

CDD: 612.76 - 20.ed.

Catálogo na publicação elaborada pela Biblioteca do  
CEFID/UDESC

**ELISA DELL' ANTONIO**

**ANÁLISE BIOMECÂNICA DE SALTOS EM PROFUNDIDADE  
NO SOLO E NA ÁGUA COM DIFERENTES NÍVEIS DE  
IMERSÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano da Universidade do Estado de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em Ciências do Movimento Humano – Desempenho no Esporte.

**Banca Examinadora:**

Orientador: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Helio Roesler  
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Coorientadora: \_\_\_\_\_

Prof<sup>a</sup> Dra. Caroline Ruschel  
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Membro: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Ricardo Dantas de Lucas  
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Membro: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Fabrizio Caputo  
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Membro: \_\_\_\_\_

Prof<sup>a</sup> Dra. Suzana Matheus Pereira  
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

**Florianópolis, 29 de julho de 2014.**



## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus familiares. Ao meu Pai e minha Mãe por toda confiança, incentivo e suporte desde sempre. Por deixarem a caçula vir para a capital buscar um sonho louco. Pelos exemplos distintos que moldaram quem sou. Aos meus irmãos, Cesar e Enzo, pela (super)proteção e parceria e principalmente pela certeza que sempre posso contar com vocês, independente da distância! Amo vocês!

Ao Juliano pelo incentivo, atenção, carinho e tantos outros sentimentos bons que extraem o melhor de mim! Ao seu lado as coisas são mais agradáveis e fáceis! Obrigada por tudo sempre! Te amo muito! Tamó junto!!!

Aos amigos do Laboratório de Biomecânica Aquática. Vocês foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho! Agradeço ao Marcelo Pinto pela parceria desde o início desta jornada e principalmente durante a coleta. À Heiliane Fontana pelas conversas, opiniões e ajudas certas nos momentos certos. Ao Alessandro Hauptenthal, que mesmo sem tempo, encontrou tempo para auxiliar com as rotinas. Ao Marcel Hubert pelas conversas técnicas, pela opinião algumas vezes conflitante e pela serenidade em todos os momentos. À Caroline Ruschel pela parceria, por todos os auxílios e pela oportunidade de sempre aprender algo a mais. À professora Suzana Pereira por suas palavras e atitudes firmes e delicadas. À Ana Moratelli, Gustavo Pereira, Marina Fôes, Geison Reitz, Victor Feldman e Deise Oliveira por toda colaboração e ajuda. Que as amizades sigam independentemente dos caminhos que tracemos no futuro.

Ao professor Helio Roesler por toda confiança e por cada ensinamento. Obrigada pela oportunidade de aprender e pela contribuição ímpar na minha formação profissional e pessoal. Agora sei, cada vez mais, que o caminho é longo para quem não tem atalhos.

Ao professor Rudney da Silva pela imensa disposição em ajudar e literalmente colocar as mãos à obra. Aos senhores Luciano, Orlando e Beto pelo compromisso na fabricação, instalação e manutenção do tanque.

Aos técnicos e atletas que aceitaram participar desta pesquisa.  
Obrigada pela solicitude e pela colaboração.

Aos meus amigos, em especial aos meus amigos/irmãos do voleibol Renato e Bio pela parceria dentro e fora das quadras, pela amizade e por um ombro sempre disponível!

A todos que contribuíram de alguma maneira para o desenvolvimento deste trabalho, os meus sinceros agradecimentos!

## RESUMO

DELL' ANTONIO, Elisa. **Análise biomecânica de saltos em profundidade no solo e na água com diferentes níveis de imersão.** 2014. 176 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Movimento Humano – Área: Desempenho no Esporte) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, Florianópolis, 2014.

O objetivo deste estudo foi analisar o efeito da imersão sobre as características cinéticas e cinemáticas de saltos em profundidade realizados no solo e na água com diferentes níveis de imersão. Participaram da pesquisa 26 atletas de voleibol e atletismo, do sexo masculino ( $18,2 \pm 2,6$  anos;  $1,87 \pm 0,1$  m de altura; e  $74,8 \pm 9,0$  kg de massa corporal). Foram analisados os valores máximos da força vertical nas subfases excêntrica e concêntrica do contato e na aterrissagem, o impulso nas subfases excêntrica e concêntrica, o tempo de contato, o tempo de contato excêntrico e concêntrico e o tempo de voo durante a execução de saltos em profundidade máximos partindo de 0,4 m no solo e em quatro diferentes níveis de imersão (ponto médio da tíbia, côndilo lateral da tíbia, ponto médio da coxa e espinha íliaca ântero-superior). Foi utilizada uma plataforma de força conectada a um sistema de aquisição de dados, um eletrogoniômetro 2-D e um sincronizador de sinais. Os dados foram processados através de rotinas específicas no *software* Scilab 4.1.2. Foram calculados valores médios das três repetições de cada sujeito em cada uma das condições de análise, e o efeito do nível de imersão foi analisado a partir de estatística descritiva e inferencial através de testes para medidas repetidas e seus respectivos *post-hoc* ( $p < 0,05$ ). Os resultados evidenciam menores valores de força máxima vertical nas subfases excêntrica e concêntrica da queda e na fase de aterrissagem com aumento do nível de imersão. No entanto, na maioria dos casos, níveis baixos de imersão (ponto médio da tíbia e côndilo lateral da tíbia) não foram suficientes para atenuar significativamente estas forças. Em geral, reduções significativas das forças ocorreram a partir do nível de imersão do ponto médio

da coxa, em comparação ao solo. O aumento do nível de imersão ocasionou redução no impulso durante a subfase excêntrica e maior duração desta fase. Já para o impulso concêntrico e o tempo de contato concêntrico não foram encontradas diferenças entre a condição solo e as demais. Para o tempo de contato e para o tempo de voo foi constatado que maiores níveis de imersão ocasionam maiores valores dessas variáveis. Os resultados indicam que o treinamento pliométrico no ambiente aquático, devido às diferenças apresentadas entre as execuções dos saltos no solo e na água (nos quatro níveis de imersão analisados), não parece adequado para substituir integralmente a utilização deste método de treinamento em solo. Apesar disso, o treinamento de pliometria na água, por induzir reduções da FRS, apresenta excelentes possibilidades de utilização dependendo do objetivo do treinamento e do momento da temporada competitiva, sendo necessário considerar o nível de imersão, a condição musculoesquelética e as características antropométricas dos indivíduos.

**Palavras-chave:** Treinamento, Pliometria, Exercícios Aquáticos.

## ABSTRACT

DELL' ANTONIO, Elisa. **Biomechanical analysis of drop jump performed on land and in water with different immersion levels.** 2014. 176 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Movimento Humano – Área: Desempenho no Esporte) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, Florianópolis, 2014.

This study aimed to analyze the immersion level effect on kinetic and kinematic characteristics of depth jumps performed on land and in water at different immersion levels. Participants were 26 young male volleyball and track and field athletes ( $18.2 \pm 2.6$  years,  $1.87 \pm 0.1$  m in height, and  $74.8 \pm 9.0$  kg body mass). The analyzed variables were the maximum vertical force on the eccentric and concentric sub-phases of contact and landing, the impulse on the eccentric and concentric sub-phases, contact time, eccentric and concentric contact time, and jump flight time. Depth jumps from 0.4 m were executed on land and at four different immersion levels (tibia's midpoint, tibia's lateral condyle, thigh's midpoint and anterior superior iliac spine). A force platform connected to a data acquisition system, a 2-D electrogoniometer and a synchronizing device were used for data collection. Data were processed through specific routines in Scilab 4.1.2 software. Mean values were calculated from three repetitions of each subject in each analyzed condition, and the immersion level effect was analyzed through tests for repeated measures and their respective post-hoc ( $p < 0.05$ ). Results indicate that the higher the immersion level, the lower the values of maximum vertical force on the eccentric and concentric sub-phases of contact and on landing. However, lower levels of immersion (tibia's midpoint and tibia's lateral condyle) were not sufficient to reduce these forces in most cases. Overall, significant reductions of these variables compared with the land execution occurred from the immersion level of the thigh's midpoint. The increase of the immersion level resulted in impulse reduction during eccentric sub-phase and in a longer duration of this phase. However no difference was found

between land and water conditions for concentric impulse and contact time. Higher levels of immersion resulted in longer contact time and flight time duration. Therefore, according to these results, due differences between the two environments, aquatic plyometric training may not be adequate to fully replace the plyometric training on land. Despite, aquatic plyometrics present excellent possibilities for training depending on the training purpose, competitive season stage, or the rehabilitation process characteristics. In any of these cases it is necessary to consider the immersion levels, musculoskeletal conditions and individual anthropometrics characteristics.

**Keywords:** Training, Plyometrics, Aquatic Exercises.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação da técnica do salto em profundidade.	33
Figura 2 - Representação das técnicas do <i>counter drop jump</i> (acima) e do <i>bounce drop jump</i> (abaixo).	35
Figura 3 - Curva aceleração versus tempo (acima) e curva velocidade versus tempo (abaixo). Onde: (a) ponto de início do salto; (b) máxima aceleração para baixo; (c) máxima velocidade para baixo; (d) ponto mais baixo do centro de massa durante o movimento; (e) máxima velocidade para cima; (f) decolagem; (g) instante mais alto do salto; e (h) início da aterrissagem.	36
Figura 4 - Representação básica do modelo mecânico no salto em profundidade.	44
Figura 5 - Curva de força versus tempo aplicada sobre um dos pés durante um SCM. Onde: (1) fase inicial; (2) e (3) fase de propulsão; (4) fase de voo; (5) fase de aterrissagem; (6) e (7) fase de estabilização.	52
Figura 6 - Curva de força versus tempo e representação do SP. Onde: (1) fase inicial; (2) força máxima durante a subfase excêntrica do contato; (3) força máxima durante a subfase concêntrica do contato; (4) tempo de voo; (5) força máxima durante a aterrissagem; (6) e (7) fase de estabilização.	54
Figura 7 - Forças verticais para a aterrissagem de alturas baixas e elevadas, de forma forçada ou suave.	57
Figura 8 - Redução do peso hidrostático conforme nível de imersão.	59

Figura 9 - Exemplos da curva da componente vertical da FRS da marcha no solo e nas diferentes profundidades analisadas. ....	63
Figura 10 - Exemplos das curvas da componente vertical da FRS e da variação angular para a marcha realizada em ambiente terrestre e aquático, em diferentes velocidades.....	64
Figura 11 - Força de reação do solo no eixo vertical durante a marcha em diferentes situações. Onde: (1) marcha com velocidade lenta e com os braços dentro da água; (2) marcha com velocidade lenta e com os braços fora da água; (3) marcha com velocidade rápida e com os braços dentro da água; e (4) marcha com velocidade rápida e com os braços fora da água..	66
Figura 12 - Força de reação do solo no eixo antero-posterior durante a marcha em diferentes situações. Onde: (1) marcha com velocidade lenta e com os braços dentro da água; (2) marcha com velocidade lenta e com os braços fora da água; (3) marcha com velocidade rápida e com os braços dentro da água; e (4) marcha com velocidade rápida e com os braços fora da água.....	67
Figura 13 - Força vertical máxima na corrida estacionária com alteração do nível de imersão e da cadência de execução. (*) indica diferença estatisticamente significativa.....	70
Figura 14 - Pico de força vertical máxima durante e aterrissagem em saltos no solo e com imersão ao nível do quadril e do peito. Os colchetes ligam as situações nas quais houve diferenças estatisticamente significativas.....	72

Figura 15 - FRS em saltos unilaterais no solo e na água, com e sem dispositivos auxiliar.....	73
Figura 16 - Curva de força versus tempo do salto em profundidade. Onde: $F_{\text{máxEXC}}$ : força máxima durante a subfase excêntrica do contato; $F_{\text{máxCON}}$ : força máxima durante a subfase concêntrica do contato; $F_{\text{máxAT}}$ : força máxima durante a fase de aterrissagem; TC: tempo de contato; TV: tempo de voo; $t_0$ : início do contato; $t_1$ : final do contato; e $t_2$ : início da aterrissagem.....	85
Figura 17 - Curva de força versus tempo do contato (vermelha) após a fase de queda representando a área de impulso excêntrico e concêntrico. (A) é a área que representa o impulso excêntrico e (B) é a área que representa o impulso concêntrico. ....	87
Figura 18 - Curva de força vertical ( $F_y$ , em preto) e do deslocamento angular de joelho (AJ, em azul) no salto em profundidade. $t_0$ e $t_1$ representam os instantes inicial e final do contato, $t_{ec}$ representa o instante de transição entre a fase excêntrica e concêntrica do contato.....	89
Figura 19 - Plataforma de força utilizada no estudo. ....	91
Figura 20 - Sistema ADS2002-IP conectado ao microcomputador portátil.....	92
Figura 21 - Foto do eletrogoniômetro antes (acima) e depois (abaixo) do isolamento. ....	93
Figura 22 - Foto do transmissor do Sistema TeleMyo 2400 T G2. ....	94

Figura 23 - Foto do transmissor do sistema de sincronização Compact Wireless Sync.....	95
Figura 24 - Representação das condições de análise do estudo: (1) solo; (2) imersão ao nível da tíbia; (3) imersão ao nível do joelho; (4) imersão ao nível da coxa; e (5) imersão ao nível do quadril.....	98
Figura 25 - Posicionamento da plataforma de força e do bloco de salto dentro do tanque. ....	100
Figura 26 - Representação da curva de força versus tempo do SP de um sujeito nas cinco condições de análise. Condição solo (1); tíbia (2), joelho (3); coxa (4); e quadril (5).....	104
Figura 27 - Representação da fase de contato da curva de força versus tempo do SP de um sujeito nas cinco condições de análise. Condição solo (1); tíbia (2), joelho (3); coxa (4); e quadril (5).....	105
Figura 28 - Tempo de contato nas cinco situações de análise. (§) indica diferença significativa quando comparada com a situação tíbia, (§) indica diferença significativa quando comparada com a situação joelho, (*) indica diferença significativa quando comparada com a situação coxa e (#) indica diferença significativa quando comparada com a situação quadril para o teste de Wilcoxon.....	107
Figura 29 - Tempo de contato excêntrico nas cinco situações de análise. (§) indica diferença significativa quando comparada com a situação tíbia, (§) indica diferença significativa quando comparada com a situação joelho, (*) indica diferença	

significativa quando comparada com a situação coxa e (#) indica diferença significativa quando comparada com a situação quadril para o <i>post hoc</i> de Bonferroni.....	109
Figura 30 - Tempo de contato concêntrico nas cinco situações de análise. ....	110
Figura 31 - Tempo de voo nas cinco situações de análise. (*) indica diferença significativa quando comparada com a situação coxa e (#) indica diferença significativa quando comparada com a situação quadril para o teste de Wilcoxon. ....	113
Figura 32 - Peso hidrostático (PC) dos sujeitos em situação estática nas quatro condições de análise na água.....	114
Figura 33 - Força máxima (unidades de peso corporal, PC) durante a subfase excêntrica do contato nas cinco situações de análise. (*) indica diferença significativa quando comparada com a situação coxa e (#) indica diferença significativa quando comparada com a si .....	116
Figura 34 - Força máxima (PC) durante a subfase concêntrica da queda nas cinco situações de análise. (*) indica diferença significativa quando comparada com a situação coxa e (#) indica diferença significativa quando comparada com a situação quadril para o <i>post hoc</i> de Bonferroni.....	119
Figura 35 - Força máxima ajustada (PC) durante a subfase concêntrica da queda nas cinco situações de análise.....	121
Figura 36 - Impulso excêntrico (PC.s) nas cinco situações de análise. (§) indica diferença significativa quando comparada com a situação tibia, (*) indica diferença significativa quando	

comparada com a situação coxa e (#) indica diferença significativa quando comparada com a situação quadril para o teste de Wilcoxon.....	124
Figura 37 - Impulso concêntrico (PC.s) nas cinco situações de análise. (#) indica diferença significativa quando comparada com a situação quadril para o teste de Wilcoxon.....	125
Figura 38 - Impulso concêntrico ajustado (PC.s) nas cinco situações de análise. (§) indica diferença significativa quando comparada com a situação tibia e (#) indica diferença significativa quando comparada com a situação quadril para o teste de Wilcoxon.....	126
Figura 39 - Força máxima (PC) durante a fase de aterrissagem nas cinco situações de análise. (#) indica diferença significativa quando comparada com a situação quadril para o teste de Wilcoxon.....	128
Figura 40 - Componente vertical da força de reação do solo (PC) em diferentes tipos de salto e níveis de imersão. Onde: SMA: salto com meio agachamento; SCM: salto com contramovimento; SP20: salto em profundidade partindo de 0,2m; e SP40: salto em profundidade partindo de 0,4m.....	131
Figura 41 - Curvas da Fy (expressa em unidades de peso corporal – PC) versus tempo no solo do sujeito 9, excluído da análise (esquerda), e do sujeito 25, incluído na análise (direita). .....	163
Figura 42 - Curvas da Fy (expressa em unidades de peso corporal – PC) versus tempo no solo do sujeito 11, excluído da	

análise (esquerda), e do sujeito 13, incluído na análise (direita). .....	164
Figura 43 - Curvas da $F_y$ (expressa em unidades de peso corporal – PC) versus tempo no solo do sujeito 22, excluído da análise (esquerda), e do sujeito 20, incluído na análise (direita). .....	164
Figura 44 – Curvas da $F_y$ (expressa em unidades de peso corporal – PC) versus tempo no solo do sujeito 24, excluído da análise (esquerda), e do sujeito 12, incluído na análise (direita). .....	165
Figura 45 - Representação do ajuste para a força máxima durante a subfase concêntrica do SP. ....	166
Figura 46 - Representação do ajuste para o impulso durante a subfase concêntrica do SP. ....	167
Figura 47 - Desenho do projeto do tanque. ....	170



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Médias e desvios padrão das características dos participantes do estudo. ....	83
Tabela 2 - Médias e desvios padrão das alturas avaliadas e do peso hidrostático dos participantes do estudo.....	83
Tabela 3 – Médias, desvios padrão e intervalos de confiança para força máxima na subfase excêntrica nas cinco condições de análise. ....	171
Tabela 4 - Médias, desvios padrão e intervalos de confiança para força máxima na subfase concêntrica nas cinco condições de análise. ....	171
Tabela 5 - Médias, desvios padrão e intervalos de confiança para impulso excêntrico nas cinco condições de análise. ....	172
Tabela 6 - Médias, desvios padrão e intervalos de confiança para impulso concêntrico nas cinco condições de análise. ....	172
Tabela 7 - Médias, desvios padrão e intervalos de confiança para força máxima na aterrissagem nas cinco condições de análise. ....	172
Tabela 8 - Médias, desvios padrão e intervalos de confiança para tempo de contato nas cinco condições de análise. ....	173
Tabela 9 - Médias, desvios padrão e intervalos de confiança para tempo de voo nas cinco condições de análise. ....	173
Tabela 10 - Médias, desvios padrão e intervalos de confiança para tempo de contato excêntrico nas cinco condições de análise. ....	173
Tabela 11 - Médias, desvios padrão e intervalos de confiança para tempo de contato concêntrico nas cinco condições de análise. ....	174



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BDJ	<i>Bounce drop jump</i>
CAE	Ciclo alongamento encurtamento
CDJ	<i>Counter drop jump</i>
FmáxAT	Força máxima durante a aterrissagem
FmáxCON	Força máxima durante a subfase concêntrica
FmáxEXC	Força máxima durante a subfase excêntrica
FRS	Força de reação do solo
Fy	Componente vertical da força de reação do solo
Hz	Hertz
IMPcon	Impulso durante a subfase concêntrica
IMPexc	Impulso durante a subfase excêntrica
m	Metros
mm	Milímetros
ms	Milissegundos
N	Newton
PC	Unidade de peso corporal
SCM	Salto com contramovimento

SMA	Salto com meio agachamento
SP	Salto em profundidade
TC	Tempo de contato
TCC	Tempo de contato concêntrico
TCE	Tempo de contato excêntrico
TPA	Treinamento pliométrico na água
TV	Tempo de voo

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>25</b>
1.1	OBJETIVOS DA PESQUISA.....	28
1.1.1	Objetivo Geral .....	28
1.1.2	Objetivos Específicos.....	28
1.2	HIPÓTESES.....	29
1.3	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	29
1.4	LIMITAÇÕES DO ESTUDO .....	30
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>31</b>
2.1	SALTO VERTICAL .....	31
2.1.1	Pliometria .....	40
2.1.2	Força de Reação do Solo .....	51
2.2	EXERCÍCIOS AQUÁTICOS.....	58
2.2.1	Força de Reação do Solo nos Exercícios Aquáticos .....	61
2.2.2	Treinamento de Saltos no Ambiente Aquático .....	74
<b>3</b>	<b>MÉTODOS</b> .....	<b>81</b>
3.1	TIPO DE PESQUISA.....	81
3.2	SUJEITOS DO ESTUDO .....	81
3.3	DEFINIÇÃO DE VARIÁVEIS.....	84
3.3.1	Variáveis do salto em profundidade .....	84
3.3.2	Força vertical máxima de reação do solo durante as fases do SP.....	85
3.3.3	Variáveis cinemáticas .....	88
3.4	NÍVEL DE IMERSÃO MAIS ADEQUADO PARA O TREINAMENTO DE SALTOS EM PROFUNDIDADE NA ÁGUA.....	90
3.5	MATERIAIS.....	90
3.5.1	Plataforma de força.....	90
3.5.2	Sistema de aquisição e processamento de dados ADS2002-IP .....	91
3.5.3	Eletrogoniômetro 2-D SG110.....	92
3.5.4	Sistema TeleMyo 2400T G2.....	94
3.5.5	Sistema de sincronização Compact Wireless Sync .....	94

3.5.6	Balança digital, estadiômetro e fita antropométrica. ....	95
3.6	PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS .....	96
3.7	TRATAMENTO DOS DADOS.....	101
3.8	TRATAMENTO ESTATÍSTICO.....	102
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>103</b>
4.1	VARIÁVEIS CINEMÁTICAS .....	106
4.1.1	Tempo de contato excêntrico, concêntrico e total.....	106
4.1.2	Tempo de voo .....	112
4.2	VARIÁVEIS CINÉTICAS.....	113
4.2.1	Força máxima durante a subfase excêntrica após a queda .....	115
4.2.2	Força máxima durante a subfase concêntrica após a queda .....	118
4.2.3	Impulso durante a subfase excêntrica e concêntrica da queda .....	122
4.2.4	Força máxima durante a fase de aterrissagem.....	127
4.3	NÍVEL DE IMERSÃO ADEQUADO PARA O TREINAMENTO DE SALTOS EM PROFUNDIDADE NA ÁGUA.....	132
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>135</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>137</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>162</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>175</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O salto vertical é um movimento comum e fundamental a diversas atividades esportivas (DAVIS *et al.*, 2003; ; YU; LIN; GARRET, 2006; KELLIS; KOUVELIOTI, 2009), representando em alguns casos o próprio resultado esportivo, como nas provas de salto do atletismo ou constituindo gestos motores mais complexos como o ataque e bloqueio no voleibol, o cabeceio no futebol e o arremesso no basquetebol e handebol (UGRINOWITSCH; BARBANTI, 1998; CARVALHO, 2008). Em outros casos o salto, mesmo que não componha os gestos técnicos específicos do esporte, faz parte da rotina de treinamento de atletas de diferentes modalidades (MILLER *et al.*, 2002; SHAFFER, 2007; FERREIRA, CARVALHO; SZMUCHROWSKI, 2008), como por exemplo os velocistas no atletismo.

O treinamento de saltos é amplamente utilizado no meio esportivo (BOOBBERT, 1990) e tem como objetivo o aumento da velocidade de contração, da coordenação específica do movimento, da massa muscular (BARBANTI, 1996), propriocepção, agilidade (MARTEL *et al.*, 2005; MILLER *et al.*, 2006; THOMAS *et al.*, 2009; KUMAR *et al.*, 2013), velocidade (ALAM *et al.*, 2012), força e capacidade explosiva de membros inferiores (MILLER *et al.*, 2002; LEES, VANRENTERGHEM; DE CLERCQ, 2004; REZAIMANESH *et al.*, 2011). Um dos métodos utilizados para o treinamento de saltos é a pliometria para membros inferiores, que consiste na realização de exercícios que utilizam o potencial elástico do músculo alongado por uma ação excêntrica.

A pliometria objetiva potencializar a utilização do ciclo de alongamento-encurtamento (CAE), e é caracterizada por uma intensa ação excêntrica seguida, imediatamente, por uma rápida ação concêntrica (UGRINOWITSCH; BARBANTI, 1998; KOMI, 2000). A ação excêntrica inicial causa o alongamento das fibras musculares que estimula o fuso muscular (reflexo miotático) e as propriedades elásticas do músculo facilitando a ação concêntrica na sequência do movimento (GEHRI *et al.*, 1998; STEMM; JACOBSON, 2007). Os elementos elásticos em série das fibras musculares sofrem deformação, absorvendo e armazenando

energia mecânica na forma de energia potencial elástica (HIUJING, 1992), que quando liberada é transformada em energia cinética (UGRINOWITSCH; BARBANTI, 1998), fazendo com que a força da ação concêntrica realizada em exercícios pliométricos seja maior do que a de uma ação concêntrica isolada (MILLER *et al.*, 2007).

A aplicação do treinamento pliométrico é baseada em saltos em profundidade, saltos sequenciais, saltos unilaterais, saltos sobre obstáculos, saltos com deslocamentos laterais e outras variedades de saltos que utilizam o ciclo alongamento encurtamento (MILLER *et al.*, 2002; MILLER *et al.*, 2006; MILIC *et al.*, 2008). Dentre os saltos que utilizam o CAE, os mais comumente avaliados nas pesquisas científicas (GEHRI *et al.*, 1998; BRITO *et al.*, 2007; MAKARUK; SACEWICZ, 2010; WALLACE *et al.*, 2010) e também utilizados em testes de campo (BOSCO, 1999), são os saltos com contramovimento e os saltos em profundidade. Já na prática do treinamento esportivo os saltos sequenciais e os saltos em profundidade são os mais frequentemente utilizados na preparação atlética (VERKHOSHANSKI, 1996; MILLER *et al.*, 2001; MARKOVIC *et al.*, 2007; KUMAR, 2013). O salto em profundidade, que será objeto de estudo desta pesquisa, caracteriza-se pela queda de uma altura pré-determinada seguida imediatamente por um salto vertical máximo, e a partir desta sequência de ações estimula-se a utilização do CAE (UGRINOWITSH; BARBANTI, 1998; MARKOVIC *et al.*, 2004).

Ainda que este método de treinamento tenha sua efetividade comprovada no que diz respeito a melhorias de variáveis do desempenho tais como aceleração, agilidade, potência e altura do salto (MILLER *et al.*, 2006; ROOPCHAND-MARTIN; LUE-CHIN, 2010; ALAM *et al.*, 2012), existe um risco potencial de lesões, especialmente quando os atletas estão sujeitos a novas rotinas de exercícios ou a uma grande sobrecarga de treinamento (MILLER *et al.*, 2002; TRIPLETT *et al.*, 2009). Segundo Stemm e Jacobson (2007), os saltos em profundidade realizados durante treinos pliométricos requerem vigorosas ações excêntricas a fim de reduzir o impacto elevado na aterrissagem. Por esse motivo, pesquisadores têm postulado que os riscos de lesões articulares e musculares podem ser

reduzidos se o treinamento pliométrico for realizado em ambiente aquático considerando a redução das forças de impacto e a consequente minimização da compressão articular (MILLER *et al.*, 2002; ROBINSON *et al.*, 2004; MILLER *et al.*, 2007; STEMM; JACOBSON, 2007; TRIPLETT *et al.*, 2009).

Uma das condições proporcionadas pelas propriedades físicas da água é a redução do peso aparente, devido à ação do empuxo. Além disso, em ações dinâmicas coexiste o arrasto hidrodinâmico oferecido pelo meio líquido, o qual torna os movimentos mais lentos e com possibilidade de serem mais bem controlados. Estas condições em conjunto atuam reduzindo as forças de impacto que agem sobre o sistema musculoesquelético dos indivíduos (ROESLER *et al.*, 2005; BARELA *et al.*, 2006; ROESLER *et al.*, 2006; HAUPENTHAL *et al.*, 2010; FONTANA *et al.*, 2011).

Embora muitos estudos tenham mostrado melhoras nas variáveis do desempenho a partir da aplicação de treinamento pliométrico na água (ROBINSON *et al.*, 2004; STEMM; JACOBSON, 2007; SHIRAN *et al.*, 2008; ARAZI; ASADI, 2011; ARAZI; COETZEE; ASADI, 2012), outros não foram tão efetivos. Um possível responsável pela discrepância entre os resultados destes estudos pode ser o aumento do tempo do movimento causado pela resistência da água, uma vez que a velocidade da transição da fase excêntrica para a fase concêntrica, caracterizada pelo tempo de contato com o solo é maior na água do que no solo (RUSCHEL, 2009; STEPHENSON *et al.*, 2011; RUSCHEL, 2014). Pode-se supor que com um tempo de contato com o solo muito grande parte da energia potencial elástica armazenada pode ser perdida, reduzindo a energia disponível para ser transformada em energia cinética, o que limitaria os benefícios do treinamento pliométrico na ambiente aquático, ou pode ainda até mesmo descaracterizar este tipo de treinamento (CHIMERA *et al.*, 2004).

Considerando as propriedades físicas da água, principalmente o empuxo, a utilização de diferentes níveis de imersão irá interferir de maneiras distintas nas respostas cinéticas e cinemáticas dos saltos em profundidade na água (RUSCHEL, 2009). No entanto, ainda não existe consenso sobre qual nível de imersão deve ser utilizado na realização do

treinamento pliométrico no ambiente aquático. Dentre os estudos que analisaram o efeito deste método de treinamento, alguns utilizam como nível de imersão as referências anatômicas do joelho (STEMM; JACOBSON, 2007), cintura (MILLER *et al.*, 2002; MILLER *et al.*, 2007) e peito (MILLER *et al.*, 2007), enquanto outros optam por alturas fixas que variaram entre 1,06 m e 1,5 m (ROBINSON *et al.*, 2004; MARTEL *et al.*, 2005; PLOEG *et al.*, 2010; ARAZI; ASADI, 2011; FABRICIUS, 2011; ARAZI; COETZEE; ASADI, 2012; LAVANANT; GARCIA; CRUZ, 2013). Entendendo que a transição da fase excêntrica para a concêntrica deve ser o mais rápida quanto for possível, espera-se que níveis menores de imersão sejam mais adequados para a realização do treinamento pliométrico na água.

A partir destes pressupostos, a comparação dos parâmetros relativos às variáveis cinéticas e cinemáticas dos saltos em profundidade realizados no solo e com diferentes níveis de imersão na água pode auxiliar o entendimento e fundamentar a aplicabilidade do treinamento de pliometria no ambiente aquático. *Desta forma, surge a seguinte pergunta: qual é o efeito do nível de imersão na água sobre as características cinéticas e cinemáticas de saltos em profundidade?*

## 1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA

### 1.1.1 Objetivo Geral

Analisar o efeito do nível de imersão na água sobre as características cinéticas e cinemáticas do salto em profundidade.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar as variáveis cinéticas e cinemáticas do salto em profundidade realizado no solo e em quatro diferentes níveis de imersão na água;
- Comparar cada variável da força vertical de reação do solo e os parâmetros temporais na execução de saltos em profundidade no solo e em quatro diferentes níveis de imersão na água;

- Indicar um nível de imersão mais adequado para realização do treinamento de saltos em profundidade no ambiente aquático, com base nas características cinéticas e cinemáticas do salto em profundidade no solo e nos diferentes níveis de imersão.

## 1.2 HIPÓTESES

Para este estudo foram formuladas as seguintes hipóteses:

1. Considerando principalmente a ação do empuxo, é esperado que o aumento do nível de imersão ocasione redução na magnitude da componente vertical da força de reação do solo na subfase excêntrica e na fase de aterrissagem para todas as situações analisadas;
2. Considerando a resistência da água, espera-se que, quanto maior for o nível de imersão maior será o tempo de contato com o solo (tempo de contato total e as subfases excêntrica e concêntrica da fase de contato) e o tempo de voo;
3. Ainda considerando a resistência oferecida pela água, espera-se que quanto maior for o nível de imersão, maior será a força máxima produzida na fase concêntrica do contato (fase de propulsão).

## 1.3 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este estudo delimitou-se a analisar variáveis cinéticas (força máxima e impulso durante as subfases excêntrica e concêntrica do contato e força máxima durante a fase de aterrissagem) e cinemáticas (tempo de contato, tempo de contato excêntrico e concêntrico, e tempo de voo) na execução de saltos em profundidade realizados por adultos jovens e saudáveis do sexo masculino, praticantes de modalidades que utilizam o treinamento pliométrico e, portanto habituados com esse tipo de treinamento. A análise foi realizada no ambiente terrestre e em

quatro diferentes níveis de imersão na água (ponto médio da tíbia, côndilo lateral da tíbia, ponto médio da coxa e espinha ilíaca ântero-superior). O trabalho foi desenvolvido nas dependências da piscina e do Laboratório de Pesquisas em Biomecânica Aquática do Centro de Ciências da Saúde e do Esporte da Universidade do Estado de Santa Catarina, durante o primeiro semestre de 2014.

#### 1.4 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Os sujeitos do estudo embora possuíssem experiência em realizar saltos pliométricos e fossem adaptados ao meio líquido, não estavam habituados a realizar saltos no ambiente aquático. Para minimizar os efeitos desta limitação, foi realizado um período de familiarização com a tarefa, além da demonstração e constante instrução para a realização da técnica correta do salto.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo fornecerá subsídios para a análise e discussão dos resultados, e serão abordados os seguintes tópicos: (1) salto vertical, que contém informações acerca das diferentes técnicas de execução do salto, do funcionamento e aplicação da pliométrie e do comportamento das forças de reação do solo durante a execução da tarefa no ambiente terrestre, para fins de comparação com os dados obtidos em ambiente aquático; e (2) exercícios aquáticos, que aborda informações sobre algumas das propriedades físicas da água e sobre as características biomecânicas de atividades como a caminhada, a corrida com deslocamento, a corrida estacionária e os saltos na água, bem como o treinamento de saltos neste ambiente, para fins de comparação da intensidade das forças agindo sobre os indivíduos que os executam.

### 2.1 SALTO VERTICAL

O salto compõe, juntamente com as atividades de andar e correr as formas de locomoção humana (AMADIO e DUARTE, 1996). A ação de saltar é, por vezes, realizada durante atividades rotineiras, pela necessidade de alcançar objetos mais altos ou evitar obstáculos, e em uma definição simples, envolve um período de tempo no qual o corpo não está em contato com o solo (NICOL, 2001).

O salto também é utilizado em várias modalidades esportivas durante treinamentos e competições, sendo que em alguns esportes ele compõe gestos técnicos mais complexos (cortadas e bloqueios no voleibol, rebotes no basquetebol, cabeceios no futebol, arremesso no handebol, etc.), e em outros representa o próprio resultado esportivo (salto em altura, salto em distância) (UGRINOWITSCH; BARBANTI, 1998). Além disso, treinadores, preparadores físicos e fisioterapeutas utilizam testes de salto vertical para determinar a capacidade física de um atleta, para avaliação formativa dos resultados de um programa de treinamento, e também para verificar se um indivíduo tem condições de retornar à prática esportiva após um período de

recuperação de uma lesão (BOSCO, 1999; YOUNG; WILSON; BYRNE, 1999).

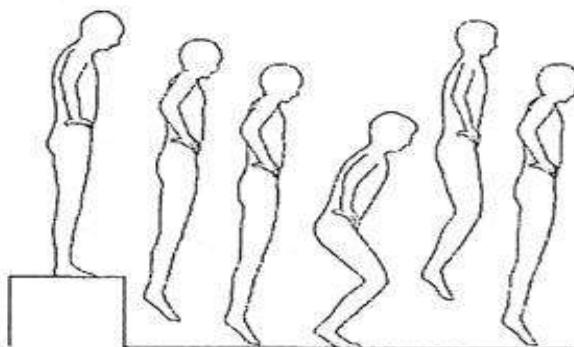
O salto vertical é considerado um padrão motor complexo que requer o desempenho coordenado de todas as partes do corpo (GALLAHUE; OZMUN, 2003). Segundo Nicol (2001), para um salto vertical e uma sequência de aterrissagem, o sujeito geralmente inicia na posição vertical ereta e a atividade é iniciada pelo rebaixamento do centro de massa através flexão do quadril e do joelho; conforme o corpo é acelerado para cima, os quadris e joelhos estendem. Quando os membros estão completamente estendidos (incluindo a flexão plantar da articulação do tornozelo), o corpo se levanta e a fase de voo começa. Dependendo da quantidade de trabalho realizada pelos músculos, o indivíduo vence a força da gravidade e o corpo perderá contato com o solo com determinada velocidade de decolagem que será reduzida pela ação da aceleração gravitacional, após atingir uma altura máxima, o corpo retornará ao solo e a fase de aterrissagem será iniciada. Embora estejam definidas categoricamente as fases do salto vertical, existem diferentes técnicas de execução que são utilizadas em outros tipos de saltos verticais e, por isso, apresentam peculiaridades em relação a cada uma das fases. Dentre os saltos comumente utilizados no treinamento pliométrico de membros inferiores destacam-se os saltos em profundidade.

No salto em profundidade (SP) o executante realiza uma queda a partir de determinada altura, seguida imediatamente de um salto vertical máximo (UGRINOWITSCH; BARBANTI, 1998; SIMPSON; CIAPPONI; WANG, 2003; MARKOVIC *et al.*, 2004). O objetivo da queda livre é oferecer uma sobrecarga que estimule os mecanismos de potenciação elástica e da ativação reflexa dos músculos em atividade. Na aterrissagem da queda livre os músculos extensores da coxa atuam excêntrica para desacelerar o contramovimento, e imediatamente após a interrupção do movimento descendente tem início a extensão do joelho, com atuação concêntrica desta mesma musculatura (MOURA, 1994). A combinação de ações excêntricas e concêntricas forma o ciclo alongamento-encurtamento (CAE) (KOMI, 1984 *apud* KOMI; NICOL, 2004; KOMI, 1992 *apud* KOMI; NICOL, 2004). O CAE tem um objetivo bem reconhecido: o

aumento do desempenho da fase final (ação concêntrica), quando comparado com a ação concêntrica isolada (KOMI; NICOL, 2004). Para que isso aconteça, a transição da fase descendente (excêntrica) para a ascendente (concêntrica) deve ser feita através de um movimento contínuo, no qual as articulações são estendidas o mais rápido possível; dessa forma, há maior geração de força e maior elevação do centro de gravidade, com mais eficiência mecânica e menos gasto energético (UGRINOWITSCH; BARBANTI, 1998; PRILUTSKY, 2004).

Geralmente, um indivíduo salta mais alto quando usa um salto com contramovimento do que um salto com meio agachamento (BOSCO, 1981; OLIVEIRA *et al.*, 1993; BOBBERT *et al.*, 1996). E, dependendo do nível de adaptação, o rendimento em saltos em profundidade utilizando uma altura adequada individualmente, é maior do que nos saltos com contramovimento (ÁVILA *et al.*, 2002). De acordo com Verkhoshanski (1996), o SP é um excelente meio para desenvolver a capacidade de salto, a força rápida e máxima, e também a capacidade reativa dos músculos das pernas. A Figura 1 representa a execução de um SP.

Figura 1 - Representação da técnica do salto em profundidade.

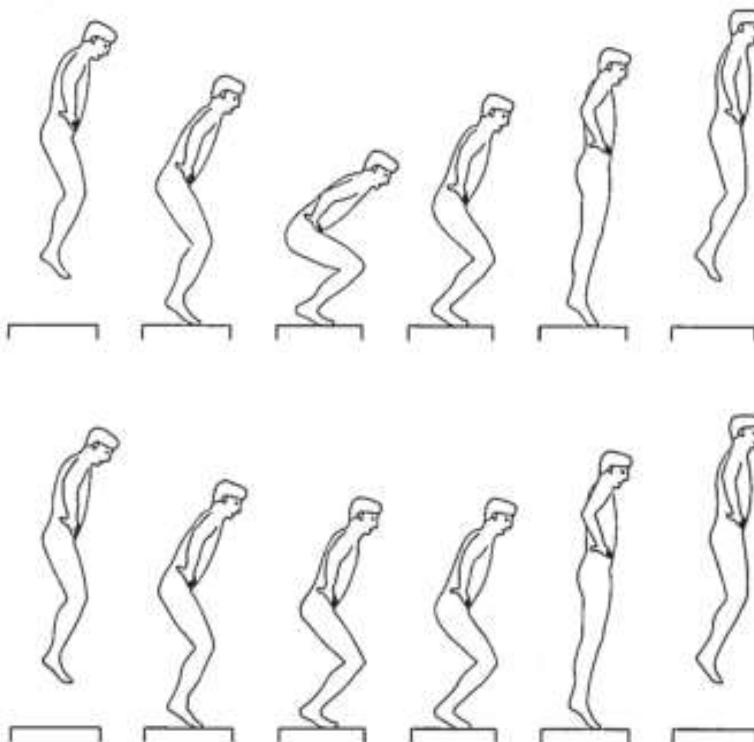


Fonte: Bobbert, Huijing e Van Ingen Schenau (1987a).

Apesar da técnica do SP parecer simples, ela é muito complexa por requerer a ação coordenada dos movimentos segmentares (RODACKI; FOWLER, 2002) e exige atenção (VERKHOSHANSKI, 1996). De acordo com Verkhoshansky (1996), a técnica deve ser executada da seguinte forma: (a) sobre a caixa/bloco de onde será realizada a queda, o indivíduo deve se colocar em uma posição livre de tensão, com olhar voltado para frente; (b) em seguida, deve-se realizar um passo à frente, como se faz normalmente ao caminhar e, quando começar a queda, os pés devem ser unidos; (c) a trajetória da queda deve ser vertical e o tronco deve permanecer ereto; (d) a aterrissagem deve ser feita sobre os dois pés, com a parte anterior primeiro e depois com os calcanhares; (e) na fase de amortização, ocorre a flexão dos joelhos e os músculos extensores são alongados, acumulando energia elástica. Um agachamento profundo demais nessa fase dificultará o impulso subsequente; (f) o impulso deve ser executado estritamente para cima, de forma bastante vigorosa. Se ocorrer uma pausa no momento de transição entre o trabalho excêntrico e o trabalho concêntrico haverá uma diminuição do efeito do CAE; (g) após o impulso, a trajetória deve ser vertical e deve-se tentar alcançar a maior altura possível; e (h) a aterrissagem após o voo deve ser executada suavemente sobre os dois pés, com um leve agachamento de amortização.

Bobbert *et al.* (1986) propuseram duas técnicas diferentes de execução do salto em profundidade: o *bounce drop jump* (BDJ) e o *countermovement drop jump* (CDJ), conforme mostra a Figura 2. No BDJ, o indivíduo procura saltar verticalmente tão logo toque o solo após a queda livre. Já no CDJ, há uma desaceleração mais gradual, com uma flexão de joelhos até aproximadamente 90 graus antes do salto vertical. De acordo com Moura (1994), tem sido demonstrado que o BDJ é mais adequado para o treinamento da força explosiva em atletas, uma vez que gera valores mais elevados de torques e potências máximas ao redor das articulações dos membros inferiores.

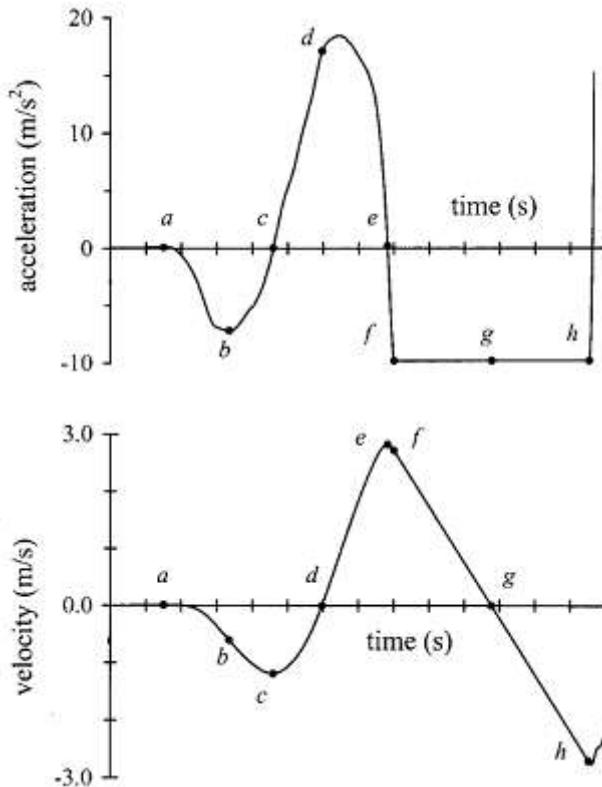
Figura 2 - Representação das técnicas do *counter drop jump* (acima) e do *bounce drop jump* (abaixo).



Fonte: Bobbert, Huijing e Van Ingen Schenau (1987a).

Durante a realização do SP é imprescindível considerar que o executante inicia de um caixote com determinada altura, e com a queda livre o corpo irá ganhar aceleração e velocidade. Após a queda, a aceleração do corpo precisa ser reduzida a zero antes de iniciar o movimento propulsivo (BOBBERT; HUIJING; VAN INGEN SCHENAU, 1987b). A Figura 3 representa as curvas de aceleração *versus* tempo e velocidade *versus* tempo em um salto com contramovimento (SCM), onde é possível verificar o comportamento da aceleração e da velocidade do corpo durante os movimentos descendentes e ascendentes do salto.

Figura 3 - Curva aceleração versus tempo (acima) e curva velocidade versus tempo (abaixo). Onde: (a) ponto de início do salto; (b) máxima aceleração para baixo; (c) máxima velocidade para baixo; (d) ponto mais baixo do centro de massa durante o movimento; (e) máxima velocidade para cima; (f) decolagem; (g) instante mais alto do salto; e (h) início da aterrissagem.



Fonte: Linthorne, 2001.

De acordo com a Figura 3 é esperado que maiores alturas de queda gerem maiores velocidades de queda ao corpo. Na literatura há informações variadas sobre a altura ideal da queda para o salto em profundidade. Na prática do treinamento

pliométrico tradicional, a maneira mais utilizada e simples de modular a carga excêntrica nos saltos em profundidade é a partir da variação das alturas de queda (BOBBERT; HUIJING; VAN INGEN SCHENAU, 1987b; VERKHOSHANSKY, 1996; WALLACE *et al.*, 2010), que geralmente são estruturadas de maneira progressiva (FLANAGAN; COMYNS, 2008; MOURA, 1994; TAUBE *et al.*, 2012).

Até o momento não existe um consenso na literatura sobre a altura ideal de queda, sendo que alguns autores recomendam alturas entre 0,20 m e 1,10 m (MARINA *et al.*, 2012; McFARLANE, 1982; UGRINOWITSCH e BARBANTI, 1998) enquanto outros indicam alturas que podem chegar a 3,2 m (DURSENEV; RAEVSKY, 1982), mas isto depende do momento da temporada competitiva, da modalidade e da condição do sujeito. Verkhoshansky (1999) afirma que a altura de queda depende principalmente do objetivo do treinamento, sendo que para trabalhar a força explosiva e a capacidade reativa do sistema neuromuscular, esta altura esta próxima de 0,75 m, enquanto que para trabalhar força máxima deve-se utilizar alturas de queda de aproximadamente 1,10 m. No entanto, é necessário considerar que este autor comumente prescreveu treinamentos para atletas de alto nível. Assim, é importante destacar que estas alturas não devem ser generalizadas de forma indiscriminada, e que o treinamento pliométrico deve ser planejado de acordo com as características individuais de cada atleta e o objetivo do treinamento.

Evidenciando a manipulação da altura de queda para modular a carga excêntrica, Viitasalo, Salo e Lahtinen (1998) avaliaram o pico de força vertical alcançado por atletas e indivíduos fisicamente ativos na execução de SP. Para a queda de 0,4 m os autores reportaram valores médios de 6300 N e 4290 N para atletas e indivíduos fisicamente ativos, respectivamente, enquanto que para a queda de 0,8 m os valores máximos de  $F_y$  foram de 8540 N e 6210 N para atletas e indivíduos fisicamente ativos, respectivamente. Neste mesmo sentido, Wallace *et al.* (2010) analisaram a componente vertical da FRS em saltos em profundidade de 0,3 m, 0,6 m e 0,9 m e os picos de queda corresponderam respectivamente a 3,33 unidades de peso corporal (PC), 4,31 PC e 5,39 PC.

Moura *et al.* (1993) afirmam que testes de salto em profundidade são realizados para a determinação da altura ideal de queda para um indivíduo. Nesses testes, o sujeito inicia a queda de uma altura de 0,2 m, que é aumentada progressivamente. O teste é interrompido quando o executante não é mais capaz de obter um desempenho (altura do salto vertical) pelo menos igual àquele obtido na altura de queda anterior. A altura ótima de queda, neste caso, seria aquela que permite o maior salto vertical subsequente. Outra proposta interessante é apresentada por Flanagan e Comyns (2008). Estes autores sugerem um teste semelhante ao proposto por Moura *et al.* (1993) (com alturas de queda que aumentam progressivamente e encerramento do teste atrelado à queda do desempenho do indivíduo), mas utilizam o quociente entre o tempo de contato e a altura de voo (índice de força reativa) como parâmetro para o desempenho. O teste é encerrado no momento em que o índice de força reativa gerado pelo executante é inferior àquele alcançado na altura de queda anterior. Para Flanagan e Comyns (2008), a altura de queda ótima é a que permite gerar o maior índice de força reativa.

De acordo com Read e Cisar (2001), é importante determinar a altura ótima individual para a queda nos saltos em profundidade. Os autores afirmam que um aumento excessivo da altura de queda, além da altura ótima individual, vai diminuir o desempenho por causa da alta carga de alongamento e de trabalho excêntrico, que levará a um trabalho concêntrico menor, resultando em uma menor habilidade de utilizar a energia armazenada; e uma altura de queda menor que a ideal também irá diminuir o desempenho, pois diminuirá a rigidez nos tendões e também a pré-ativação do sistema neuromuscular.

Ugrinowitsch e Barbanti (1998) afirmam que se a altura for muito baixa, não produzirá adaptações na capacidade do salto e, se for muito alta, o estímulo será excessivo fazendo com que o saltador tenha que flexionar muito as articulações dos membros inferiores, perdendo a eficiência do CAE. Na queda de alturas excessivas (por exemplo, de 1,40 m), os sujeitos têm que sustentar cargas extremas durante o contato. Nestas situações, há uma ativação reduzida do reflexo de estiramento, que pode

funcionalmente servir como uma estratégia de proteção para prevenir a lesão do músculo e/ou tendão (KOMI; NICOL, 2004).

Como consequência disso, o tempo de contato (TC) na fase de amortização (compreendida desde a aterrissagem da queda até o início da fase de voo do salto) pode ser aumentado, o que consequentemente diminui a efetividade do CAE. Verkhoshanski (1996) afirma que o tempo de contato no salto em profundidade deve ser menor do que 200 milissegundos (ms). De acordo com Viitasalo e Bosco (1982), esta é a duração máxima para que o potencial de reflexo e o aproveitamento da energia elástica aconteçam de uma forma eficaz. No entanto estes valores variam bastante de acordo com o nível técnico e as condições físicas dos sujeitos. Neste sentido, Bobbert *et al.* (1986) definiram duas classificações baseadas na duração do tempo de contato concêntrico (TCC). Os autores pontuaram que TCC superiores a 200 ms representam a técnica CDJ, já a duração do contato inferior a este tempo caracteriza o BDJ. Schmidtbleicher (1992) propõe que o CAE pode ser classificado em lento e rápido. A partir desta abordagem, o CAE rápido é caracterizado pela curta duração do TC (menor que 250 ms) enquanto que o CAE lento é caracterizado por durações do TC superiores a 250 ms.

A literatura traz diferentes valores de TC em SP com altura de queda de 0,4 m. Tal variável é afetada principalmente pela condição dos sujeitos e experiência com a ação motora requerida. Para atletas de salto triplo e estudantes fisicamente ativos foram encontrados valores médios de TC de 166 ms e 226 ms, respectivamente (VIITASALO; SALO; LAHTINEN, 1998). Para saltadores em distância foi reportado TC médio de 190 ms (KELLIS; ARABATZI; PAPADOPOULOS, 2003), enquanto que para universitários fisicamente ativos este valor foi de 314 ms (PENG; KERNOZEK; SONG, 2011). Para sujeitos descalços foram encontrados TC médios de 300 ms para estudantes fisicamente ativos e familiarizados com este tipo de salto (BOBBERT; HUIJING; VAN INGEN SCHENAU, 1987b), 510 ms para sujeitos fisicamente ativos mas sem experiência na execução do SP (RUSCHEL, 2009) e 288 ms para atletas que rotineiramente faziam uso do treinamento pliométrico (RUSCHEL, 2014).

Sobre o tempo de contato é muito importante relatar que está variável sofre pequenas alterações de acordo com a mudança na altura de queda (VIITASALO; SALO; LAHTINEN, 1998; KELLIS; ARABATZI; PAPADOPOULOS, 2003; WALSH *et al.*, 2004) e que estas mudanças não são necessariamente proporcionais – maiores alturas não refletiram obrigatoriamente maiores tempos de contato em quedas de 0,2 m, 0,4, e 0,6m (BOBBERT; HUIJING; VAN INGEN SCHENAU, 1987b; RUSCHEL, 2009). Destaca-se ainda que o TC é treinável: Sankey, Jones e Bampouras (2008) avaliaram os efeitos de 6 semanas com treinamento pliométrico com cargas constantes (grupo 1) e incrementais (grupo 2) sobre o tempo de contato no SP em jovens atletas de rugby. Os autores reportaram que, para o grupo 2, houve redução significativa do tempo de contato. Makaruk e Sacewicz (2010) verificaram também que para universitários fisicamente ativos um período de intervenção de 6 semanas com treinamento pliométrico foi capaz de reduzir significativamente o tempo de contato concêntrico, o que provavelmente também reduziu o TC. É possível ainda que a instrução e orientação para execução correta da técnica possam induzir reduções no TC durante SP.

### 2.1.1 Pliometria

O treinamento pliométrico tem sua origem na antiga União Soviética, e foi desenvolvido pelo professor Yuri Verkhoshansky no início da década de 1960 (SIFF, 2003). O termo pliometria é derivado da palavra grega *pleythein* (plio = aumentar e metria = medida) (KNUTTGEN; KRAEMER, 1987). Este método de treinamento combina a velocidade do movimento com a força, caracterizando conceitualmente a potência, que é entendida pela razão entre o trabalho desenvolvido e um determinado intervalo de tempo. A potência pode ser melhorada através do aumento da força de trabalho produzida pelo músculo ou pela diminuição do tempo necessário para produzir tal força (VOIGHT; TIPPETT, 2004).

A pliometria é um método de treinamento baseado no pré-alongamento de uma determinada musculatura (ação excêntrica), seguido imediatamente pela ação concêntrica desta

mesma musculatura, formando o ciclo alongamento-encurtamento (CAE) (VOIGHT *et al.*, 1995; KOMI, 2006; NICOL, 2004). O CAE usa a capacidade de armazenamento e reutilização de energia e o estímulo do reflexo de estiramento para propiciar o aumento do recrutamento muscular durante um período mínimo de tempo (MOURA, 1994). Komi (2003) indica que um efetivo CAE só pode ser alcançado se forem satisfeitas três condições básicas: a pré-ativação coordenada dos músculos antes da fase excêntrica; a fase excêntrica ser curta e rápida; e uma transição imediata da fase excêntrica para a concêntrica.

O CAE é formado por três fases distintas, sendo elas a fase excêntrica ou de carregamento, a fase de amortização ou de transferência e a fase concêntrica ou de descarga. Durante a fase excêntrica ou de carregamento o grau de sobreposição dos miofilamentos tende a diminuir conforme o músculo é alongado, o que diminui a possibilidade de formação das pontes cruzadas e provoca a diminuição da produção força (força ativa), no entanto, elementos elásticos que são encontrados tanto nas cabeças de miosina quanto nas proteínas que ancoram e estabilizam os miofilamentos no sarcômero como a titina e a desmina, também oferecem resistência ao alongamento dos sarcômeros (força passiva). Enquanto o músculo é alongado, a tensão passiva, que é a resistência oferecida pelos elementos elásticos ao alongamento, aumenta (BARROSO, TRICOLI e UGRINOWITSCH, 2005). É durante esta fase que ocorre o armazenamento de energia potencial elástica e o estímulo aos fusos musculares (SIMPSON; CIAPPONI; WANG, 2003), que enviam um sinal para a raiz ventral da medula espinhal através das fibras nervosas aferentes tipo Ia (VOIGHT; TIPPETT, 2004). A fase de amortização ou de transferência é o espaço de tempo entre as fases excêntrica e concêntrica, em que os neurônios motores alfa transmitem sinais para os músculos agonistas a fim de que esta musculatura atue no sentido contrário ao da aceleração do movimento. Quanto menor for a duração da fase de amortização, maior será a quantidade de produção de força (VOIGHT; TIPPETT, 2004; POTASH; CHU, 2008). A fase concêntrica representa a resposta do corpo para as fases anteriores. Quando os neurônios alfa estimulam os músculos

agonistas, eles produzem uma ação muscular concêntrica reflexiva (POTASH; CHU, 2008).

Considerando a função da ação excêntrica dentro dos exercícios pliométricos, é importante abordar brevemente as características deste tipo de contração. Há algum tempo existem na literatura comparações sobre o desempenho de ações concêntricas e excêntricas. Conforme Barroso, Tricoli e Ugrinowitsch (2005), treinamentos que prescrevem ações excêntricas isoladas ou alternância de ações concêntricas e excêntricas se mostram mais eficazes para as adaptações neuromusculares e tendíneas do que as ações puramente concêntricas ou isométricas.

Guilhem, Cornu e Guével (2010) apontam que o treinamento excêntrico é mais eficiente para induzir alterações estruturais no sistema musculo-tendão e adaptações no sistema nervoso central. Os autores ressaltam ainda que estas adaptações são caracterizadas pelo aumento significativo da capacidade máxima de produção de força. Adicionalmente Newham *et al.* (1983) reportaram que as ações excêntricas apresentam algum dano imediatamente após o exercício, e que 24-48 horas após o exercício o dano muscular foi mais acentuado e envolveu maior quantidade de fibras. As ações excêntricas ainda podem causar alterações morfológicas nas fibras musculares (ESTON; BYRNE; TWIST, 2003; GUILHEM; CORNU; GUÉVEL, 2010) devido ao dano e ao maior grau de tensão sobre as fibras musculares, sendo que os danos estruturais que ocorrem inicialmente são seguidos pelo aumento da concentração e circulação de substâncias reparadoras (que podem ser associadas com uma resposta inflamatória aguda) (DENNIS *et al.*, 2004) e o aparecimento transitório de dores musculares tardias, rigidez e inchaço muscular concomitantemente ao processo de regeneração das fibras musculares (ESTON; BYRNE; TWIST, 2003; PROSKE; MORGAN, 2001).

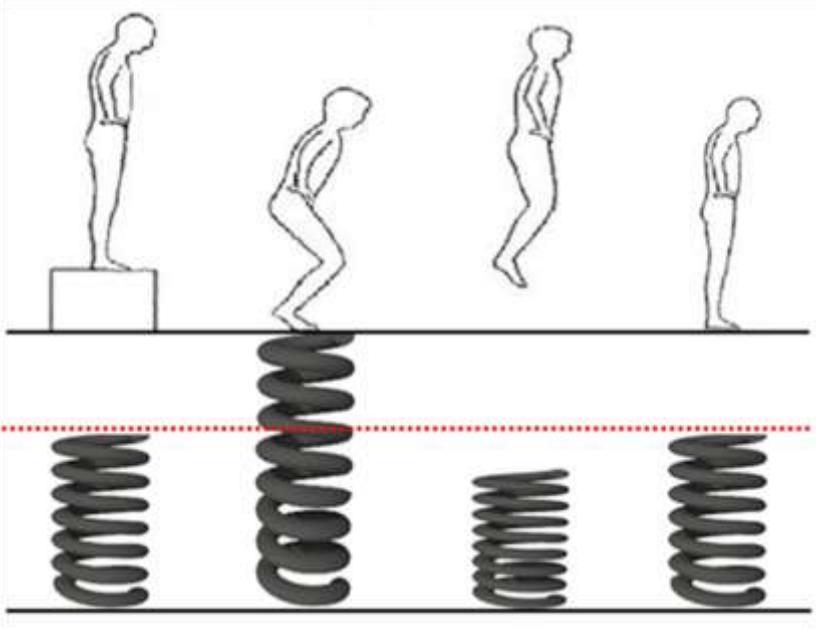
Ainda sobre as ações excêntricas, Enoka (1996) sugere que estas apresentam exigências neurais diferentes dos outros tipos de contração. De acordo com este autor, aparentemente a ordem de recrutamento de unidades motoras é alterada durante este tipo de contração, fornecendo evidências que os comandos

neurais para estas contrações são únicos. Sabe-se que a ativação neural de um músculo pode ser alterada pelo número de unidades motoras que são recrutadas, frequência de disparo de cada unidade motora, reflexo inibitório e coordenação entre músculos sinergistas (ENOKA, 1997; MORITANI e DeVRIES, 1979). Durante o treinamento excêntrico são os fatores neurais como o aumento do recrutamento das unidades motoras, a coativação dos músculos agonistas e antagonistas e a redução de inibição autogênica dos órgãos tendinosos de Golgi, que contribuem mais pronunciadamente para a melhora do desempenho durante as primeiras oito a dez semanas de treinamento, sendo que após esse período a sua contribuição é reduzida (RATAMESS *et al.*, 2009).

Retomando o CAE, é importante destacar que existem alguns modelos que buscam compreender o funcionamento dos exercícios pliométricos. Neste sentido, o modelo mecânico explica que durante uma ação muscular excêntrica, a energia elástica nos componentes musculotendinosos é aumentada com um estiramento rápido e, em seguida, armazenada (POTASH; CHU, 2008). Aumentos significativos na produção muscular concêntrica ocorrem quando estas são imediatamente precedidas por uma contração excêntrica (KOMI; NICOL, 2004). Este aumento pode ser em parte devido a esta armazenagem de energia potencial elástica, uma vez que os músculos são capazes de utilizar a força produzida pelos componentes elásticos em série (VOIGHT; TIPPETT, 2004). Todos os componentes elásticos em série (filamentos de actina e miosina e tendões) são estirados quando uma articulação é carregada, no entanto, o tendão é o principal contribuinte para alterações no comprimento no conjunto tendão-músculo e no armazenamento de energia potencial elástica (CHMIELEWSKI *et al.*, 2006). Para maximizar a potência muscular, a ação excêntrica do músculo deve ser seguida imediatamente por uma ação concêntrica (RADCLIFFE; FARENTINOS, 1999; POTASH e CHU, 2008). Caso não ocorra uma ação concêntrica, ou a fase de transição for muito lenta, a energia elástica armazenada é perdida como calor e o reflexo de estiramento não é ativado (VOIGHT; TIPPETT, 2004; POTASH; CHU, 2008). Analiticamente, o salto

pliométrico pode, dentro do modelo mecânico, ser comparado ao funcionamento de uma mola (Figura 4).

Figura 4 - Representação básica do modelo mecânico no salto em profundidade.



Fonte: Arquivo Laboratório de Biomecânica Aquática.

O modelo neurofisiológico, por sua vez, caracteriza-se pelo envolvimento da potenciação da ação muscular concêntrica pelo uso do reflexo miotático ou de estiramento, que é a resposta involuntária do organismo no sentido contrário a um estímulo externo que estira determinado músculo (POTASH; CHU, 2008). Os fusos musculares são responsáveis pela detecção do grau de alongamento musculotendinoso, sendo que, a partir de um determinado limiar, ocorre uma ação muscular reflexa, que pode ser concêntrica ou isométrica, para proteger a estrutura dos riscos associados a um alongamento demasiado e rápido (UGRINOWITSCH; BARBANTI, 1998).

Durante os exercícios pliométricos o estímulo dos fusos musculares causa uma ação muscular reflexa, sendo que quanto mais rapidamente a carga for aplicada ao músculo, maior será a frequência de disparo do fuso muscular e a contração muscular reflexa resultante (VOIGHT; TIPPETT, 2004). Esta resposta reflexa aumenta a atividade do músculo agonista e conseqüentemente a quantidade de força para a ação muscular concêntrica seguinte (POTASH; CHU, 2008). É importante que essa ação excêntrica não gere cargas de alongamento elevadas demais, uma vez que tais cargas poderiam provocar, também por via reflexa, um mecanismo inibidor da contração, ativando os órgãos tendinosos de Golgi (MOURA, 1994). Os OTG são estruturas sensíveis à tensão muscular, localizados em série com algumas fibras do músculo esquelético. Essas estruturas são responsáveis por traduzir a tensão mecânica (força) a que o músculo está sendo submetido, levando essa informação até a medula e o córtex motor, fazendo com que a sensação de tensão seja percebida em nível consciente. Quando esta tensão atinge níveis que podem causar danos ao sistema muscular, os OTGs aumentam suas atividades elétricas inibindo a descarga neural dos motoneurônios para os músculos ativos, fazendo com que o músculo diminua a força produzida e/ou impedindo o aumento dela (BARROSO, TRICOLI e UGRINOWITSCH, 2005).

Para esclarecer a efetividade do treinamento pliométrico serão apresentados estudos que utilizaram este método, considerando o número e tipo de sujeitos, a duração do treinamento, e as respostas ocasionadas. Em 1998, Gehri *et al.*, no intuito de determinar qual técnica de treinamento é mais eficiente para melhorar variáveis do desempenho, realizaram um estudo de avaliação do efeito de 12 semanas (2x por semana) de treinamento pliométrico. 28 sujeitos foram distribuídos em três grupos: grupo salto em profundidade (n = 11), grupo salto com contramovimento (n = 7) e grupo controle (n = 10). Os testes utilizados foram o salto com meio agachamento, o salto com contramovimento e o salto em profundidade. Os resultados apontaram que os dois grupos de intervenção melhoraram significativamente a altura do salto. O grupo que treinou o SP melhorou significativamente a altura do salto nos três diferentes tipos de saltos avaliados. Este grupo também foi superior aos

demais nas atividades que envolviam o CAE devida à especificidade neuromuscular do treinamento ao qual foram submetidos.

Chimera *et al.* (2004) analisaram os efeitos do treinamento pliométrico sobre as estratégias de ativação muscular e desempenho dos membros inferiores em saltos em profundidade. Participaram desta pesquisa, que teve duração de 6 semanas (2x por semana), 18 jovens atletas do sexo feminino, sendo que 9 formaram o grupo de treino e 9 o grupo controle. Estas atletas foram avaliadas pré e pós treino quanto à atividade eletromiográfica (vasto medial e lateral, isquiotibiais medial e lateral, adutores e abdutores de quadril), altura de salto e a velocidade no percurso de 36,57m (equivalente a 40 jardas). Os resultados apontam que os dois grupos melhoraram significativamente a altura de salto e velocidade, no entanto, o grupo de treino demonstrou aprendizado de estratégias motoras (aumento da pré ativação do adutor e aumento da coativação abductor-adutor) que podem servir para contenção e controle dinâmico do alinhamento do membro inferior em contato com o solo.

Ainda sobre as respostas das funções neuromusculares ao treinamento pliométrico, Wilkerson *et al.* (2004) acompanharam 19 atletas de basquetebol (11 integravam o grupo de treino e 8 o grupo controle) por 6 semanas. Foi avaliado o pico de torque isocinético de isquiotibiais e quadríceps, força de impacto e equilíbrio durante um teste de agilidade. Os resultados demonstram interação entre os grupos para o pico de torque dos isquiotibiais na velocidade de 60°/s. Adicionalmente, os autores sugerem que o treinamento pliométrico pode auxiliar a melhora de atributos neuromusculares.

No mesmo ano, Toumi *et al.* (2004) avaliaram os efeitos da velocidade da fase excêntrica no treinamento pliométrico sobre o salto vertical. Eles avaliaram 30 homens sedentários (G1, n = 12 que realizaram treinos com fase excêntrica de 0,4 m/s; G2, n = 12 que realizaram treinos com fase excêntrica de 0,2 m/s; G3, n = 6 controle) que passaram por 8 semanas (4x por semana) de intervenção. As variáveis analisadas foram força isométrica máxima, força concêntrica máxima, salto com meio agachamento e salto com contramovimento. Os resultados

evidenciam que embora G1 e G2 tenham melhorado o desempenho nos parâmetros avaliados, G1 apresentou melhora significativa no desempenho do salto com contramovimento, juntamente com uma fase de transição mais rápida. Os resultados encontrados por Toumi *et al.* (2004) sugerem que a velocidade da fase excêntrica tem um papel importante sobre o resultado do treinamento pliométrico.

Anos mais tarde, Miller *et al.* (2006) avaliaram o efeito de 6 semanas (2x por semana) de treinamento pliométrico sobre a agilidade. Participaram desta pesquisa 28 sujeitos saudáveis que foram divididos igualmente em grupo treino e grupo controle. Foram realizados três diferentes testes de agilidade (teste T, *Illinois test*, deslocamento sobre uma plataforma de força). Os resultados apontam que houve melhora significativa do grupo de treino nos três testes, sugerindo que a pliometria pode ser uma técnica eficaz de formação para melhorar a agilidade.

No Congresso Internacional de Biomecânica, Jeansonne *et al.* (2007) apresentaram um trabalho sobre o efeito do treinamento pliométrico no pico de impacto e ângulo de flexão de joelho em mulheres durante saltos máximos e saltos específicos da modalidade futebol (cabeceios). A amostra foi composta por 16 futebolistas que participaram de 4 semanas de treinamento (2x por semana). Os resultados indicaram que houve melhora da técnica de salto, com aumento do ângulo de flexão do joelho e diminuição do pico da força de reação do solo tanto para o salto máximo quanto para o salto específico.

No mesmo ano, Kubo *et al.* (2007) publicaram um trabalho comparando os efeitos do treinamento pliométrico e do treinamento com pesos sobre as propriedades mecânicas do complexo músculo-tendão e o desempenho no salto. A intervenção teve duração de 12 semanas (4x por semana) e a participação de 10 sujeitos, sendo que cada um deles treinou pliometria com uma perna (40% de 1RM) e com a outra realizou o treinamento com pesos (80% de 1RM). O desempenho dos sujeitos foi avaliado a partir do salto com meio agachamento, do salto com contramovimento e do salto em profundidade. O treinamento pliométrico apresentou melhora significativa na altura de salto nos três tipos de salto avaliados, enquanto o treinamento com pesos demonstrou melhora significativamente

somente no salto com meio agachamento. A rigidez do tendão aumentou significativamente para o grupo que treinou com pesos, já o grupo de pliometria aumentou significativamente a rigidez na articulação. Para nenhum dos grupos houve alteração significativa da ativação muscular durante o salto (gastrocnêmio medial e lateral, tibial anterior e sóleo).

Sankey, Jones e Bampouras (2008) analisaram os efeitos de dois diferentes programas de treinamento pliométrico em atletas escolares durante 6 semanas. Os 18 participantes foram igualmente divididos em três grupos. Um dos grupos de intervenção treinou utilizando cargas constantes, o outro grupo treinou utilizando cargas incrementais e o terceiro grupo foi controle. Os sujeitos foram analisados pré e pós treino a partir de um salto com contramovimento (impulso, altura de salto, velocidade de decolagem e pico da força de reação do solo) e um salto em profundidade partindo de 0,4 m (tempo de contato, tempo de voo, altura de salto e índice de força reativa – quociente da altura saltada e tempo de contato). Os grupos de treino apresentaram desempenhos semelhantes, mas o grupo de treino com cargas incrementais teve tendência a ser melhor (apresentou diferenças significativas para o tempo de contato e o índice de força reativa – quociente entre a altura saltada (cm) e o tempo de contato (s) - no salto em profundidade). De modo geral os resultados sugerem que a manipulação da intensidade do exercício para o treinamento de pliometria com curta duração parece ser menos importante do que a própria intervenção.

Ainda sobre os efeitos do treinamento pliométrico em jovens atletas, Thomas *et al.* (2009) analisaram o efeito de duas técnicas de treinamento sobre a potência muscular e agilidade em futebolistas. 12 atletas passaram por um período de intervenção de 6 semanas (2x por semana) e foram divididos em dois grupos, sendo que 7 realizaram treinos com salto em profundidade e 5 realizaram treinos com salto com contramovimento. Os atletas foram avaliados pela altura de salto vertical no salto com contramovimento, agilidade (*505 agility test*) e velocidade (*sprint* de 20m). Os resultados demonstraram que ambos os grupos melhoraram a altura saltada e agilidade, no entanto não houve diferenças significativas entre os grupos de

tratamento, indicando que ambas as formas de treinamento foram eficazes.

Makaruk e Sacewicz (2010) observaram os efeitos de 6 semanas (2x por semana) de treinamento pliométrico sobre a potência máxima e capacidade de salto em 44 sujeitos não treinados (divididos em grupo de intervenção e controle). Estes sujeitos foram avaliados por saltos com contramovimento e em profundidade (destes testes foram derivadas as seguintes variáveis: potência máxima, altura de elevação do centro de massa, tempo de contato concêntrico e ângulo de flexão do joelho) e o teste *five-hop*. Os resultados apontam que para o grupo de treinamento houve aumento significativo da potência máxima para os dois tipos de salto. No salto em profundidade o tempo de contato foi significativamente menor e o ângulo de joelho foi menor durante a primeira aterrissagem.

No mesmo ano, Roopchand-Martin e Lue-Chin (2010) propuseram um treinamento pliométrico com duração de 3 semanas (2x por semana) para os atletas da seleção jamaicana de *netball* a fim de analisar os efeitos deste treinamento sobre a potência muscular e agilidade destes atletas. Os sujeitos foram avaliados pelo teste de salto vertical, teste de salto horizontal e teste de agilidade (*Illinois agility test*). Os resultados apontaram que os sujeitos melhoraram o desempenho nos testes de salto vertical, salto horizontal e de agilidade.

Sáez Sáez de Villarreal (2010) apresenta os resultados de uma interessante pesquisa que aplicou o treinamento pliométrico em mulheres adultas durante 8 semanas (3x por semana). Participaram da pesquisa 55 mulheres que foram divididas em três grupos de acordo com a faixa etária: grupo 1, n = 11, indivíduos entre 40 e 50 anos; grupo 2, n = 20, indivíduos entre 50 e 60 anos; e grupo 3, n = 24, indivíduos entre 60 e 70 anos. Os testes realizados foram o salto com contramovimento, teste de sentar e levantar em 30 segundos e um teste de velocidade de 10m. Os resultados apresentados apontam que os três grupos melhoraram o desempenho no salto com contramovimento e a força avaliada pelo teste de sentar e levantar em 30 segundos. No entanto nenhum dos grupos apresentou melhora no teste de velocidade de 10m.

Alam *et al.* (2012) investigaram da inclusão de exercícios pliométricos na preparação física de atletas de elite de handebol, durante 6 semanas (3x por semana). A amostra foi composta por 20 atletas que foram igualmente divididos em grupo de treino e grupo controle. O desempenho dos participantes foi avaliado pelo teste de salto vertical, velocidade de 30 metros, arremesso de *medicine ball* e *shuttle briskness test*. Os resultados indicam que o treinamento pliométrico teve efeito significativo sobre o desempenho dos atletas, ocasionando melhorias nos resultados destes quatro testes.

Taube *et al.* (2012) considerando que as atividades reflexas dependem da altura do salto – o que influenciaria a atividade neuromuscular, analisaram os efeitos de dois tipos diferentes de treinamento pliométrico. Para isso, os 33 sujeitos foram separados em três grupos, sendo: grupo 1 (n = 11), realizou treinamento de saltos em profundidade com variação da altura de partida do salto (0,3, 0,5 e 0,75 m); grupo 2 (n = 11), realizou treinamento de saltos em profundidade com altura de partida do salto fixa (0,3 m); grupo 3 (n = 11), serviu como grupo controle. A intervenção teve duração de 3 semanas, sendo que foram realizadas 4 sessões de treinamento em cada semana. Os resultados deste estudo apontam que a altura saltada foi significativamente maior no grupo 1, já para o grupo 2 foi somente observado uma tendência. Em contrapartida, a duração do contato com o solo aumentou no grupo 1 e diminuiu no grupo 2. O índice de força reativa melhorou de forma semelhante nos dois grupos de intervenção, adicionalmente ocorreram adaptações neuromusculares.

Recentemente, Kumar (2013) avaliou os efeitos do treinamento pliométrico sobre a agilidade de 30 atletas universitários de futebol. Para isso, os atletas foram aleatoriamente alocados em dois grupos (grupo de treino, n = 15; grupo controle, n = 15) e passaram por um período de 6 semanas de treinamento (3x por semana). O desempenho da agilidade dos sujeitos foi mensurado com o teste T. Os resultados apontam que houve efeito significativo da intervenção sobre o desempenho no teste de agilidade para o grupo de treino, indicando que o treinamento pliométrico é útil para melhora da agilidade em jogadores de futebol.

A fim de verificar as adaptações neuromusculares induzidas pelo treinamento pliométrico, Alkjaer *et al.* (2013) realizaram uma intervenção de 4 semanas em 9 saltadores e velocistas de alto nível. Os resultados apontaram que houve aumento significativo da altura de salto e do índice de força reativa. Houve também aumento na potência pico de tornozelo e joelho, diminuição na pré-ativação do músculo sóleo. o reflexo H permaneceu inalterado, enquanto que a ativação da onda V foi alterada, indicando um possível aumento de unidades do motoneurônio alfa. Adicionalmente, não houve alteração nos parâmetros de força isométrica e isocinética, possivelmente devido ao curto tempo de intervenção, que pode não ter sido estímulo suficiente para adaptação desta valência. É importante destacar que os resultados obtidos pelos autores evidenciam a importância dos fatores neurais que regulam o padrão de ativação para a melhora no desempenho do salto.

A partir dos estudos expostos anteriormente é possível observar que, de modo geral, quando os exercícios pliométricos são executados com técnica adequada, as respostas positivas oriundas do treinamento são independentes do nível de condicionamento físico, idade ou o sexo do participante.

Acerca da avaliação do desempenho do salto vertical, é essencial a análise das forças de reação do solo (SHETTY; ETNYRE, 1989). Elvira *et al.* (2001) citam que a avaliação dos picos de força é de suma importância para acompanhar o desempenho de um indivíduo ou a efetividade de um programa de treinamento. A seguir serão apresentadas considerações sobre a força de reação do solo (FRS) durante o salto vertical.

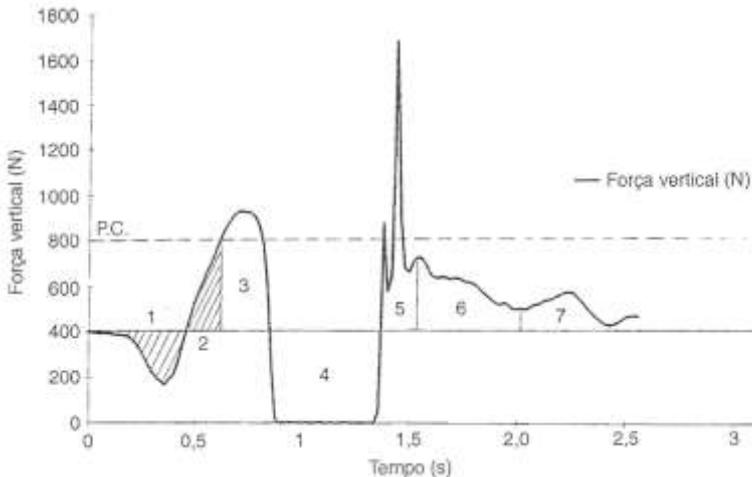
### 2.1.2 Força de Reação do Solo

Considerando o potencial para a ocorrência de lesões que são associadas às cargas excessivas impostas ao sistema musculoesquelético dos indivíduos, Nigg *et al.* (1984) sugeriram a importância da avaliação das forças externas. Conforme McClay *et al.* (1994), a FRS indica a intensidade e a duração do estresse ao qual o corpo é submetido durante o contato com a superfície e permite identificar quais movimentos apresentam

componentes de alto impacto, e também determinar o quão rapidamente esses impactos ocorrem.

Nicol (2001) apresenta uma curva de força vertical *versus* tempo aplicada a um dos pés obtida durante a execução de um salto com contramovimento (Figura 5). Segundo o autor, na fase de propulsão, conforme o corpo é acelerado para cima, os quadris e joelhos estendem com a produção de forças no solo bem acima de 100 % do peso corporal por pé; já durante a aterrissagem, o contato inicial do pé no solo produzirá um grau de carga muito rápido, e forças muito acima de 200% do peso corporal serão experimentadas. Nessa figura, admitindo-se que a distribuição entre os membros é simétrica, a força vertical total que contribui para a aceleração vertical do corpo corresponde ao dobro dos valores apresentados.

Figura 5 - Curva de força versus tempo aplicada sobre um dos pés durante um SCM. Onde: (1) fase inicial; (2) e (3) fase de propulsão; (4) fase de voo; (5) fase de aterrissagem; (6) e (7) fase de estabilização.



Fonte: Nicol, 2001.

Com base na curva de força-tempo acima, Nicol (2001) divide o salto vertical em sete fases distintas, descritas a seguir:

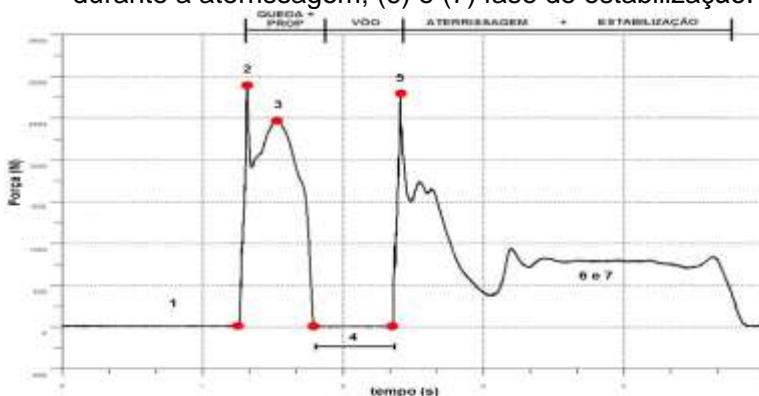
- a) *Fase 1*: a área do gráfico de força abaixo da linha da metade do peso corporal (400 N) por pé indica que o peso do corpo não está sendo sustentado e que o corpo sofrerá aceleração para baixo. No final desta fase o corpo estará se movendo com a máxima velocidade para baixo;
- b) *Fase 2*: a segunda área é a desaceleração da velocidade para baixo até o corpo parar no ponto mais baixo antes da ação de saltar. O ponto mais baixo do movimento do centro de gravidade ocorre no final da Fase 2;
- c) *Fase 3*: a área grande e as grandes forças acima da linha da metade do peso corporal significam que o corpo acelerará verticalmente para cima e, assim, a área três representa a principal ação propulsora para a atividade de saltar. Quando a curva de força passa para menos da metade do peso corporal, haverá um pequeno retardamento nesta aceleração para cima antes do final da fase três no momento da decolagem;
- d) *Fase 4*: Quando nenhuma força é aplicada ao solo, o corpo não está em contato com o mesmo, e esta é a fase de voo. A duração da fase de voo é importante porque o corpo pode ser considerado em voo livre, e a primeira metade do tempo da fase de voo apresentará velocidade para cima enquanto a segunda metade representará o retorno para o solo com velocidade para baixo. Portanto, é possível calcular a altura atingida no salto, conhecendo-se o tempo de voo e o valor da aceleração gravitacional;
- e) *Fase 5*: Quando o corpo chega ao solo, ocorre o contato inicial com a parte anterior do pé seguido por um aumento muito rápido da força na medida em que a perna e o resto do corpo desaceleram rapidamente da velocidade para baixo. Valores de força máxima bem acima de duas vezes o peso corporal são regularmente observados em cada pé. O formato da Fase 5 é normalmente um pico agudo, seguido por um retorno muito rápido até o final da fase para algum ponto próximo à metade do peso corporal em cada pé;

- f) *Fase 6*: Para recuperar a altura, o sujeito continua a aplicar uma força acima da metade do peso corporal por pé e o corpo acelera para cima novamente;
- g) *Fase 7*: Esta fase é a recuperação para a velocidade zero, com o centro de massa geralmente se aproximando da altura normal do sujeito em pé e a força sobre cada pé voltando à metade do peso corporal para cada pé (supondo simetria). Qualquer curva de força acima da linha da metade do peso corporal indica controle da massa para cima, enquanto forças abaixo da linha da metade do peso corporal indicariam “excessos”, e seriam necessários para permitir que o corpo voltasse para baixo até a altura do centro de massa.

A divisão do salto vertical proposta por Nicol (2001) também pode ser utilizada para entendimento do salto em profundidade, entendendo a fase 2 como o momento logo após a fase de queda livre, conforme pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 - Curva de força *versus* tempo e representação do SP.

Onde: (1) fase inicial; (2) força máxima durante a subfase excêntrica do contato; (3) força máxima durante a subfase concêntrica do contato; (4) tempo de voo; (5) força máxima durante a aterrissagem; (6) e (7) fase de estabilização.



Fonte: Laboratório de Biomecânica Aquática.

Jódar e Redín (1995) afirmam que a relação de aplicação das forças na fase de propulsão é uma informação importante para determinar a eficácia de um salto. Hochmuth (1973) *apud* Jódar e Redín (1995) explica que uma alta velocidade no momento anterior à decolagem depende da consecução de uma relação ótima entre o chamado impulso de frenagem (área limitada pela duração da contração excêntrica) e o impulso de aceleração (área formada pelas forças positivas que projetam o corpo na direção do salto). O autor cita que o valor ideal da razão entre os impulsos é 0,3 (frenagem/propulsão) e afirma que para conseguir esta relação ótima entre ambos, deve-se aplicar o máximo pico de força na propulsão.

Dowling e Vamos (1993) demonstraram que, para alcançar alturas de salto maiores do que 0,3 m, os sujeitos necessitam gerar valores de propulsão equivalente a mais de duas vezes o próprio peso corporal. Entretanto, estes autores encontraram valores maiores do que este em saltos que atingiram alturas de 20 cm ou menos, sugerindo que outros fatores além da força muscular (por exemplo, potência, técnica, flexibilidade, coordenação e características antropométricas) poderiam desempenhar um papel importante no desempenho do salto vertical.

Outro ponto da curva força-tempo que apresenta valores elevados é a fase de aterrissagem, que independentemente do tipo de salto, configura-se como uma situação onde o estresse mecânico aplicado ao aparelho locomotor é bastante considerável (ABILEL *et al.*, 2002), e em função disso tem sido analisada ao longo dos anos (SIMPSON; CIAPPONI; WANG, 2003; McNITT-GRAY, 2004). Segundo Simpson, Ciapponi e Wang (2003), a fase de aterrissagem pode ser dividida em duas subfases: (1) subfase passiva, que consiste dos primeiros 50 a 80 milissegundos. Nesta fase, de acordo com Nigg e Herzog (1994), não pode ocorrer nenhuma ativação muscular voluntária em resposta às forças repentinas de impacto que são aplicadas ao pé dentro desse intervalo de tempo); e (2) subfase fase ativa, na qual deve ocorrer uma atividade muscular excêntrica adicional a fim de resistir à flexão dos membros inferiores.

Consultando a literatura é possível verificar que durante aterrissagens com dois pés a partir de saltos verticais foram

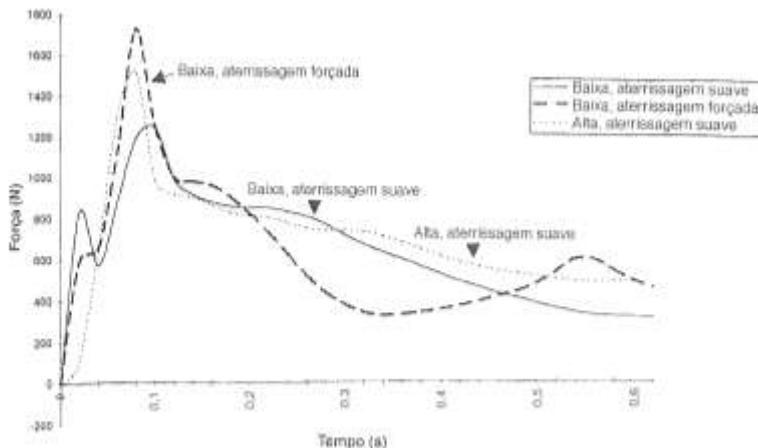
encontrados picos de força vertical ( $F_y$ ) variando entre 3 e 8 vezes o peso corporal (PC) dos indivíduos. Aura e Viitasalo (1989), ao analisar atividades de salto e aterrissagem, como a descida de degraus, saltos em profundidade, salto com pés alternados e salto em altura, obtiveram picos  $F_y$  de 6,5 a 10,5 PC nos instantes iniciais de contato com o solo. Em atividades como um rebote no basquetebol, um salto duplo na ginástica ou nas diferentes fases do salto triplo, os valores de  $F_y$  na aterrissagem podem exceder 10 PC em cada um dos pés (AMADIO, 1988; McCLAY *et al.*, 1994; PANZER *et al. apud* PRAPAVESSIS; McNAIR, 1999).

Wallace *et al.* (2010) analisaram a FRS de diferentes saltos pliométricos (saltos em profundidade de 0,3, 0,6 e 0,9 m de queda, e saltos em distância) realizados por sujeitos treinados e relataram picos de FRS em  $F_y$  variando de 3,33 até 5,39 PC. Observa-se, portanto, que se trata de valores de força consideráveis, e que podem muitas vezes estar associados à ocorrência de lesões por impacto nos membros inferiores (MacLELLAN; VYVYAN, 1981).

Sabe-se que alguns fatores influenciam as forças verticais de reação durante a aterrissagem: o calçado e a superfície de contato (MCNITT-GRAY; YOKOI; MILLWARD, 1994; IMPELLIZZERI *et al.*, 2007), a técnica de posicionamento corporal escolhida pelo executante (VALIANT; CAVANAGH, 1983; BARRIER *et al.*, 1997), a pré-ativação muscular (DYHRE-POULSEN; SIMONSEN; VOIGT, 1991), a fadiga (MADIGAN; PIDCOE, 2003; MORAN; MARSHALL, 2006), o sexo (HUSTON; MILLER; WOJTYS, 2001; DECKER *et al.*, 2003) e outros, como o fator expectativa em relação à queda (ABILEL *et al.*, 2002).

Um exemplo de como a técnica de aterrissagem influencia os valores da FRS é apresentado na Figura 7. Nas atividades de rotina, a aterrissagem pode envolver uma aterrissagem “forçada” (na qual os joelhos e o quadril não “absorvem” a energia da queda) ou uma aterrissagem suave (na qual ocorre flexão do joelho e do quadril para facilitar a ação de aterrissagem) (NICOL, 2001).

Figura 7 - Forças verticais para a aterrissagem de alturas baixas e elevadas, de forma forçada ou suave.



Fonte: Nicol, 2001.

É possível notar que a aterrissagem suave tem duração que equivale aproximadamente ao dobro da aterrissagem forçada. De acordo com Nicol (2001), o movimento do corpo é controlado de maneira diferente nas duas atividades e isto é demonstrado pelos valores dos momentos de flexão/extensão no quadril e no joelho, que são diferentes entre as condições. Quando a altura da aterrissagem em queda foi aumentada para 0,6 m, as forças e momentos para uma aterrissagem suave também aumentaram drasticamente. O estilo de aterrissagem produz uma grande amplitude de valores para os ângulos e momentos articulares, e os músculos terão que trabalhar em razão de cada situação. Para grandes momentos, pode ser esperado que as forças de contato também sejam grandes.

Aterrissagens com técnicas apropriadas podem reduzir significativamente os impactos e assim os riscos de lesão, dependendo do ângulo do joelho no momento do primeiro contato (STACOFF *et al.*, 1988) e da flexão plantar do tornozelo (VALIANT; CAVANAG, 1983; GROSS; NELSON, 1988). De acordo com Fantini e Menzel (2001), com as técnicas mais

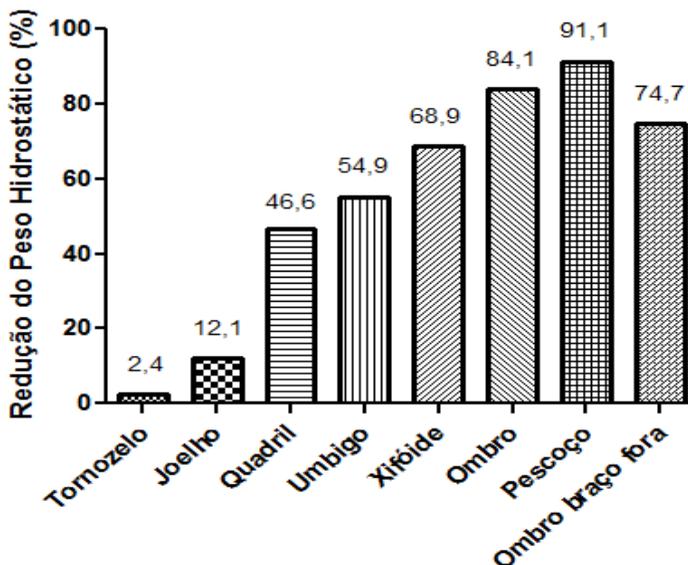
apropriadas, os impactos máximos não ultrapassam 4,5 PC, e técnicas desfavoráveis levam a valores entre 6 e 7 PC. Neste sentido, fatores que podem reduzir a magnitude da componente vertical em saltos verticais são a instrução técnica adequada para a realização do salto (PRAPAVESSIS; McNAIR, 1999) e também o próprio treinamento pliométrico (HEWETT, 1996; JEANSONNE *et al.*, 2007; VESCOVI *et al.*, 2008), que pode induzir melhora da técnica e da coordenação do movimento.

## 2.2 EXERCÍCIOS AQUÁTICOS

Algumas leis físicas são aplicadas ao meio aquático, entre elas é importante destacar a flutuação (conhecida como princípio de Arquimedes) e a pressão hidrostática (lei de Pascal). De acordo com Skinner e Thompson (1985) o princípio de Arquimedes ocorre quando um corpo está completa ou parcialmente imerso em um líquido em repouso, sofrendo desta forma uma força para cima (empuxo) igual ao peso do volume de líquido deslocado. A lei de Pascal por sua vez afirma que a pressão do líquido é exercida igualmente sobre todas as áreas da superfície de um corpo imerso em repouso, a uma dada profundidade. A pressão varia em conformidade com a densidade do líquido e com sua profundidade. Outro fator importante a considerar é a resistência dos fluidos, que representa a força de resistência encontrada por um objeto para se movimentar através de um fluido (HARMAN, 2008).

Em se tratando da utilização do ambiente aquático para a realização de exercícios diversos, dentre as condições criadas pelas propriedades físicas do meio, a mais importante parece ser a redução do peso aparente causada pela ação do empuxo, como é possível observar na Figura 8.

Figura 8 - Redução do peso hidrostático conforme nível de imersão.



Fonte: Adaptado de Kruehl (1994).

Devido à ação do empuxo, é mais fácil suportar o corpo na água do que no ambiente terrestre e, em razão disso, os movimentos são tipicamente realizados mais lentamente na água e por isso podem ser melhor controlados (devido às forças de arrasto produzidas em virtude da resistência e da viscosidade da água), além de serem menores as forças de impacto agindo sobre o sistema musculoesquelético (SHELD AHL, 1986; BARELA *et al.*, 2006).

Considerando as propriedades físicas da água, a terapia e os exercícios aquáticos ganharam popularidade e aceitação, tanto para a manutenção da saúde e aquisição de condicionamento físico como para a reabilitação (TAKESHIMA *et al.*, 2001; MASUMOTO *et al.*, 2004; KANEDA *et al.*, 2007), principalmente entre os grupos especiais compostos por indivíduos idosos, gestantes, obesos e aqueles acometidos por doenças como a osteoporose, artrite e fibromialgia, que ao se exercitar em ambiente terrestre podem apresentar desconforto

osteomuscular (PÖYHÖNEN *et al.*, 2001; ALTENEDER; HORNBECK, 2003).

Para os sujeitos que procuram a melhora ou manutenção da saúde, a água provê um meio seguro (menor chance de quedas, evento traumático ou risco cardíaco) e confortável para a realização de exercícios (TAKESHIMA *et al.*, 2001). Os benefícios advindos da prática de atividade física na água são muitos, tais como a melhora da força muscular (PETRICK *et al.*, 2001; FOLEY *et al.*, 2003), do equilíbrio (SIMMONS; HANSEN, 1996; THEIN; BRODY, 1998), do condicionamento aeróbio (CHU *et al.*, 2004), da flexibilidade e da composição corporal (TAKESHIMA *et al.*, 2001). E, além disso, a sensação de bem estar causada pela temperatura da água e a minimização da exposição do corpo durante a prática da atividade proporcionam benefícios relativos à melhora da qualidade de vida (TAKESHIMA *et al.*, 2001; DEVEREUX *et al.*, 2005).

No caso dos atletas, há situações em que ocorre a substituição dos treinos em ambiente terrestre por sessões de treinamento dentro da água, objetivando não só a manutenção e/ou melhora do condicionamento, mas também o restabelecimento de alguma função visando a reabilitação do indivíduo ao esporte. A corrida na água, por exemplo, é utilizada para reduzir os estresses de impacto na preparação para modalidades esportivas de locomoção, como forma de treinamento suplementar para o condicionamento cardiorrespiratório e também para minimizar o decréscimo no desempenho durante a recuperação de uma lesão (REILLY; DOWZER; CABLE, 2003). Além da corrida, o salto dentro da água tem sido utilizado como forma substitutiva ou complementar para o treino pliométrico, com efeitos positivos no que diz respeito aos ganhos de força (MILLER *et al.*, 2002; ROBINSON *et al.*, 2004; MARTEL *et al.*, 2005; MILLER *et al.*, 2007; SHAFFER, 2007; STEMM; JACOBSON, 2007) e com menor dor muscular depois das sessões de exercício (ROBINSON *et al.*, 2004; SHIRAN *et al.*, 2008).

Os saltos em ambiente aquático também estão presentes em programas de exercícios que objetivam o aumento de massa óssea de mulheres osteopênicas ou com risco de osteoporose (BRAVO, 1997; AY; YURTKURAN, 2005), o condicionamento

físico e a prevenção de quedas de idosos (RUOTI; TROUP; BERGER, 1994) e a reabilitação de atletas (THEIN; BRODY, 1998). Nesses casos, trata-se de indivíduos que necessitam de estímulos de carga, porém com magnitudes reduzidas, que dificilmente conseguiriam ser controlados em terra.

Apesar de atenuadas as forças resultantes que atuam sobre indivíduo através ação do empuxo, estas ainda estão presentes. Quando há o contato com o solo, por exemplo, para que seja possível a realização do movimento e para que o indivíduo seja capaz de vencer a resistência da água, faz-se necessário a presença das componentes da FRS (DOWZER *et al.*, 1998). A magnitude dessas componentes, apesar de menor do que os valores observados fora da água pode ser excessiva dependendo da condição ou problema que o indivíduo apresenta e, além disso, varia de acordo com o nível de imersão adotado (BATES; HANSON, 1998; RUOTI; MORRIS; KUORI, 2000; CAMPION, 2000). Além disso, o ambiente aquático oferece uma resistência e uma força de empuxo que influencia diretamente as respostas fisiológicas aos exercícios realizados neste meio. Esta característica da água produz uma modificação no padrão da atividade muscular, onde há uma predominância de ações musculares concêntricas durante a execução dos movimentos ou exercícios na água (PANTOJA *et al.*, 2009). A seguir serão apresentadas considerações sobre a FRS durante o salto vertical no ambiente aquático.

### 2.2.1 Força de Reação do Solo nos Exercícios Aquáticos

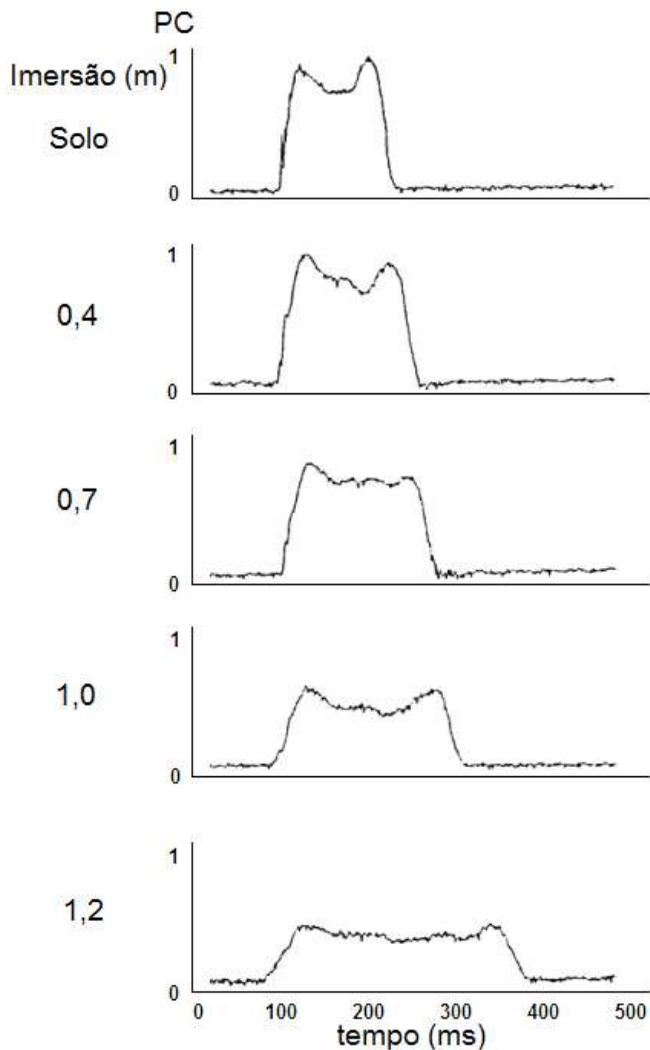
Diversos estudos investigaram a redução do peso aparente, através da análise da componente vertical da FRS na realização da caminhada dentro da água, comparando os valores encontrados em ambiente aquático com os valores observados no ambiente terrestre, e também comparando valores encontrados em diferentes níveis de imersão (HARRISON, 1992; NAKASAWA *et al.*, 1994; BRITO *et al.*, 2004; YANO *et al.*, 1995; YAMAMOTO *et al.*, 1995; ROESLER *et al.*, 2006). Porém, outros exercícios bastante comuns em programas de hidroginástica e de reabilitação aquática, como a corrida com deslocamento, a

corrida estacionária e os saltos são pouco explorados em termos de variáveis dinâmicas (BRITO *et al.*, 2007; HAUPENTHAL *et al.*, 2007; HAUPENTHAL, 2008; FONTANA, 2008; FONTANA, 2011) e na maioria das vezes, os estudos analisam variáveis fisiológicas (REILLY; DOWZER; CABLE, 2003; CHU; RHODES, 2001; WANG *et al.*, 2006), cinemáticas (TARTARUGA *et al.*, 2004; SILVA FILHO; FERNANDES; DA COSTA, 2005; PLATONOU, 2005) e eletromiográficas (KANEDA *et al.*, 2007; MASUMOTO *et al.*, 2004; MASUMOTO; MERCER, 2008).

O início da quantificação da força resultante atuante sobre o indivíduo submerso com a finalidade de embasar cientificamente os processos de prescrição de atividades aquáticas e de recuperação funcional terapêutica em piscina pode ser remetida ao estudo de Harrison e Bulstrode (1987). Os autores, nesse estudo, mensuraram o peso hidrostático de indivíduos estáticos em diversos níveis de imersão. Entretanto, como era esperada a variação destes valores quando os indivíduos estivessem em movimento. Anos mais tarde, Nakasawa *et al.* (1994), Yano *et al.* (1995) e Yamamoto *et al.* (1995) iniciaram os estudos sobre as componentes da FRS durante a marcha em terra e na água utilizando plataformas de força resistentes à água.

Nakasawa *et al.* (1994) analisaram a componente vertical da FRS da marcha de seis indivíduos (quatro homens e duas mulheres) fora e dentro da água em quatro níveis de imersão (0,4 m, 0,7 m, 1,0 m e 1,2 m), a uma velocidade auto-selecionada. A Figura 9 apresenta as curvas da FRS em função do tempo, com os valores de força divididos pelo peso corporal dos sujeitos (normalização pelo peso corporal). Nota-se que os valores das forças diminuem e que a duração do contato (tempo de apoio) aumenta conforme aumenta a profundidade de imersão. Os autores relatam que na maior imersão estudada (1,2 m), os valores máximos da componente vertical da FRS corresponderam em média a 40% do peso corporal dos indivíduos.

Figura 9 - Exemplos da curva da componente vertical da FRS da marcha no solo e nas diferentes profundidades analisadas.

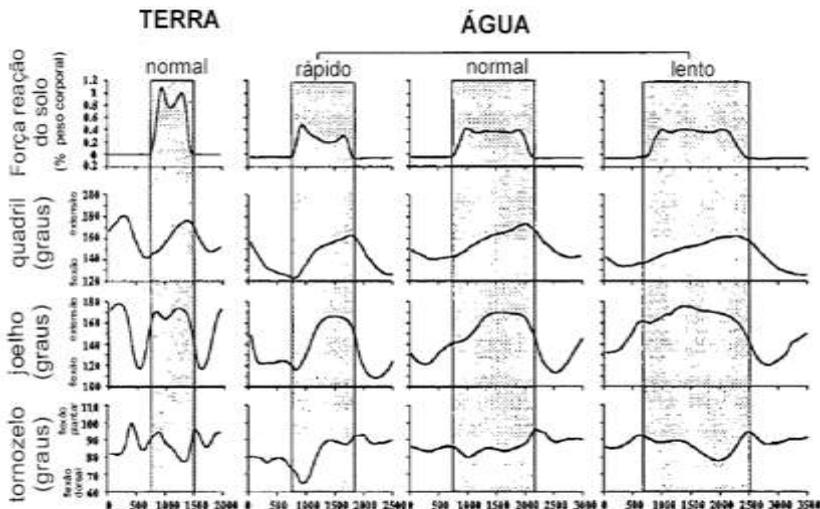


Fonte: Nakasawa *et al.* (1994).

Em 1995, Yamamoto *et al.* analisaram a marcha de 3 sujeitos através da força de reação vertical e da variação angular

do quadril, joelho e tornozelo. Os sujeitos caminharam em ambiente terrestre e em ambiente aquático (imersos a uma profundidade de 1,2 m), em três velocidades: lenta, confortável e rápida. A Figura 10 apresenta os gráficos referentes à componente vertical da FRS e ao deslocamento angular nas diferentes condições do estudo e pode ser observado que a curva da componente vertical da FRS da marcha subaquática tem um padrão diferente quando comparadas as velocidades rápida e lenta. Na velocidade rápida, os picos de força estão mais definidos e ocorre uma deflexão na curva, o que não foi observado para a velocidade lenta.

Figura 10 - Exemplos das curvas da componente vertical da FRS e da variação angular para a marcha realizada em ambiente terrestre e aquático, em diferentes velocidades.



Fonte: Yamamoto *et al.* (1995).

No Brasil, o Grupo de Pesquisas em Biomecânica Aquática do Centro de Ciências da Saúde e do Esporte da Universidade do Estado de Santa Catarina (CEFID/UDESC) iniciou o estudo da marcha dentro da água em 2000, com a utilização de plataformas de força subaquáticas, capazes de

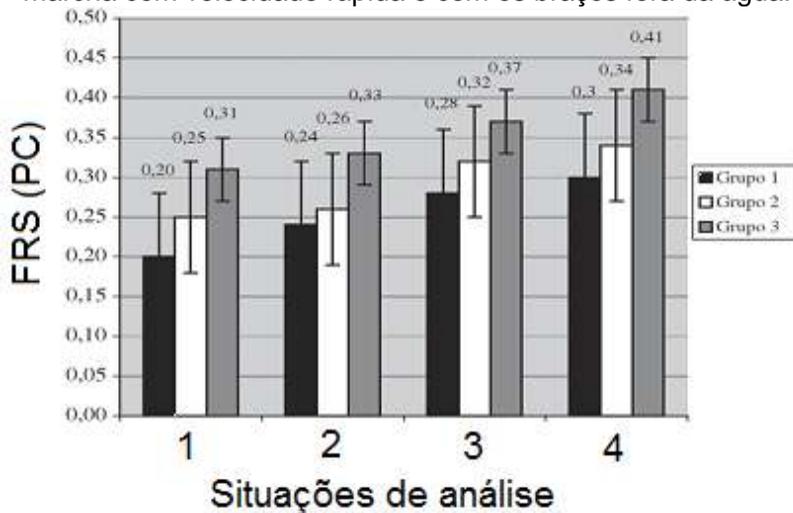
medir forças e momentos nos três eixos, projetadas e construídas por Roesler (1997). Desde então, plataformas semelhantes àquela são os principais instrumentos utilizados por este grupo para a análise das componentes da FRS durante a execução de diferentes tipos exercícios aquáticos. Um dos principais objetos de estudo do referido grupo de pesquisa é a comparação das forças agindo sobre o indivíduo em diferentes níveis de imersão, que pode ser utilizada como subsídio para a prescrição dos exercícios aquáticos, uma vez que a principal estratégia utilizada por profissionais para o controle de cargas dentro da água é a variação da profundidade.

Em relação à caminhada na água, estudos preliminares foram desenvolvidos para a determinação de protocolos de avaliação (BRITO *et al.*, 2000; SCHUTZ *et al.*, 2002). A partir de então, os trabalhos realizados contemplaram análises da componente vertical da FRS da marcha subaquática de homens e mulheres de diferentes faixas etárias (ROESLER *et al.*, 2003); de sujeitos imersos nas profundidades do joelho e do quadril (BRITO *et al.*, 2004); de sujeitos imersos no nível do esterno (SOUZA *et al.*, 2005); de crianças normais imersas no nível do processo xifoide (SOUZA, 2006); de sujeitos com diferentes características antropométricas, com e sem o balanço de membros superiores, imersos nos níveis do manúbrio, do processo xifoide e do ponto intermediário entre eles (ROESLER *et al.*, 2006); e de crianças com mielomeningocele imersas no nível do processo xifoide (CARNEIRO *et al.*, 2007).

Roesler *et al.* (2006) analisando a caminhada com os membros superiores dentro da água, estendidos ao longo do corpo e encontraram valores médios de força vertical correspondentes a 20% e a 24% do peso corporal para o grupo dos sujeitos imersos no nível do manúbrio (Grupo 1), em velocidades lenta e rápida, respectivamente; a 25% e 26% do peso corporal para o grupo dos sujeitos imersos no nível do ponto intermediário entre o manúbrio e o processo xifoide (Grupo 2), em velocidades lenta e rápida, respectivamente; e a 31% e 33% do peso corporal para o grupo dos sujeitos imersos no nível do processo xifoide (Grupo 3), em velocidades lenta e rápida, respectivamente.

Os mesmos autores, ao analisar a caminhada com os membros superiores fora da água, encontraram valores médios de força vertical correspondentes a 28% e a 30% do peso corporal para o grupo 1, em velocidades lenta e rápida, respectivamente; a 32% e 34% do peso corporal para o grupo 2, em velocidades lenta e rápida, respectivamente; e a 37% e 41% do peso corporal para o grupo 3, em velocidades lenta e rápida, respectivamente, conforme a Figura 11.

Figura 11 - Força de reação do solo no eixo vertical durante a marcha em diferentes situações. Onde: (1) marcha com velocidade lenta e com os braços dentro da água; (2) marcha com velocidade lenta e com os braços fora da água; (3) marcha com velocidade rápida e com os braços dentro da água; e (4) marcha com velocidade rápida e com os braços fora da água.

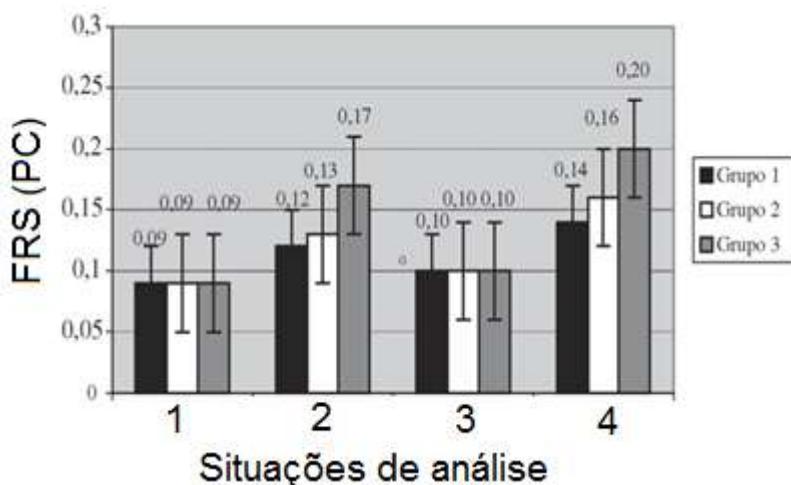


Fonte: Roesler *et al.*, (2006).

Nesta mesma pesquisa também foi analisada a componente antero-posterior da força de reação do solo. Para a caminhada com os membros superiores dentro da água, foram encontrados valores médios de 9% e 12% do peso corporal para os sujeitos do grupo 1, em velocidades lenta e rápida,

respectivamente; para o grupo 2 os valores corresponderam a 9% e a 13% do peso corporal; e para o grupo 3 estes valores foram de 9% e 17% do peso corporal. Já para a caminhada com os membros superiores fora da água, os valores médios de força antero-posterior corresponderam a 10% e 14% do peso corporal para os sujeitos do grupo 1, em velocidades lenta e rápida, respectivamente; para o grupo 2 os valores corresponderam a 10% e a 16% do peso corporal; e para o grupo 3 estes valores foram de 10% e 20% do peso corporal, conforme a Figura 12.

Figura 12 - Força de reação do solo no eixo antero-posterior durante a marcha em diferentes situações. Onde: (1) marcha com velocidade lenta e com os braços dentro da água; (2) marcha com velocidade lenta e com os braços fora da água; (3) marcha com velocidade rápida e com os braços dentro da água; e (4) marcha com velocidade rápida e com os braços fora da água.



Fonte: Roesler *et al.*, (2006).

Após as pesquisas com a marcha, o grupo de pesquisas em Biomecânica Aquática do CEFID passou a dedicar-se ao estudo da corrida aquática, devido à ampla utilização desse tipo

de exercício em protocolos de condicionamento físico e reabilitação. Fontana *et al.* (2008), em um estudo preliminar, propuseram um protocolo para a análise dinamométrica da corrida em ambiente aquático. Em seguida, Hauptenthal (2008) analisou os valores da componente vertical da FRS para a corrida aquática de homens e mulheres em diferentes níveis de imersão, a uma velocidade auto-selecionada. Com os sujeitos imersos no nível do processo xifoide, a magnitude da força vertical correspondeu, em média, a 80% do peso corporal dos sujeitos. Reduzida a profundidade para o nível do quadril, o valor médio aumentou para 98% do peso corporal dos indivíduos.

Hauptenthal (2008) também comparou os valores da força vertical da corrida aquática de homens em mulheres em dois níveis de imersão (processo xifoide e crista ilíaca) e em três velocidades, sendo elas: lenta, a 0,6 m/s; auto-selecionada; e rápida que correspondeu à velocidade máxima que os sujeitos puderam executar. Os resultados apontaram que os homens realizaram a corrida mais rapidamente que as mulheres, tanto na condição auto-selecionada quanto na condição rápida. Os resultados demonstram ainda que há diferença significativa entre os valores de força de reação do solo não só devido à variação da imersão, mas também devido ao sexo e à velocidade de execução. Entretanto, conforme o autor, quando a velocidade foi controlada (velocidade lenta), não ocorreram diferenças significativas entre os dois níveis de imersão para sujeitos do mesmo sexo.

Em razão da variabilidade da força de reação do solo em função do nível de imersão, velocidade de execução do exercício e características antropométricas dos indivíduos, Hauptenthal (2013a) propôs um modelo preditivo do pico de força de reação do solo vertical, antero-posterior e resultante durante a caminhada e corrida na água. Dividindo a amostra em dois grupos (regressão e validação) que realizavam caminhada e corrida em velocidades lenta, moderada e rápida em cinco níveis diferentes de imersão chegou-se as seguintes equações:

(1) componente antero-posterior da FRS para a corrida:

$$F_x = -0,283 + (0,499 * velocidade) + \left(0,490 * \left(\frac{imersão}{estatura}\right)\right) - (0,002 * massa)$$

(2) componente antero-posterior da FRS para a caminhada:

$$F_x = 0,021 + (0,364 * velocidade) - (0,001 * massa)$$

(3) componente vertical da FRS para a caminhada:

$$F_y = 1,208 - \left(1,380 * \left(\frac{imersão}{estatura}\right)\right) + (0,253 * velocidade)$$

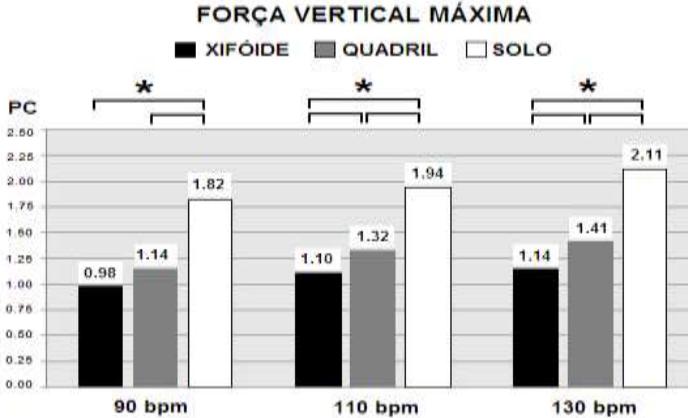
(4) força resultante de reação do solo para a caminhada:

$$FR = 1,114 - \left(1,285 * \left(\frac{imersão}{estatura}\right)\right) + (0,348 * velocidade)$$

Onde: *imersão* = nível de imersão (m); *estatura* (m); *velocidade* (m/s); *massa* (Kg).

Outro exercício integrante de protocolos de treinamento e/ou reabilitação aquático é a corrida estacionária, também chamada de “corrida no lugar” ou “*skipping*”. Fontana *et al.* (2012) analisaram a componente vertical da FRS durante a execução desse exercício, realizado no ambiente terrestre e no ambiente aquático nos níveis de imersão do processo xifoide e do quadril, em cadências de 90, 110 e 130 Hz. A Figura 13 representa os valores da força vertical máxima encontrados pela autora.

Figura 13 - Força vertical máxima na corrida estacionária com alteração do nível de imersão e da cadência de execução. (\*) indica diferença estatisticamente significativa.



Fonte: Adaptado de Fontana *et al.*, 2012.

A alteração do ambiente de realização do exercício (nível do processo xifoide, nível do quadril e em ambiente terrestre) acarretou em intensidades da componente vertical distintas, de modo que, quanto maior o nível de imersão, menores os valores de força. Segundo a autora, essa redução da intensidade da componente vertical da FRS possibilita, entre outras estratégias, a antecipação de alguma atividade em ambiente aquático, contribuindo, assim, para uma recuperação/manutenção funcional mais eficiente. Já em relação à cadência de execução, só os extremos (90 e 130 bpm) foram significativamente diferentes quanto à intensidade da componente vertical.

Ainda sobre a corrida estacionária, Fontana (2011) analisou os efeitos do nível de imersão (solo, nível do quadril e nível do processo xifoide), cadência de execução do exercício (8 cadências pré-estabelecidas e uma máxima) e da densidade corporal do sujeito sobre a componente vertical da FRS. Os resultados apontam que os três fatores estudados tiveram efeito significativo da componente vertical e que, independente da cadência do movimento, os valores máximos da componente vertical foram maiores no solo, seguido pelo nível de imersão do quadril e do xifoide, respectivamente. A autora ressalta ainda que

no solo, quanto maior a cadência, maior foi a FRS no eixo vertical, entretanto, no ambiente aquático, a componente vertical não correspondeu de tal maneira. Para o nível do quadril, com cadências superiores a 145 bpm foi notada uma redução no pico de força da componente vertical, o mesmo processo ocorreu para o nível de imersão do xifóide para cadências maiores que 130 bpm.

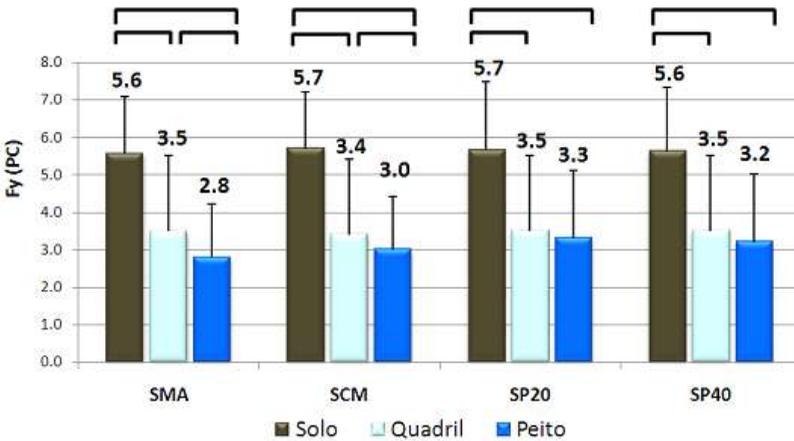
Além da corrida com deslocamento e da corrida estacionária, diferentes tipos de saltos e saltitos também são exercícios utilizados frequentemente em aulas de hidroginástica e em programas de treinamento pliométrico aquático (THEIN, 1998; MILLER *et al.*, 2002; ROBINSON *et al.*, 2004; AY; YURTKURAN, 2005; MARTEL *et al.*, 2005; MILLER *et al.*, 2007; SHAFFER, 2007; STEMM; JACOBSON, 2007). Os autores citam que a realização de saltos pliométricos dentro da água leva a ganhos em termos de força e potência, além de reduzir as dores musculares pós-exercício e diminuir os riscos de lesão, uma vez que as propriedades da água provocam uma atenuação das cargas durante a aterrissagem dos saltos.

Com o objetivo de verificar quantitativamente essa redução das cargas durante a aterrissagem dos saltos na água, Brito *et al.* (2007) analisaram a componente vertical da FRS de 9 sujeitos (3 homens e 6 mulheres) que executaram saltos com contramovimento (com a utilização dos braços) em ambiente terrestre e em ambiente aquático, imersos no nível do quadril. Para os 9 indivíduos, os autores encontraram valores médios de força de reação vertical durante a aterrissagem de 4,2 PC em ambiente terrestre e de 2,2 PC em ambiente aquático. As mulheres apresentaram valores de 3,9 PC e 1,9 PC fora e dentro da água, respectivamente. Para os homens, esses valores foram de 4,8 PC e 2,9 PC. Os resultados indicam que as forças de impacto durante a aterrissagem podem ser reduzidas em média 48% ao se realizar o salto vertical na água. A redução das cargas foi de aproximadamente 52% para as mulheres e de 40% para os homens.

Ruschel (2009) analisou características da componente vertical da FRS em três tipos de saltos (SMA, SCM e SP partindo de 0,2 m e 0,4 m - SP 20 e SP 40, respectivamente) no solo e no ambiente aquático com imersão no nível do quadril e do xifóide

para indivíduos ativos. A autora reportou que os valores de todas as variáveis das fases de aterrissagem (Figura 14) e de queda da altura foram significativamente menores na água do que no solo. Quando comparados os saltos em um mesmo ambiente, foram encontradas diferenças significativas apenas para o pico de propulsão e o tempo de voo no solo. Os resultados apontam que o ambiente aquático pode e deve ser utilizado como uma alternativa para a redução das cargas durante as aterrissagens de diferentes tipos de salto.

Figura 14 - Pico de força vertical máxima durante e aterrissagem em saltos no solo e com imersão ao nível do quadril e do peito. Os colchetes ligam as situações nas quais houve diferenças estatisticamente significativas.

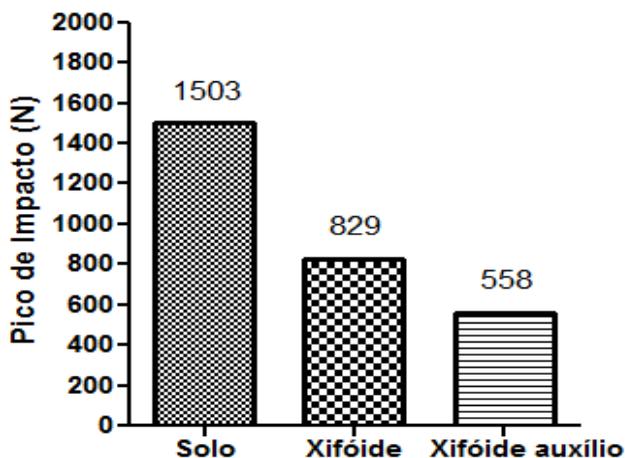


Fonte: Ruschel, 2009.

O estudo de Triplett *et al.* (2009) realizou avaliação cinética e cinemática de saltos unilaterais de 12 atletas de handebol no ambiente terrestre e aquático com imersão no nível do processo xifoide, com e sem o uso de dispositivos que eram acoplados às mãos e tinham como finalidade aumentar a área do indivíduo e consequentemente aumentar a força de arrasto. Os resultados indicam que a água oferece menor impacto (Figura

15), maior pico de força concêntrica e taxa de desenvolvimento de força.

Figura 15 - FRS em saltos unilaterais no solo e na água, com e sem dispositivos auxiliar.



Fonte: Adaptado de Triplett *et al.*, 2009.

Colado *et al.* (2010) analisando parâmetros cinéticos e cinemáticos da realização de SMA com os dois pés, avaliando os mesmos sujeitos do estudo de Triplett *et al.* (2009) nas mesmas condições (solo, imersão ao nível do xifoide e imersão ao nível do xifoide com dispositivo) verificaram que o ambiente aquático determinou um menor pico de impacto e uma maior força concêntrica quando comparado aos salto no ambiente terrestre. Considerando estes resultados, é possível sugerir que a água fornece um ambiente ideal para a realização de saltos, pois fornece estímulos aos fatores associados ao desempenho enquanto reduz a força de impacto sobre o sistema musculoesquelético.

Donoghue, Shimojo e Takagi (2011) comparou as forças de impacto em cinco tipos de saltos pliométricos realizados por 18 nadadores entre solo e água (1,30m de imersão). Analisando as variáveis de pico de impacto, impulso, taxa de desenvolvimento de força e o tempo para chegar ao pico de força

na fase de aterrissagem os autores reportaram que os saltos realizados no ambiente aquático apresentaram redução significativa para o pico de impacto, o impulso e para a taxa de desenvolvimento quando comparados aos saltos realizados no solo.

Ruschel (2014) comparou saltos em profundidade no solo e na água (imersão ao nível do quadril) acerca de aspectos cinéticos, cinemáticos e eletromiográficos. Os resultados reportados pela autora são de que houve aumento significativo na duração da fase de contato (considerando as subfases excêntrica e concêntrica) e da fase de voo, além da diminuição da força de reação vertical para a queda, propulsão e aterrissagem no ambiente aquático. Não foram encontradas diferenças para os ângulos do joelho no contato após a queda e o voo, e para a flexão máxima e amplitude de movimento durante o contato e a aterrissagem. Os resultados da análise da atividade elétrica dos músculos bíceps femoral, reto femoral e gastrocnêmio medial demonstram que a pré-ativação durante a queda e o voo foi influenciada pelo ambiente. A atividade dos músculos gastrocnêmio medial e reto femoral foi significativamente maior na fase de queda e aterrissagem no solo, enquanto que na fase de propulsão, os valores foram maiores na água.

### 2.2.2 Treinamento de Saltos no Ambiente Aquático

Por fornecer uma alternativa mais segura e gerar menos estresse ao sistema musculoesquelético que o solo, o treinamento de pliometria aquática (TPA) tem se tornado cada vez mais popular (DONOGHUE; SHIMOJO; TAKAGI, 2011). O TPA possui capacidade de reduzir o potencial de lesões e aumentar a força e potência, além de alterar o ambiente de treinamento e poder motivar os atletas, tirando-os da monotonia do treinamento físico tradicional (MILLER *et al.*, 2002). Assim, este tipo de treinamento se apresenta como uma alternativa viável aos exercícios tradicionais de salto em terra, e que também pode ser benéfica para a reabilitação ou o envelhecimento da população (TRIPLETT *et al.*, 2009).

Um fator importante a ser considerado é o nível de imersão do indivíduo, sendo que profundidades mais elevadas oferecem menor impacto, atividade excêntrica menos intensa, maior resistência na fase de decolagem e conseqüentemente maior segurança, sendo indicada para pessoas obesas, ou atletas com grandes massas corporais (COLADO *et al.*, 2010). Outro ponto importante é que muito embora o empuxo atue na redução da força de aterrissagem, ele não reduz a quantidade de força que deve ser produzida para controlar e frear a fase excêntrica do movimento e tampouco diminui a quantidade de força necessária para superar o arrasto da água que fornece resistência durante a fase concêntrica do movimento (MILLER *et al.*, 2002).

Para esclarecer a efetividade do treinamento pliométrico no ambiente aquático, a seguir serão apresentados estudos que utilizaram este método, considerando o número e tipo de sujeitos, a duração do treinamento e as respostas ocasionadas.

O estudo inicial envolvendo treinamento pliométrico no ambiente aquático ocorreu no ano de 2002 e foi realizado por Miller *et al.* Estes autores analisaram 40 sujeitos saudáveis, de ambos os sexos, comparando o efeito de 8 semanas (2x por semana) de treino pliométrico no solo e na água, com imersão no nível de cintura, sobre o desempenho de salto vertical, potencia muscular, pico de torque isocinético, amplitude de movimento do tornozelo e do joelho e percepção dos sujeitos à dor. Os sujeitos foram divididos em grupo controle (n= 14), grupo solo (n= 13) e grupo água (n= 13). Os resultados apontaram que, de maneira geral, os dois grupos de treinamento apresentaram melhora similar. Foi encontrado aumento significativo na potencia muscular no grupo água e na amplitude de movimento da flexão plantar de tornozelo para os dois grupos experimentais. O ambiente aquático apresentou valores significativamente menores para a dor muscular. A partir deste trabalho surgiram diversas pesquisas acerca dos efeitos deste tipo de treinamento.

Robinson *et al.* (2004) também compararam o efeito de 8 semanas (3 x por semana) de treino pliométrico na água e no solo, com 1,20 m de imersão, em 31 mulheres fisicamente ativas (15 realizaram o treino no solo e 16 na água). As variáveis analisadas foram: desempenho de salto vertical, pico de torque

isocinético, velocidade em 40 metros, lesão muscular e percepção à dor. Foi verificada melhora em todas as variáveis de desempenho nos dois grupos sem diferença significativa entre eles, porém o grupo solo teve maior percepção à dor muscular (48 e 96 horas após a sessão de treinamento).

Em 2005, Martel *et al.* comparando 6 semanas (2 x por semana) de treino pliométrico no solo e na água, com 1,22 m de imersão, em 19 jogadoras de vôlei, também relataram melhora no desempenho do salto vertical. As participantes foram divididas em grupo controle (n= 9) e grupo experimental (n= 10) e os resultados mostraram melhora significativa na altura de salto vertical de ambos os grupos até a quarta semana de treino, mas o grupo experimental mostrou uma melhora de 8% da quarta para a sexta semana, o que não aconteceu com o grupo controle, que permaneceu igual. O grupo treino apresentou melhora significativa na altura do salto vertical. Os dois grupos apresentaram melhoras significativas no pico de torque concêntrico durante a extensão e flexão do joelho no isocinético.

Diferente dos outros estudos, Miller *et al.* (2007) analisaram a diferença de treinamento pliométrico realizado na água em dois diferentes níveis de imersão. As variáveis analisadas foram altura, força e potência de SMA, SCM e SP. Participaram do estudo 39 sujeitos de ambos os sexos, divididos em grupo controle e dois grupos de treinamento pliométrico na água, um com nível de imersão no peito (TP1) e o outro com nível de imersão na cintura (TP2). Os resultados mostraram que não houve diferenças significativas entre os grupos estudados nas variáveis analisadas. Em relação à produção de força, os três grupos apresentaram diminuição de valores do pré para o pós-teste, com exceção do grupo TP1 no SMA e no SP e do grupo controle no SCM. Em relação à altura de salto vertical, ambos os grupos experimentais, TP1 (+1 cm) e TP2 (+2,5 cm), tiveram um aumento discreto e não significativo, enquanto no grupo controle houve diminuição (-2,1 cm).

Em 2007, a dissertação de Shaffer analisou os efeitos de um programa de 6 semanas (2x por semana) de treinamento pliométrico no solo e na água sobre potência muscular, torque, agilidade e dor muscular em 18 sujeitos saudáveis. Estes sujeitos foram divididos igualmente em três grupos, sendo um grupo

água, um grupo solo e um grupo controle. Os dois grupos de intervenção apresentaram melhoras semelhantes nas variáveis do desempenho, no entanto sem diferenças significativas entre os três grupos. O grupo água apresentou menores relatos de dor quando comparado ao grupo solo, utilizando a Escala Visual Analógica.

No mesmo ano, Stemm e Jacobson (2007) avaliaram a altura de salto vertical em 24 homens fisicamente ativos após 6 semanas (2x por semana) de treinamento pliométrico no solo (solo) e na água (água) com imersão no nível de joelho. Os sujeitos foram divididos em grupo controle (n= 9), solo (n= 8) e água (n= 7). Os grupos experimentais superaram significativamente o grupo controle em relação à altura de salto vertical, no entanto não houve diferença significativa entre o grupo solo e o grupo água.

Na sequência, Shiran *et al.* (2008) compararam o efeito de 5 semanas (3x por semana) de TPS e TPA sobre a força, a velocidade, a agilidade, o índice de fadiga, a potência média, a potência máxima e a concentração de enzimas musculares inflamatórias (CK e LDH). Participaram da pesquisa 21 lutadores divididos em grupo controle (n= 7), TPS (n= 7) e TPA (n= 7). Apesar de não terem sido encontradas diferenças significativas nas variáveis do desempenho e risco de lesão muscular entre os grupos experimentais, os autores sugeriram que o treino na água propicia os mesmos benefícios na melhora do desempenho que o treinamento no solo, porém com menor índice de dores musculares.

Ploeg *et al.* (2010) analisaram o efeito de 6 semanas (2x por semana) de treinamento pliométrico em 39 sujeitos de ambos os sexos divididos em quatro grupos, um grupo de treinamento pliométrico na água (TPA1) com profundidade de 1,067 m (n= 10), um grupo de treinamento pliométrico na água (TPA2) com o dobro do volume de treinamento do TPA1 e mesmo nível de imersão (n = 11), um grupo de treinamento pliométrico no solo (TPS = 8) e um grupo controle (n= 10). As variáveis analisadas foram altura do salto vertical, torque e potência muscular dos extensores e flexores do joelho a 60°/s antes e depois do programa de treinamento. Não foram encontradas diferenças significativas entre os grupos para nenhuma variável, contudo o

TPA2 apresentou o maior aumento médio nas variáveis de desempenho.

Em 2011, Arazi e Asadi avaliaram a diferença do treinamento pliométrico no solo e na água (com 70% do corpo imerso) sobre a força muscular, velocidade e equilíbrio dinâmico em 18 jogadores de basquete. Os sujeitos foram divididos em grupo controle (n= 6), grupo água (n=6) e grupo solo (n=6) e o treinamento teve duração de 8 semanas (3x por semana). Os grupos água e solo apresentaram melhoras nos indicadores de desempenho quando comparado ao grupo controle. Os dois grupos de treinamento não mostraram diferença significativa entre si.

No mesmo ano, Fabricius (2011) realizou sua dissertação em que avaliou 52 atletas de rugby divididos em três grupos, a saber: n = 18 grupo água, n = 17 grupo solo e n = 17 grupo controle. A intervenção teve duração de 7 semanas (2x por semana), o nível de imersão utilizado foi de 1,13 m e foram avaliadas potência muscular, agilidade e velocidade. No que diz respeito aos resultados, não foram encontradas diferenças significativas quando os três grupos foram analisados no que diz respeito a todas as variáveis de desempenho testadas. Quando se comparam as alterações dentro de cada grupo, o grupo água melhorou significativamente no teste de agilidade, o grupo terra aumentou significativamente o pico da potência concêntrica e todos os grupos melhoraram significativamente o desempenho no salto vertical. O grupo controle foi o único que melhorou de maneira significativa no salto em distância.

No ano seguinte, Bavli (2012) verificou o efeito de 12 semanas (3x por semana) de treinamento pliométrico em 91 adolescentes (48 sexo masculino e 43 feminino) atletas de basquetebol (mínimo 2 anos de prática), que foram divididos em três grupos. Grupo de treinamento pliométrico na água (imersão ao nível do joelho) (n = 31), grupo de treinamento pliométrico no solo (n = 30) e grupo controle (n = 30). Durante o treinamento os atletas mantiveram sua rotina normal de treinamento técnico (técnico –*drills* - de baixa intensidade) e a pliométrica foi realizada após estes treinamentos. As variáveis consideradas foram o índice de massa corporal (IMC), uma repetição máxima de membro inferior, *sprint* de 30 m, salto vertical e flexibilidade. Os

resultados apontam melhora significativa para os dois grupos de intervenção em todas as variáveis analisadas comparando a situação pré e pós treino, no entanto não houve diferenças significativas entre estes grupos. Os dois grupos de intervenção apresentaram diferenças significativas do grupo controle.

Arazi, Coetzee e Asadi (2012), em outro trabalho que utilizou os dados dos mesmos sujeitos da pesquisa publicada em 2011, avaliaram o desempenho do salto vertical, do salto horizontal e da agilidade após oito semanas (3x por semana) de treinamento pliométrico. Participaram da pesquisa 18 jogadores de basquetebol divididos em três grupos: grupo solo (n= 6), grupo água, com 1,3 m de imersão – correspondente aos 70% descritos na pesquisa de 2011 - (n= 6) e grupo controle (n=6). Os dois grupos experimentais apresentaram melhoras significativas em todas as variáveis analisadas e comparando os dois grupos não houve diferença significativa.

O último trabalho do qual se tem conhecimento é o de Lavanant, García e Cruz (2013). Estes autores analisaram 24 sujeitos comparando o efeito de seis semanas (2x por semana) de treino pliométrico no solo e na água, com 1,5 m de imersão. Os participantes foram divididos em grupo água (n= 12) e grupo solo (n= 12) e foram analisados em variáveis de desempenho do salto com meio agachamento e com contramovimento. Os resultados mostraram que ambos os tipos de treinamento melhoraram a capacidade de salto, sem diferença significativa entre eles.

A partir dos estudos explicitados anteriormente é possível observar que de modo geral, os resultados de estudos sobre a efetividade dos programas de pliométrica aquática para a melhora de variáveis do desempenho são em geral positivos e muitas vezes com os mesmos resultados que o treinamento realizado no ambiente terrestre. Acredita-se, portanto, que a utilização do ambiente aquático como alternativa complementar para o treinamento de atletas de diferentes modalidades será cada vez mais difundida e é importante que a prática profissional esteja cada vez mais respaldada por achados científicos, considerando que pouco se sabe sobre o funcionamento do CAE no ambiente aquático e que não existe unanimidade acerca dos níveis de

imersão utilizados, os quais muitas vezes são limitadas pelas condições da piscina utilizada.

### 3 MÉTODOS

#### 3.1 TIPO DE PESQUISA

Quanto à abordagem do problema, este trabalho caracteriza-se como pesquisa quantitativa, pois considera que tudo pode ser quantificado, o que significa traduzir em números informações para classificá-las e analisá-las. Além disso, requer o uso de técnicas estatísticas (SILVA *et al.*, 2011).

Quanto aos objetivos, é classificada como pesquisa “experimental com um grupo único” ou “quase-experimental”, pois o experimento foi realizado sem haver necessidade de um grupo controle (GIL, 2010), e certas variáveis independentes foram controladas – manipuladas ou modificadas – para verificar as alterações que ocorrem nas variáveis dependentes (SILVA *et al.*, 2011). O efeito do ambiente de execução (solo e os quatro níveis de imersão na água) sobre a força de reação do solo e os parâmetros temporais durante os saltos em profundidade foi analisado através de um *desing* de medidas repetidas.

Todos os procedimentos metodológicos foram submetidos à apreciação e aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade do Estado de Santa Catarina (Parecer nº 334.928, de 15/07/2013 – Anexo A) previamente à realização da pesquisa.

#### 3.2 SUJEITOS DO ESTUDO

A fim de solicitar a participação de sujeitos, foi veiculado na região da Grande Florianópolis/SC um anúncio contendo os objetivos e critérios de inclusão da pesquisa. Em resposta ao anúncio manifestaram-se atletas e integrantes de comissão técnica de equipes locais, que foram contatados para agendar data e horário para participar da coleta de dados. Foram incluídos no estudo os participantes que atenderam aos seguintes critérios: (a) concordar em participar do estudo, mediante assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido; (b) não relatar, durante o primeiro contato/entrevista, qualquer queixa de comprometimento musculoesquelético; (c) participar regularmente de sessões de treinamento (pelo menos

3 vezes por semana e com duração mínima de uma hora por sessão) de modalidade esportiva que utilize o método pliométrico no solo como parte da rotina de treinamento, este critério certificou a habilidade dos sujeitos para a tarefa pelo fato de os mesmos possuírem conhecimento prévio da ação motora; (d) ter pelo menos dois anos de experiência no treinamento da modalidade voltado à participação em competições de no mínimo nível estadual; e (e) ser adaptado ao meio líquido. Considera-se adaptado ao meio líquido o sujeito capaz de se equilibrar, flutuar, mergulhar e realizar deslocamentos com a combinação de movimentos dentro da água (NAVARRO, 1995; SANTOS, 1996).

Considerando os critérios expostos anteriormente 30 sujeitos compareceram ao Laboratório e participaram da coleta de dados. Após uma avaliação inicial quatro sujeitos foram excluídos da análise de dados, pois apresentaram um padrão de salto diferente do proposto. Foi solicitado aos sujeitos que realizassem a técnica BDJ (BOBBERT *et al.* 1986) na qual o contato com o solo deve ser o mais rápido possível após a queda e a flexão dos joelhos não deve ser excessiva. Entretanto, mesmo após a instrução, demonstração e familiarização tais sujeitos excluídos utilizaram a técnica CDJ (BOBBERT *et al.* 1986), caracterizada por tempos de contato mais longos e maiores ângulos de flexão de joelhos. Essa condição foi verificada através da inspeção visual das curvas da  $F_y$ , que apresentam características distintas entre as duas técnicas (BOBBERT *et al.*, 1986; BOBBERT; HUIJING; VAN INGEN SCHENAU, 1987a) (APÊNDICE A) e da análise quantitativa da duração da fase de contato concêntrica, considerando que valores superiores a 200 ms nesta fase corresponde à técnica CDJ, enquanto que valores inferiores a 200 ms são relacionados à técnica BDJ (BOBBERT *et al.*, 1986). Toda a análise descrita anteriormente teve por base as execuções realizadas no solo, pois não há descrição de técnicas ou critérios definidos para as execuções do SP na água.

Optou-se, portanto, por excluir os sujeitos que realizaram o CDJ no solo, uma vez que os padrões de movimento adotados nas diferentes técnicas influenciam significativamente as variáveis cinéticas e cinemáticas (BOBBERT; HUIJING; VAN INGEN SCHENAU, 1987a), que são objeto de análise neste

estudo. Sendo assim, a amostra final foi constituída por 26 atletas de voleibol (n=17) e atletismo (n=9), cujas características estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1- Médias e desvios padrão das características dos participantes do estudo.

<b>Características dos Participantes</b>	<b>Média ± desvio padrão</b>
Idade (anos)	18,2 ± 2,6
Tempo de prática (anos)	4,3 ± 2,7
Treinos semanais (sessões)	5,0 ± 0,8
Duração da sessão de treino (horas)	2,2 ± 0,4
Estatura (m)	1,87 ± 0,10
Massa corporal (kg)	74,8 ± 9,0

Fonte: Produção da própria autora.

A Tabela 2 descreve as alturas dos pontos anatômicos avaliados, com os respectivos pesos hidrostáticos expressos em unidades de peso corporal (PC) medido fora da água.

Tabela 2 - Médias e desvios padrão das alturas avaliadas e do peso hidrostático dos participantes do estudo.

<b>Referência anatômica</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Peso hidrostático (PC)*</b>
Ponto médio da tíbia	0,26 ± 0,02	0,95 ± 0,01
Côndilo lateral da tíbia	0,52 ± 0,04	0,89 ± 0,01
Ponto médio da coxa	0,74 ± 0,06	0,79 ± 0,01
Espinha ilíaca ântero-superior	1,08 ± 0,08	0,53 ± 0,02

Fonte: Produção da própria autora.

Nota: (\*) peso do indivíduo expresso em unidades de peso corporal.

### 3.3 DEFINIÇÃO DE VARIÁVEIS

Neste estudo os valores dos parâmetros temporais foram medidos em milissegundos (ms) e os valores da componente vertical da FRS foram medidos em Newtons (N), durante a execução dos saltos em profundidade no solo e em quatro diferentes níveis de imersão na água. Todas as variáveis de força são expressas em unidades de peso corporal (PC), que é o quociente do valor de  $F_y$  em N e do peso corporal do participante, também em N. Esta normalização foi realizada para permitir a comparação dos dados entre os participantes e entre as situações de coleta de dados, bem como para facilitar a interpretação e compreensão dos resultados por parte de profissionais que utilizam esta medida para controle da sobrecarga de um exercício.

A seguir são apresentadas as variáveis consideradas para análise biomecânica do salto em profundidade. Tais variáveis foram analisadas nos saltos realizados no solo e na água.

#### 3.3.1 Variáveis do salto em profundidade

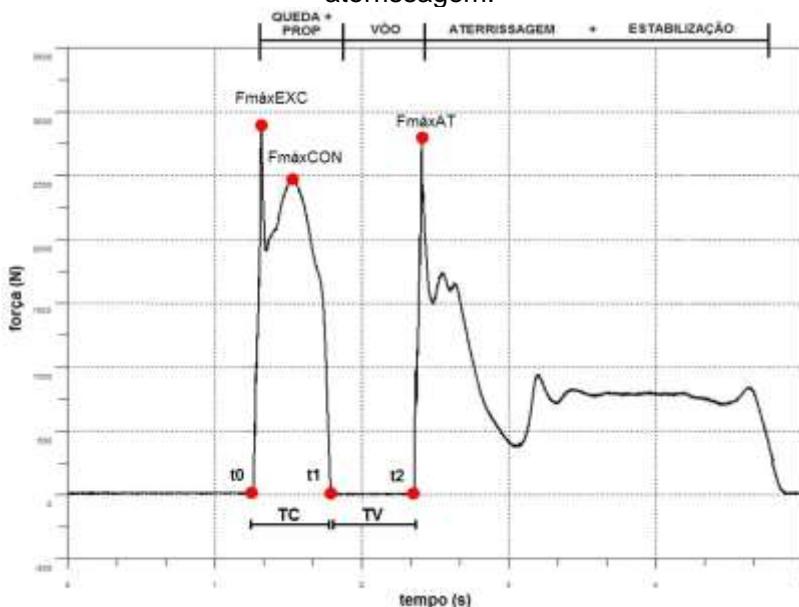
A fim de poder analisar e comparar de maneira mais completa as respostas decorrentes da realização de saltos no solo e na água, optou-se por dividir a análise do salto em profundidade em quatro fases: (1) fase de queda; (2) fase de contato; (3) fase de voo; e (4) fase de aterrissagem. A fase de contato, por ser determinante para a caracterização de uma ação pliométrica, foi ainda subdividida em duas: (a) subfase excêntrica – correspondendo à fase descendente do contato; e (b) subfase concêntrica – correspondendo à fase de propulsão. Para delimitar estas subfases foi considerado o instante de ocorrência do ângulo máximo de flexão do joelho na curva de deslocamento angular, que corresponde à transição entre a fase descendente (excêntrica) e a fase ascendente (concêntrica), conforme proposto por diferentes autores ao analisarem o SP (AURA;

VIITASALO, 1989; KELLIS; ARABATZI; PAPADOPOULOS, 2003; LAZARIDIS *et al.*, 2010; PENG; KERNOZEK; SONG, 2011; VIITASALO; SALO; LAHTINEN, 1998).

### 3.3.2 Força vertical máxima de reação do solo durante as fases do SP

A Figura 16 representa uma curva de força vertical *versus* tempo para o salto em profundidade, com a indicação das variáveis de análise, descritas logo a seguir.

Figura 16 - Curva de força versus tempo do salto em profundidade. Onde:  $F_{\text{máxEXC}}$ : força máxima durante a subfase excêntrica do contato;  $F_{\text{máxCON}}$ : força máxima durante a subfase concêntrica do contato;  $F_{\text{máxAT}}$ : força máxima durante a fase de aterrissagem; TC: tempo de contato; TV: tempo de voo;  $t_0$ : início do contato;  $t_1$ : final do contato; e  $t_2$ : início da aterrissagem.



Fonte: Arquivo Laboratório de Biomecânica Aquática.

a) *Força máxima durante a subfase excêntrica do contato após a queda ( $F_{máxEXC}$ ):* corresponde à força vertical máxima aplicada pelo sujeito sobre a plataforma durante a subfase descendente do contato após a queda do bloco. Operacionalmente foi obtido através da identificação do maior valor de  $F_y$  durante a aterrissagem da queda, que inicia quando o sujeito realiza o primeiro contato com a plataforma. É expresso em PC;

b) *Força máxima durante a subfase concêntrica do contato após a queda ( $F_{máxCON}$ ):* corresponde à força vertical máxima aplicada pelo sujeito sobre a plataforma durante a subfase ascendente do contato após a queda do bloco. Operacionalmente foi obtido através da identificação do maior valor de  $F_y$  no instante decorrido desde o final da queda (determinado pela ocorrência do mínimo valor de  $F_y$  nesta fase) até o início da fase de voo. É expresso em PC;

c) *Força máxima ajustada durante a subfase concêntrica do contato após a queda ( $F_{máxCON}$  ajustada):* corresponde à força vertical máxima ajustada aplicada pelo sujeito sobre a plataforma durante a subfase ascendente do contato após a queda do bloco. Operacionalmente foi obtido através de uma equação matemática simples (APÊNDICE B) de forma que o peso do sujeito fosse diminuído do maior valor de  $F_y$  durante a subfase concêntrica. É expresso em PC;

d) *Força máxima durante a fase de aterrissagem ( $F_{máxAT}$ ):* corresponde à força vertical máxima aplicada pelo sujeito sobre a plataforma durante a fase de aterrissagem. Operacionalmente foi obtida através da identificação do maior valor de  $F_y$  durante a aterrissagem. É expresso em PC.

### *Impulso*

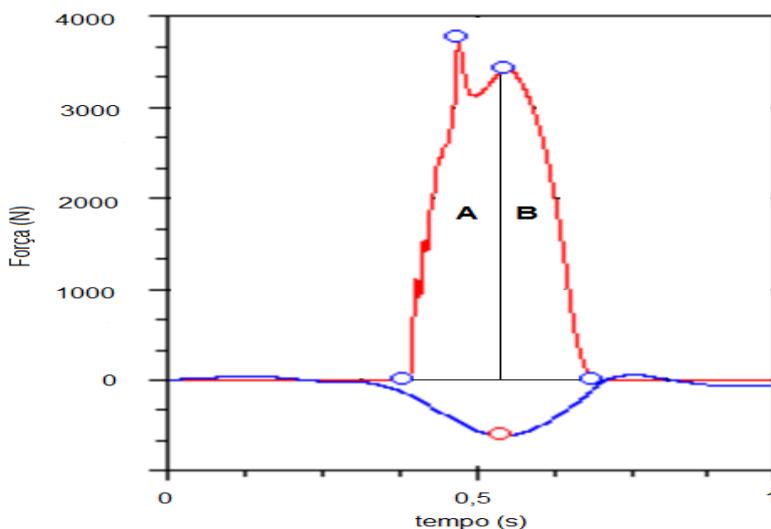
Matematicamente o impulso representa a integral da força no domínio do tempo (BEER; JOHNSTON, 1980) e pode ser expresso da seguinte forma:

$$I = \int_{t_1}^{t_2} F \cdot \Delta t$$

Onde:  $I$  = impulso;  $F$  = força; e  $t$  = tempo.

De maneira gráfica, o impulso representa a área sob a curva de força *versus* tempo de um determinado movimento (Figura 17). Na Figura 17 a área “A” representa o impulso excêntrico enquanto que o impulso concêntrico é representado pela área “B”.

Figura 17 - Curva de força versus tempo do contato (vermelha) após a fase de queda representando a área de impulso excêntrico e concêntrico. (A) é a área que representa o impulso excêntrico e (B) é a área que representa o impulso concêntrico.



Fonte: Arquivo Laboratório de Biomecânica Aquática.

a) *Impulso durante a subfase excêntrica do contato após a queda (IMP<sub>exc</sub>):* corresponde ao impulso durante o movimento descendente do contato após a queda da altura. Operacionalmente foi obtido através do cálculo da integral da  $F_y$

em função do tempo durante a subfase excêntrica do contato. É expresso em PC.s;

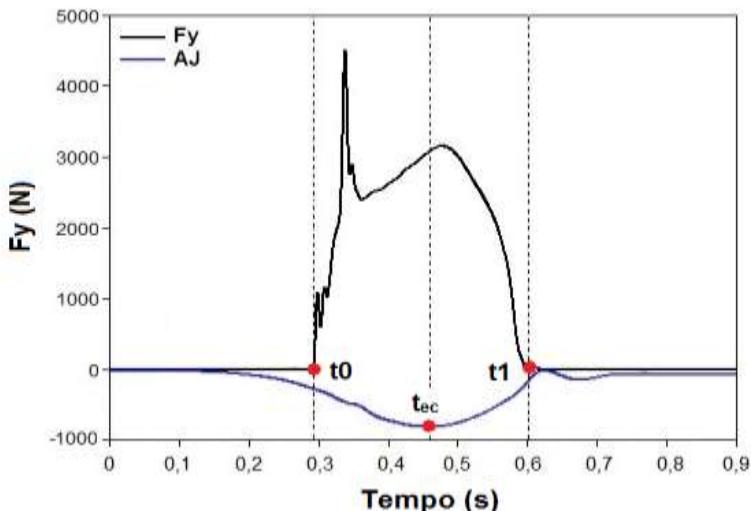
b) *Impulso durante a subfase concêntrica do contato após a queda (IMPcon)*: corresponde ao impulso durante o movimento ascendente do contato após a queda da altura. Operacionalmente foi obtido através do cálculo da integral da  $F_y$  em função do tempo durante a subfase concêntrica do contato. É expresso em PC.s;

c) *Impulso ajustado durante a subfase concêntrica do contato após a queda (IMPcon ajustado)*: corresponde ao ajuste do impulso durante o movimento ascendente do contato após a queda da altura. Operacionalmente foi obtido através de uma equação matemática simples (APÊNDICE B) de forma que o peso do sujeito seja diminuído do cálculo da integral da  $F_y$  em função do tempo durante a subfase concêntrica do contato. É expresso em PC.s.

### 3.3.3 Variáveis cinemáticas

A Figura 18 representa simultaneamente uma curva de força vertical *versus* tempo (preta) e uma curva do deslocamento angular da articulação do joelho *versus* tempo (azul) para o salto em profundidade, com a indicação de pontos fundamentais para compreensão das variáveis de interesse que são descritas na sequência.

Figura 18 - Curva de força vertical ( $F_y$ , em preto) e do deslocamento angular de joelho (AJ, em azul) no salto em profundidade.  $t_0$  e  $t_1$  representam os instantes inicial e final do contato,  $t_{ec}$  representa o instante de transição entre a fase excêntrica e concêntrica do contato.



Fonte: Arquivo Laboratório de Biomecânica Aquática.

a) *Tempo de contato excêntrico (TCE)*: corresponde à duração da subfase excêntrica durante o contato. Operacionalmente foi obtido pelo cálculo da diferença entre os instantes ' $t_{ec}$ ' (momento de transição excêntrico/concêntrico) e ' $t_0$ ' (momento de início da fase de contato) verificados nas curvas da  $F_y$  e do deslocamento angular. É expresso em ms;

b) *Tempo de contato concêntrico (TCC)*: corresponde à duração da subfase concêntrica durante o contato. Operacionalmente foi obtido pelo cálculo da diferença entre os instantes ' $t_0$ ' (momento de fim da fase de contato) e ' $t_{ec}$ ' (momento de transição excêntrico/concêntrico) verificados nas curvas da  $F_y$  e do deslocamento angular. É expresso em ms;

c) *Tempo de contato (TC)*: é o tempo durante o qual o sujeito permanece sobre a plataforma após a queda do bloco, antes de iniciar a fase de voo do salto subsequente. Operacionalmente foi

obtido pelo tempo decorrido desde 't0' (primeiro contato com a plataforma na aterrissagem da queda) até 't1' (último contato com plataforma antes da fase de voo). É expresso em ms;

d) *Tempo de voo (TV)*: é o tempo durante o qual o sujeito permanece na fase de voo, desde o final da fase de propulsão até o início da fase de aterrissagem. Operacionalmente foi obtido pelo tempo decorrido desde 't1' (final do contato com a plataforma) até 't2' (primeiro contato com plataforma após o voo). É expresso em ms.

### 3.4 NÍVEL DE IMERSÃO MAIS ADEQUADO PARA O TREINAMENTO DE SALTOS EM PROFUNDIDADE NA ÁGUA

Para a indicação do nível mais adequado para a realização do treinamento de saltos em profundidade na água foi considerada a relação entre os parâmetros temporais (notadamente o tempo de contato) e os valores de  $F_y$  no solo e nos diferentes níveis de imersão analisados. Desta maneira buscou-se determinar em qual ou entre quais níveis de imersão analisados foi possível reproduzir as respostas de tempo de contato encontradas nas execuções realizadas no solo juntamente com a maior redução de impacto possível nas fases do contato e aterrissagem. Para isso, considerou-se a não existência de diferenças estatisticamente significativas entre os ambientes para a variável tempo de contato (analisando separadamente as subfases excêntrica e concêntrica), com os menores valores de pico de queda e aterrissagem.

### 3.5 MATERIAIS

Os materiais utilizados para a coleta de dados serão descritos a seguir:

#### 3.5.1 Plataforma de força

Para a obtenção das variáveis do estudo foi utilizada uma plataforma de força, construída com base no estudo de Roesler

(1997) (Figura 19). A plataforma possui dimensão de 0,5 m de largura, 0,5 m de comprimento e 0,1 m de altura e é confeccionada com extensômetros de resistência elétrica (*strain gauges*). Este equipamento possui componentes que são à prova d'água e por isso permitem sua utilização no ambiente aquático. A plataforma de força foi fixada no centro de um tanque de fibra de vidro projetado e construído para a para o desenvolvimento deste projeto (APÊNDICE C). A calibração das plataformas é realizada com pesos previamente conhecidos (pesos padrão) e baseia-se na análise de regressão linear. Todos os procedimentos são descritos detalhadamente por Roesler (1997).

Figura 19 - Plataforma de força utilizada no estudo.



Fonte: Arquivo Laboratório de Biomecânica Aquática.

### 3.5.2 Sistema de aquisição e processamento de dados ADS2002-IP

As plataformas de força foram conectadas ao sistema de aquisição e condicionamento de sinais ADS2002-IP (AC2122, Lynx Tecnologia Eletrônica LTDA, São Paulo, Brasil) composto por: (a) uma placa condicionadora de 16 canais para ponte de *Wheatstone*; (b) um conversor analógico-digital de 16 bits e limite

máximo de 60 kHz; e (c) um microcomputador portátil (Figura 20). Foi utilizada uma taxa de aquisição de 1500 Hz.

Figura 20 - Sistema ADS2002-IP conectado ao microcomputador portátil.



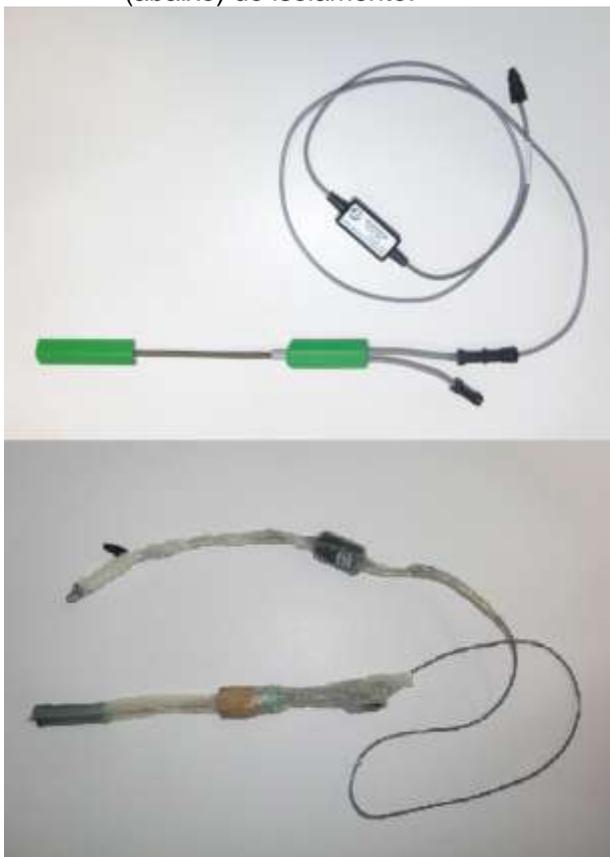
Fonte: Arquivo Laboratório de Biomecânica Aquática.

### 3.5.3 Eletrogoniômetro 2-D SG110

Para a determinação do instante de transição excêntrico-concêntrico (definido pelo instante de flexão máxima da articulação do joelho durante o contato com o solo após a queda do bloco) foi utilizado um eletrogoniômetro 2-D (modelo SG110, Biometrics Ltd, Reino Unido) (Figura 21). O eletrogoniômetro é composto por duas extremidades que contêm transdutores do tipo *strain gauges* e possui acurácia de  $\pm 2^\circ$  em uma amplitude de  $\pm 90^\circ$  e repetibilidade de  $1^\circ$  em uma amplitude de  $\pm 90^\circ$ . Foi utilizada uma taxa de aquisição de 1500 Hz, ganho total de 1000 e um filtro de hardware de 500 Hz. Como este equipamento não é a prova d'água, foi preciso passar por um processo de isolamento que utilizou uma embalagem de látex vulcanizado, parafina e cola quente para proteger os componentes e as

conexões do equipamento. Como o comprimento do cabo de amplificação que acompanha o eletrogoniômetro é de 1,2 m, foram adquiridos cabos extensores extras de 5 m para garantir que o transmissor TeleMyo 2400T G2 ficasse o mais longe possível da água, de forma que não foi preciso passar pelo processo de isolamento.

Figura 21 - Foto do eletrogoniômetro antes (acima) e depois (abaixo) do isolamento.



Fonte: Arquivo Laboratório de Biomecânica Aquática.

### 3.5.4 Sistema TeleMyo 2400T G2

O eletrogoniometro 2-D foi conectado ao sistema de transmissão de dados por telemetria TeleMyo 2400T G2 (Noraxon Inc., Estados Unidos) (Figura 22), ilustrado na Figura 19. Este sistema possui um transmissor de sinais por telemetria (16 bits de resolução e capacidade para 16 canais), um receptor de sinais e um *software* de aquisição e processamento (MyoResearch XP Master Edition 1.07).

Figura 22 - Foto do transmissor do Sistema TeleMyo 2400 T G2.



Fonte: Manual do fabricante.

### 3.5.5 Sistema de sincronização Compact Wireless Sync

Com o objetivo de sincronizar os sinais adquiridos nos dois sistemas descritos anteriormente, foi utilizado o sistema de sincronização Compact Wireless Sync (Noraxon Inc., Estados Unidos) (Figura 23), composto por um transmissor de sinais do tipo TTL, um cabo (que foi conectado ao Sistema ADS2000-IP) e

um receptor (que foi conectado à porta de sincronização do sistema TeleMyo 2400T G2).

Figura 23 - Foto do transmissor do sistema de sincronização Compact Wireless Sync.



Fonte: Manual do fabricante.

### 3.5.6 Balança digital, estadiômetro e fita antropométrica.

Para a obtenção das medidas antropométricas dos sujeitos (massa, estatura, e altura do ponto anatômico definido) foram utilizados: (a) uma balança digital com resolução de 0,1 kg (modelo BAL-150PA, da Techline, São Paulo, Brasil); (b) um estadiômetro com resolução de 0,01 m (modelo compacto E210, da Wiso, São Paulo, Brasil); e (c) uma fita antropométrica com resolução de 0,01 m (trena antropométrica, da Cescorf, Porto Alegre, Brasil).

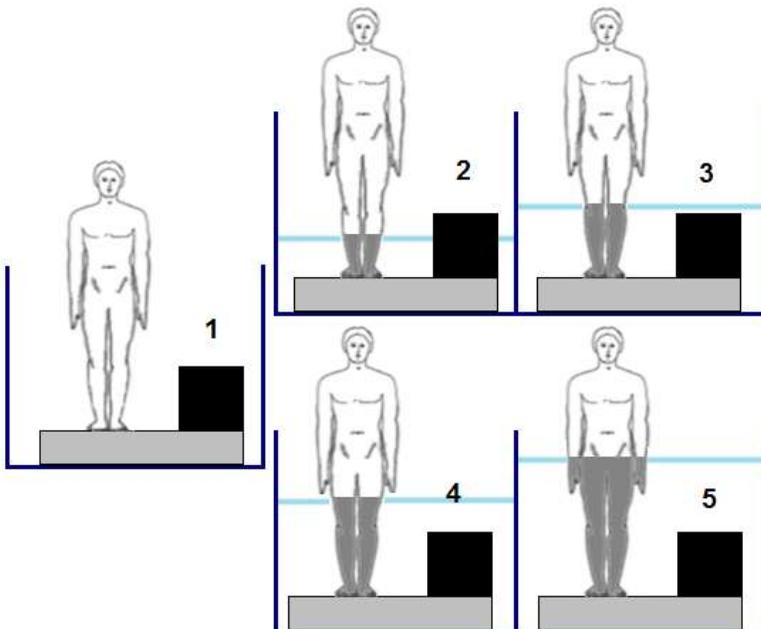
### 3.6 PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS

No primeiro contato, os sujeitos foram entrevistados pela pesquisadora, que utilizou um questionário para obter informações pessoais sobre o nível de atividade física, o histórico de comprometimentos musculoesqueléticos e a prática de atividades no ambiente aquático, de modo a decidir sobre a possibilidade de participação do sujeito na pesquisa (atender aos critérios de inclusão). Neste momento foi agendada a coleta de dados e os participantes foram informados dos procedimentos que seriam adotados na pesquisa e que fazem parte do protocolo de coletas de dados do projeto de pesquisa “Análise cinética, cinemática e eletromiográfica de saltos verticais realizados no solo e na água”. Foi solicitado aos sujeitos que não realizassem nenhum tipo de exercício não habitual no dia anterior à coleta de dados e que não realizassem nenhum esforço físico no dia da coleta. Todos os testes foram realizados nas dependências do Laboratório de Pesquisas em Biomecânica Aquática do CEFID/UDESC.

Os participantes realizaram saltos em profundidade partindo de uma altura de 0,4 m no solo e em quatro diferentes níveis de imersão na água (Figura 22). Os pontos selecionados foram o ponto médio da tíbia (considerou-se para este ponto a metade da altura do côndilo lateral da tíbia até o chão), côndilo lateral da tíbia, ponto médio da coxa (considerou-se a metade da distância entre o trocânter e o ponto do côndilo lateral da tíbia) e espinha íliaca ântero-superior. Os pontos descritos correspondem, respectivamente, aos níveis de imersão da tíbia, do joelho, da coxa e do quadril, representados na Figura 24 pelos números 2, 3, 4 e 5, respectivamente. Estes níveis de imersão foram selecionados, pois vários estudos sobre efeito de treinamento apresentaram resultados positivos utilizando o nível do quadril (MILLER *et al.*, 2002; MILLER *et al.*, 2007; PLOEG *et al.*, 2010), e acredita-se que níveis de imersão inferiores a este apresentem possibilidades para determinação do nível ótimo de imersão considerando a relação entre a atenuação do impacto e a duração do tempo de contato com solo (STEMM; JACOBSON, 2007).

A altura de 0,4 m foi escolhida por ser uma altura geralmente utilizada na análise do SP (VIITASALO; SALO; LAHTINEN, 1998; BOBBERT *et al.*, 1986) e também em razão de que alturas de queda para exercícios pliométricos maiores que 0,4 m poderiam fazer com que os indivíduos aterrissassem sobre os calcanhares (BARRIER *et al.*, 1997) e ainda gerariam altos níveis de tensão sob o tendão calcâneo (GEHRI *et al.*, 1998). Os saltos foram realizados pelos indivíduos descalços, tanto no solo quanto na água para permitir a comparação direta entre os ambientes analisados e eliminar o efeito de diferentes calçados sobre  $F_y$  (BOBBERT *et al.*, 1987; VOIGHT; DRAOVITCH; TIPPETT, 1995; LAZARIDIS *et al.*, 2010). Como o objetivo era verificar a ação dos componentes elásticos procurou-se trabalhar somente os membros inferiores (BOSCO, 1981), para isso os sujeitos também foram instruídos a realizar os saltos com as mãos na cintura no intuito de eliminar o efeito da movimentação dos membros superiores no desempenho do salto (BOBBERT *et al.*, 1986; HARMAN *et al.*, 1990 ; PENG; KERNOZEK; SONG, 2011; BATES *et al.*, 2013) e isolar os segmentos que não participam da ação muscular do movimento.

Figura 24 - Representação das condições de análise do estudo:  
(1) solo; (2) imersão ao nível da tíbia; (3) imersão ao nível do joelho; (4) imersão ao nível da coxa; e (5) imersão ao nível do quadril.



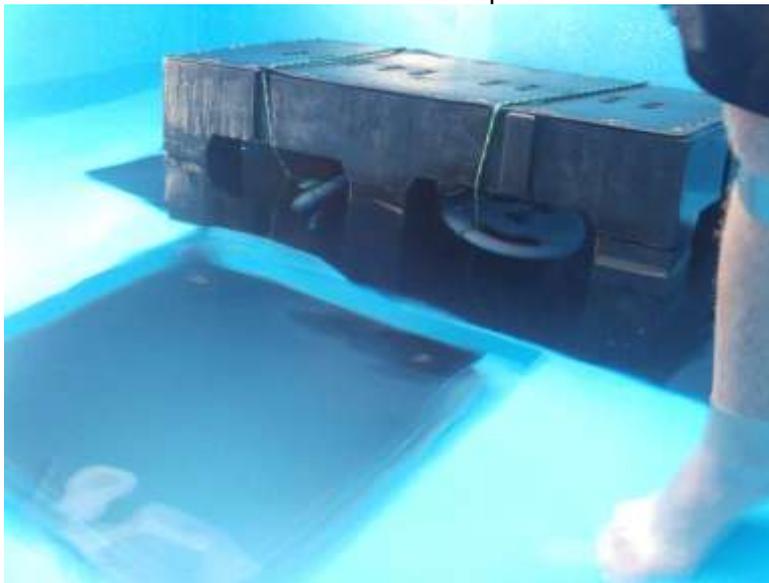
Fonte: Laboratório de Biomecânica Aquática.

Os sujeitos compareceram ao Laboratório de Pesquisas em Biomecânica Aquática da Universidade do Estado de Santa Catarina nos horários que haviam sido agendados. Inicialmente a pesquisadora relembra os procedimentos da pesquisa e entregava o termo de consentimento livre e esclarecido para que os sujeitos pudessem ler e assinar declarando concordar em participar da pesquisa. Feito isso, era realizada a obtenção das medidas antropométricas (massa corporal, estatura e altura dos pontos anatômicos definidos), marcação dos pontos referentes aos níveis de imersão analisados (os pontos eram marcados com um pincel atômico para facilitar a identificação precisa dos mesmos dentro d'água). Posteriormente era posicionado e fixado

o eletrogoniômetro, com sujeito em posição ortostática, uma das hastes do eletrogoniômetro foi fixada no segmento da coxa, na linha formada entre o trocânter maior do fêmur e o epicôndilo lateral do fêmur, e a outra haste foi fixada na linha formada entre o epicôndilo lateral do fêmur e o maléolo lateral da fíbula. A fixação das hastes e do amplificador foi realizada com fita adesiva à prova d'água (Silver Tape, 3M do Brasil).

Em seguida os participantes realizaram um aquecimento, que compreendeu 5 minutos de exercício em bicicleta ergométrica e mobilização articular. Os sujeitos foram, então, convidados e auxiliados a entrar no tanque de fibra de vidro que foi projetado e construído para o desenvolvimento de trabalhos e pesquisas que envolvam principalmente, a análise de saltos no ambiente aquático e sua utilização permite um controle preciso do nível de imersão (APÊNDICE C). Após entrarem no tanque os sujeitos realizaram saltitos e saltos em profundidade submáximos conforme instruções da pesquisadora, para fins de familiarização com o ambiente e possível correção da técnica utilizada pelos sujeitos para realizar o salto. Em todos os saltos foi dada a seguinte instrução: “faça o contato com a plataforma o mais rápido possível e salte o mais alto que puder”. Todos os saltos foram realizados sobre uma plataforma de força fixada no centro do tanque de coleta de dados (Figura 25).

Figura 25 - Posicionamento da plataforma de força e do bloco de salto dentro do tanque.



Fonte: Arquivo Laboratório de Biomecânica Aquática.

Inicialmente foi proposto randomizar inversamente a ordem de realização dos saltos (um sujeito iniciaria do solo para o nível da espinha ilíaca ântero-superior, e o sujeito seguinte – para aproveitar a água que já estava no tanque – iniciaria do nível da espinha ilíaca ântero-superior para o solo), no entanto percebeu-se que embora a instalação hidráulica do tanque fosse bastante eficiente para encher o tanque (foi utilizado uma bomba hidráulica de 1,5 cv de potência com rotação de 3500 rpm – modelo 15B-M, Jacuzzi, Itu, Brasil), ela deixava a desejar no momento de esvaziar (via gravidade). Desta forma, definiu-se que todos os sujeitos iniciariam os procedimentos de coletas de dados realizando saltos no solo, e que as condições de análise do ambiente aquático iriam variar seguindo a ordem progressiva de acordo com a altura do ponto (ou seja, ponto médio da tíbia, côndilo lateral da tíbia, ponto médio da coxa e espinha ilíaca ântero-superior, respectivamente). Para todos os saltos no ambiente aquático a temperatura da água foi de  $29\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

Para cada uma das condições de análise foram realizados três saltos máximos válidos, com um intervalo mínimo de 30 segundos entre as execuções. Esse tempo de recuperação parece ser suficiente para manutenção do desempenho dos saltos (READ; CISAR, 2001) e é necessário para que o sistema esteja apto para realizar uma nova aquisição de dados. Cada sujeito realizou um total de 15 saltos válidos, considerando-se as 5 condições de análise. Foi considerada válida a tentativa na qual o sujeito aterrissou com os dois pés sobre a plataforma de força, tanto após queda quanto na aterrissagem, e manteve as mãos na cintura durante todo o movimento, e os joelhos estendidos durante o voo. A coleta teve duração aproximada de 60 minutos para cada sujeito. Ao final da coleta de dados os sujeitos foram auxiliados a sair do tanque de coleta de dados e orientados a realizar exercícios de alongamento.

### 3.7 TRATAMENTO DOS DADOS

Os dados obtidos com a utilização das plataformas de força foram armazenados e exportados através do software AqDAnalysis 7.02 (Lynx Tecnologia Eletrônica LTDA, Brasil) e os dados obtidos com os eletrogoniômetros foram armazenados e exportados através do software MyoResearch XP Master Edition (Noraxon Inc., Estados Unidos). Após a exportação em formato \*.txt, os dados foram tratados através de rotinas de programação criadas no software Scilab 4.1.1 (INRIA, França).

A rotina de processamento foi composta pelas seguintes etapas: (1) sincronização das curvas da  $F_y$  e do deslocamento angular; (2) correção do zero (*offset*) para as duas curvas ( $F_y$  e deslocamento angular); (3) normalização das curvas da  $F_y$  pelo peso corporal do indivíduo medido fora da água; (4) identificação dos instantes iniciais e finais das fases de contato, de voo e de aterrissagem na curva da  $F_y$ ; (5) identificação da máxima flexão do joelho durante o contato para delimitação das subfases excêntrica e concêntrica do contato; (6) filtragem da curva da  $F_y$  (filtro passa-baixa Butterworth de 3ª ordem, com frequência de corte de 100 Hz para as execuções no solo e de 50 Hz para as execuções na água). As frequências de corte foram determinadas a partir da análise das curvas da densidade espectral de potência

dos sinais adquiridos. No solo, 95% do sinal estava contido até uma frequência de aproximadamente 90 Hz, enquanto que o valor correspondente na água foi de 40 Hz); (7) cálculo dos valores das variáveis do estudo; e (8) exportação dos valores de cada execução de cada sujeito para arquivos em formato \*.txt.

Após a exportação, as variáveis foram organizadas em planilhas com a utilização do *software* Microsoft Excel 2010 (Microsoft Inc.). A partir disso realizou-se o cálculo do valor médio das três execuções de cada sujeito em cada condição. O valor médio de cada variável para cada sujeito foi utilizado para a análise estatística. Dos 26 sujeitos que participaram das análises, para um deles o sinal da eletrogoniometria apresentou falhas em alguns momentos comprometendo a avaliação integral das execuções deste sujeito, assim optou-se por excluir este sujeito da análise das variáveis tempo de contato excêntrico e concêntrico, e impulso excêntrico e concêntrico.

### 3.8 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

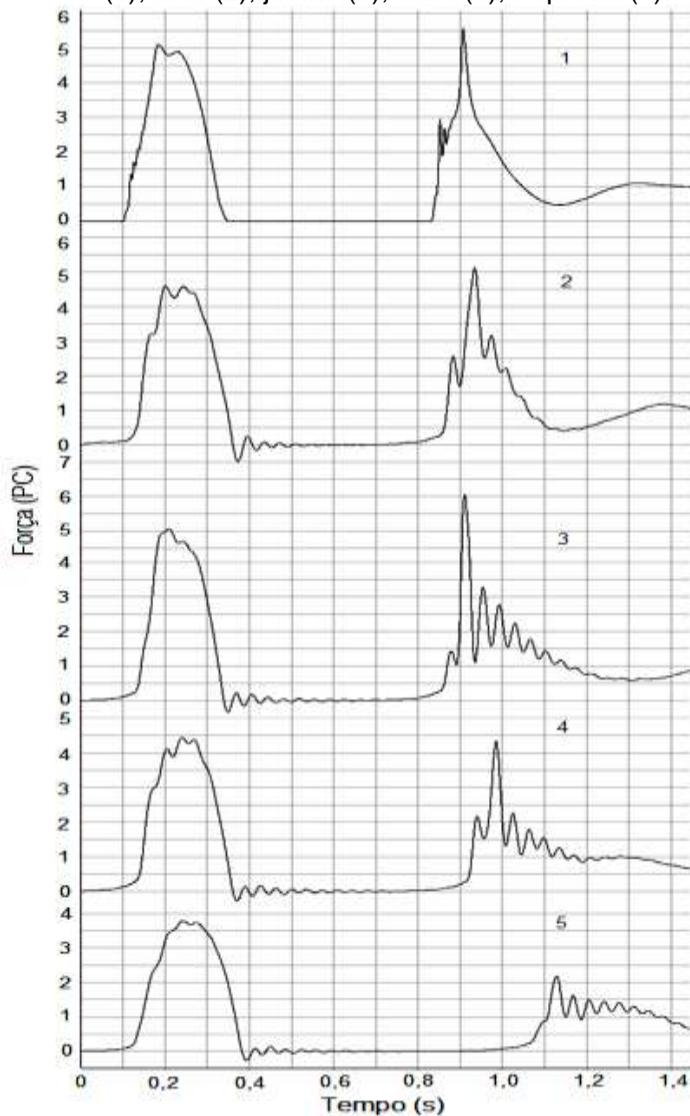
Para o tratamento dos dados de força vertical, tempo de contato e impulso foi utilizada estatística descritiva (média e desvio padrão) e inferencial, de acordo com a normalidade verificada pelo teste de Shapiro-Wilk. Para as variáveis em que se confirmou a distribuição normal dos dados foi utilizado o teste ANOVA para medidas repetidas com o *post-hoc* de Bonferroni para a comparação de cada uma das situações de análise entre si. Nos casos em que os dados apresentaram distribuição não normal as comparações foram realizadas pelo teste ANOVA de Friedman com o *post-hoc* de Wilcoxon para a comparação de cada uma das situações de análise entre si. Em todos os testes estatísticos foi adotado o nível de significância de 5%, sendo que para o teste de Wilcoxon adotou-se um nível de significância corrigido de 1% (baseado na correção utilizada no teste de Bonferroni,  $p = \alpha / \text{número de comparações} \rightarrow p = 0,05/5 \rightarrow p = 0,01$ ). O programa estatístico SPSS (versão 20.0 para Windows) foi utilizado para todas as análises.

## 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para responder aos objetivos propostos neste trabalho, este capítulo foi organizado em tópicos com os respectivos resultados e discussões. Desta forma, inicialmente realizou-se a apresentação e discussão das variáveis cinéticas e em seguida foram apresentadas e discutidas as variáveis cinemáticas durante a execução do salto em profundidade no solo e na água com quatro diferentes níveis de imersão (tíbia, joelho, coxa e quadril). A apresentação de todos os resultados foi realizada sob a forma gráfica, e as tabelas contendo os valores de média, desvio padrão e intervalos de confiança estão apresentados no Apêndice D.

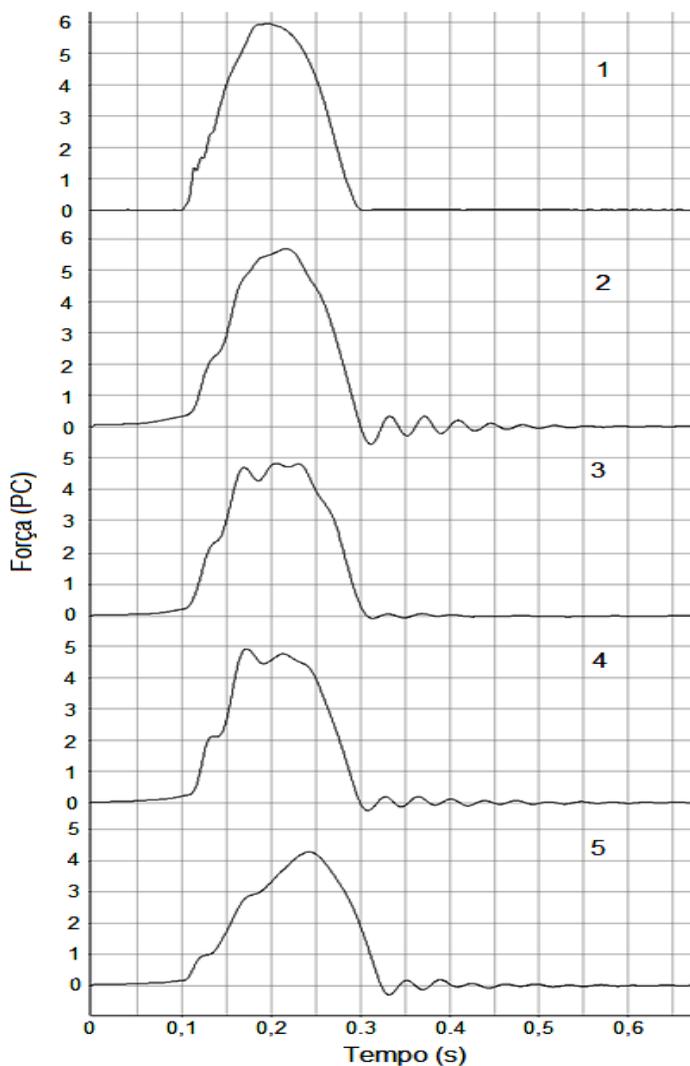
A seguir estão exemplificadas as curvas de força *versus* tempo do SP nas cinco situações de análise. A Figura 26 representa todas as fases do SP para um mesmo sujeito do estudo nas cinco condições de análise. Na Figura 27 está representada especificamente a fase de contato durante a execução do SP de outro sujeito do estudo nas cinco condições de análise. O instante zero de cada curva foi determinado visualmente para cada condição e corresponde aos 100 ms que precedem o início do contato após a queda. Nas duas figuras a ordem da apresentação das situações de análise é iniciada pela condição solo (1) seguida pelo nível de imersão da tíbia (2), joelho (3), coxa (4) e quadril (5). Observando as Figuras 26 e 27 é possível perceber que o padrão da curva é mantido mesmo com a alteração dos níveis de imersão. Também é possível observar que com o aumento do nível de imersão ocorre atenuação dos picos de força e o aumento da duração das fases, caracterizando um “achatamento” na curva de força *versus* tempo. A seguir estão apresentados e discutidos detalhadamente os resultados das análises do efeito da imersão sobre as variáveis cinéticas e cinemáticas de interesse deste estudo.

Figura 26 - Representação da curva de força versus tempo do SP de um sujeito nas cinco condições de análise. Condição solo (1); tibia (2), joelho (3); coxa (4); e quadril (5).



Fonte: Produção da própria autora.

Figura 27 - Representação da fase de contato da curva de força versus tempo do SP de um sujeito nas cinco condições de análise. Condição solo (1); tibia (2), joelho (3); coxa (4); e quadril (5).



Fonte: Produção da própria autora.

## 4.1 VARIÁVEIS CINEMÁTICAS

As variáveis cinemáticas, em especial os parâmetros temporais são fatores determinantes quando se pensa em uma ação pliométrica. É consenso na literatura que para a potenciação do CAE durante o treinamento de saltos é importante que o tempo de contato seja o menor possível. Concebendo a relevância desta variável para a pliometria, a seguir serão apresentadas e discutidas as variáveis de tempo de contato, considerando sua divisão nas subfases excêntrica e concêntrica, bem como o tempo de voo nas situações de análise propostas.

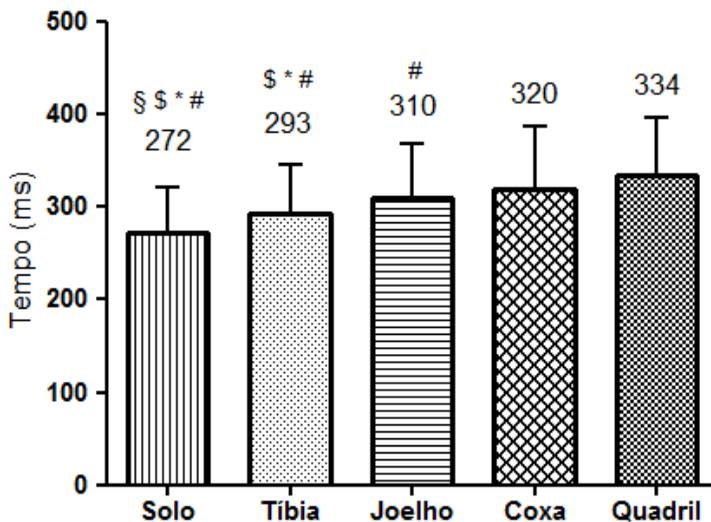
### 4.1.1 Tempo de contato excêntrico, concêntrico e total

Devido a sua importância, o tempo de contato de saltos em profundidade é abordado em diversos estudos. Muito embora a orientação que é repassada comumente aos executantes durante o treinamento pliométrico solicite que o contato seja realizado o mais rápido quanto for possível, Verkoshansky (1996) pontua que o tempo de contato no salto em profundidade deve ser inferior a 200 ms. Viitasalo e Bosco (1982) adicionam ainda que este tempo de duração do contato favorece que o potencial de reflexo e o aproveitamento da energia elástica aconteçam de uma forma mais eficaz. No entanto, estes valores variam bastante de acordo com o nível técnico e as condições físicas dos sujeitos.

Em relação à duração do tempo de contato (TC) no solo, Viitasalo, Salo e Lahtinen (1998) reportaram valores médios de TC de 166 ms para atletas de salto triplo e 226 ms para estudantes fisicamente ativos, enquanto Kellis, Arabatzi e Papadopoulos (2003) encontraram TC médio de 190 ms para saltadores em distância e Peng, Kernozek e Song encontraram valores médios de 314 ms para universitários fisicamente ativos. Um fator que deve ser considerado é que nos estudos supracitados os sujeitos estavam utilizando tênis, que além de proporcionar segurança é a condição em que os sujeitos estão acostumados a realizar os saltos normalmente. Já em estudos que avaliaram sujeitos descalços (mesma condição desta

pesquisa), Bobbert, Huijing e Van Ingen Schenau (1987b) reportaram TC médios de 300 ms nos SP partindo de 0,4 m realizados por estudantes fisicamente ativos e familiarizados com este tipo de salto. Na mesma situação de análise (SP de 0,4 m) foram encontrados valores médios de TC de 510 ms para sujeitos fisicamente ativos mas sem experiência na execução do SP (RUSCHEL, 2009) e 288 ms para atletas que rotineiramente faziam uso do treinamento pliométrico (RUSCHEL, 2014). No presente estudo foi encontrado TC médio de 272 ms no solo e este valor aumentou conforme o nível de imersão foi elevado (Figura 28).

Figura 28 - Tempo de contato nas cinco situações de análise. (§) indica diferença significativa quando comparada com a situação tibia, (\$) indica diferença significativa quando comparada com a situação joelho, (\*) indica diferença significativa quando comparada com a situação coxa e (#) indica diferença significativa quando comparada com a situação quadril para o teste de Wilcoxon.



Fonte: Produção da própria autora.

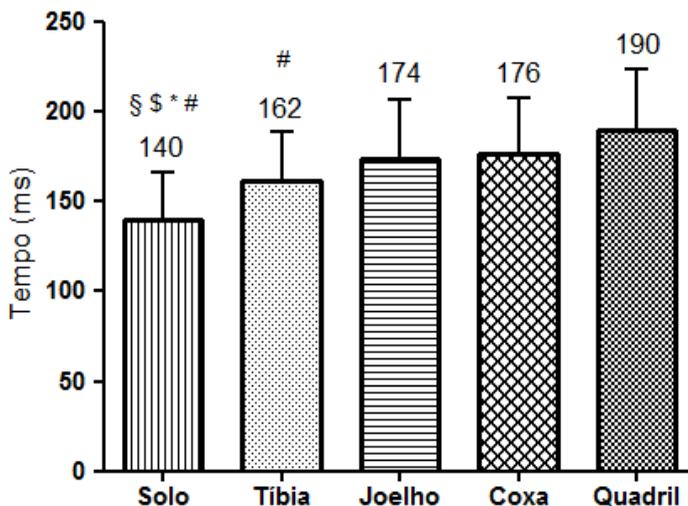
Quando analisamos a influência do meio aquático sobre o TC, os nossos resultados indicam que diferenças significativas foram encontradas entre a situação solo e as situações tibia ( $p=0,007$ ), joelho ( $p=0,000$ ), coxa ( $p=0,000$ ) e quadril ( $p=0,000$ ); entre a situação tibia e as situações joelho ( $p=0,007$ ), coxa ( $p=0,001$ ) e quadril ( $p=0,000$ ); e entre as situações joelho e quadril ( $p=0,009$ ). Em comparação à condição solo os aumentos do TC foram de 8%, 14%, 18% e 23% para os níveis da tibia, joelho, coxa e quadril, respectivamente. Estes resultados indicam que mesmo nos menores níveis de imersão avaliados o TC foi significativamente maior do que no solo. Isso nos permite especular que não é possível realizar o TPA com os mesmos objetivos do treino realizado no solo. Estudos pregressos que analisaram o tempo de contato em SP na água reportam valores médios 51% e 43% maiores na água com imersão ao nível do quadril e do peito, respectivamente, quando comparado ao solo (RUSCHEL, 2009). Stephenson *et al.* (2011) avaliaram saltos de atletas do sexo feminino no solo e na água, e para o SP partindo de 0,46 m os valores médios de TC com imersão de 1,40 m foram 70% maiores do que os valores no solo. Os resultados de Ruschel (2014) apontam que, em média, o TC foi 28% maior na água (imersão ao nível da cintura) quando comparado ao solo.

Para entender um pouco melhor o TC no SP, a seguir serão feitas algumas considerações sobre os seus dois principais componentes, sendo eles o tempo de contato excêntrico (TCE) e concêntrico (TCC). Os valores encontrados pela presente pesquisa são de 140 ms para o TCE (Figura 38) e 133 ms para o TCC (Figura 39). Estudos pregressos reportam que no solo os valores médios são de 67 ms e 99 ms para o TCE e TCC, respectivamente, em atletas de salto triplo; 128 ms e 97 ms para estudantes fisicamente ativos (VIITASALO; SALO; LAHTINEN, 1998); 80 ms e 110 ms para saltadores em distância (KELLIS; ARABATZI; PAPADOPOULOS, 2003); 149 ms e 140 ms para atletas com experiência em treinamento pliométrico (RUSCHEL, 2014); 140 ms e 160 ms para estudantes fisicamente ativos familiarizados com o exercício (BOBBERT; HUIJING; VAN INGEN SCHENAU, 1987b); e 130 ms e 130 ms para atletas de voleibol (BOBBERT; HUIJING; VAN INGEN SCHENAU, 1987a). Nossos resultados são bastante semelhantes aos três últimos

trabalhos citados – tais estudos assumiram procedimentos metodológicos similares aos utilizados por nós. É válido ressaltar também que a característica da composição do TC em TCE e TCC varia bastante de acordo com as particularidades dos executantes.

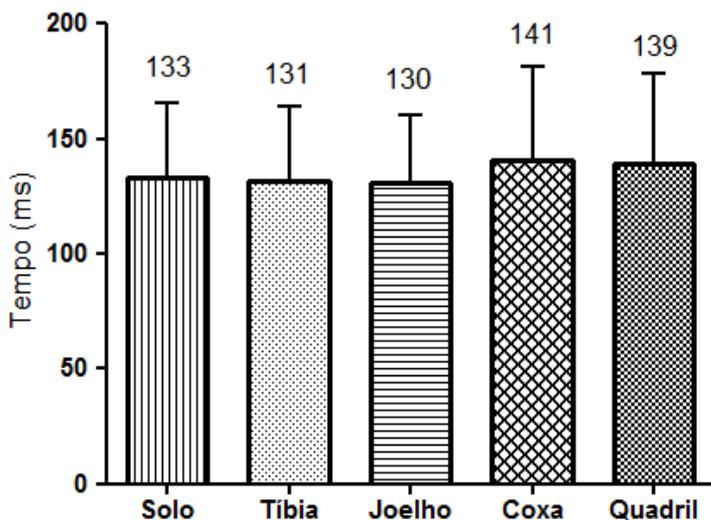
Quando analisamos a influência do meio aquático sobre as subfases do TC, os resultados para o TCE indicam que as diferenças significativas foram encontradas entre a situação solo e todas as demais (tíbia  $p=0,004$ ; joelho  $p=0,000$ ; coxa  $p=0,000$ ; e quadril  $p=0,000$ ); e a situação tíbia quando comparada a situação quadril ( $p=0,001$ ) (Figura 29). Para o TCC não foram encontradas diferenças significativas entre as situações de análise (Figura 30).

Figura 29 - Tempo de contato excêntrico nas cinco situações de análise. (§) indica diferença significativa quando comparada com a situação tíbia, (\$) indica diferença significativa quando comparada com a situação joelho, (\*) indica diferença significativa quando comparada com a situação coxa e (#) indica diferença significativa quando comparada com a situação quadril para o *post hoc* de Bonferroni.



Fonte: Produção da própria autora.

Figura 30 - Tempo de contato concêntrico nas cinco situações de análise.



Fonte: Produção da própria autora.

Existem poucos relatos na literatura que contemplem a análise das subfases do contato em SP na água. Recentemente, Ruschel (2014) reportou valores médios de 211 ms para o TCE e 157 ms para o TCC ao nível da cintura (os valores foram respectivamente 42% e 12% maiores que os resultados para a execução realizada no solo). Os resultados do nosso estudo apontam que para o TCE ocorreram elevações relativas de 16%, 24%, 26% e 36%, respectivamente para tibia, joelho, coxa e quadril, sendo que esta subfase contribuiu de maneira determinante para o aumento do TC nos diferentes níveis de imersão. Estes valores podem ser explicados inicialmente, pelas propriedades físicas da água (empuxo) e é possível especular ainda que na água seja necessária uma pequena fase para estabilizar o movimento (equilibrar-se) antes de iniciar a fase seguinte (concêntrica).

De acordo com Komi (2003) e Komi e Gollhofer (1997) a fase excêntrica do contato deve ser curta e rápida para que se alcance um efetivo CAE. Ilustrando este fato, Viitasalo, Salo e

Lahtinen (1998) reportaram que um grupo de atletas foi capaz de realizar o TCE significativamente mais rápido (48%) do que um grupo de estudantes fisicamente ativos, além disso, o grupo de atletas apresentou altura de salto significativamente maior (32%) e para o TCC não foram encontradas diferenças significativas. Essa variação pode ser atribuída ao fato de que o reflexo de estiramento é velocidade-dependente, dessa maneira quanto maior a velocidade da fase excêntrica – fase de alongamento – menor será o tempo de transição excêntrico-concêntrico (BOBBERT; HIUJING; VAN INGEN SCHENAU, 1987b) e maior será o desempenho no salto (KYROLAINEN; KOMI, 1995). De acordo com Flanagan e Comins (2008), o pico de velocidade da ação excêntrica (ver instante “c” na curva velocidade *versus* tempo – Figura 3) depende da velocidade máxima do centro de massa do indivíduo durante a fase de queda. No solo, de acordo com as equações de *Queda Livre* podemos calcular que para a altura de queda de 0,4 m o corpo deve chegar à plataforma de força com uma velocidade aproximada de  $2,8 \text{ m.s}^{-1}$ , no entanto na água, em razão principalmente do empuxo e da resistência, esta velocidade deve ser menor, podendo refletir em menos eficiência do CAE neste ambiente.

O TCC no SP tende ser mais curto que o TCE, pois nesta fase o corpo se encontra em aceleração e velocidade positiva visando à decolagem (período compreendido pelos instantes c-d e d-e da Figura 3). Devido à lei da conservação da energia, para o SP no solo existe uma forte relação entre a velocidade da decolagem e a altura de voo (LINTHORNE, 2001). Dal Pupo, Detânico e Santos (2012) expressam que para o SCM a velocidade da decolagem tem uma correlação de 0,97 com a altura de voo. Desta forma, como a máxima altura de voo é um objetivo do SP, é esperado que esta fase seja tão rápida quanto for possível. Quando comparamos a duração do TCC nos ambientes solo e água (Figura 30), embora não tenham sido encontradas diferenças significativas em nenhuma das situações, os níveis de imersão da coxa e do quadril apresentaram maior duração. Em termos percentuais as variações foram de -2% para tíbia e joelho, +6% para coxa e +5% para quadril. Uma possível explicação para esta semelhança é que apesar da resistência

oferecida pela água, que atua contra o sentido do movimento, coexiste a ação do empuxo.

Por fim, é importante destacar que o ambiente aquático, independentemente do nível de imersão, faz com que a duração do TC e TCE seja significativamente maior do que no solo. Tal informação sugere que o ambiente aquático pode não ser adequado para substituir completamente o treinamento pliométrico tradicional, e deve ser considerada na decisão de incluir o TPA na rotina de treinamento de equipes esportivas.

#### 4.1.2 Tempo de voo

A Figura 31 apresenta os resultados para o tempo de voo (TV) nas cinco situações de análise. Maiores TV foram encontrados para níveis de imersão mais elevados e estes valores apresentam diferenças significativas quando comparadas a situação coxa com as situações solo ( $p=0,0000$ ), tibia ( $p=0,002$ ) e joelho ( $p=0,006$ ) e a situação quadril com todas as demais (solo  $p=0,000$ ; tibia  $p=0,000$ ; joelho  $p=0,000$ ; e coxa  $p=0,000$ ).

O tempo de voo é uma variável que frequentemente é utilizada para indicar o desempenho de um salto (MARKOVIC *et al.*, 2004; COMYNS *et al.*, 2007; FLANAGAN; EBBEN; JENSEN, 2008), isso por que, no solo, maiores tempos de voos refletem maiores alturas de salto conforme equação a seguir:

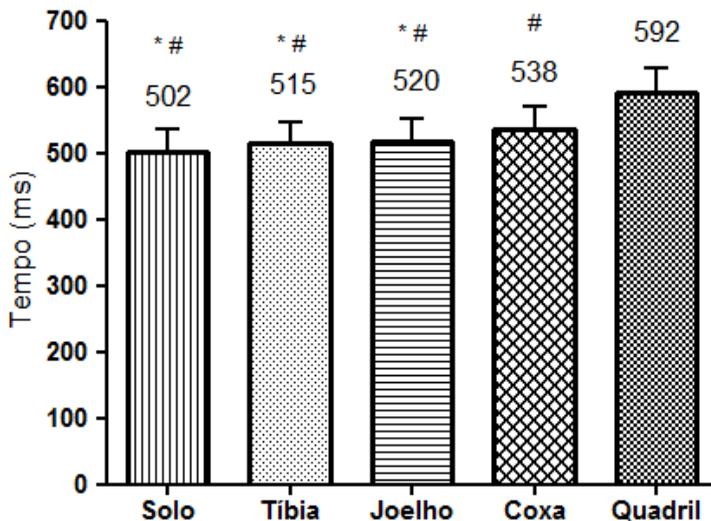
$$h = g \frac{t^2}{8}$$

Onde:  $h$  = altura do salto em metros;  $g = 9,81m.s^{-1}$  (aceleração da gravidade); e  $t$  = tempo de voo em segundos.

Desta maneira, considerando os tempos médios de voos dos sujeitos deste estudo na condição solo temos altura média de 31,0 cm. No entanto, devido às propriedades físicas da água, esta equação não pode ser aplicada para comparar o desempenho nos saltos realizados no ambiente aquático e terrestre (EBBEN *et al.*, 2010). Ou seja, os TV foram significativamente maiores nas situações coxa e quadril quando comparados à situação solo (Figura 31) não refletem

necessariamente saltos com melhores desempenhos, embora se espere que na água sejam alcançados maiores alturas de salto (STEPHENSON *et al.*, 2011). Assim, fica evidente que o TV não é um bom indicador para comparar o desempenho dos saltos no solo e na água, sendo possível que outros parâmetros como a velocidade de decolagem e o impulso concêntrico sejam mais efetivos para comparações do desempenho entre saltos no solo e na água.

Figura 31 - Tempo de voo nas cinco situações de análise. (\*) indica diferença significativa quando comparada com a situação coxa e (#) indica diferença significativa quando comparada com a situação quadril para o teste de Wilcoxon.



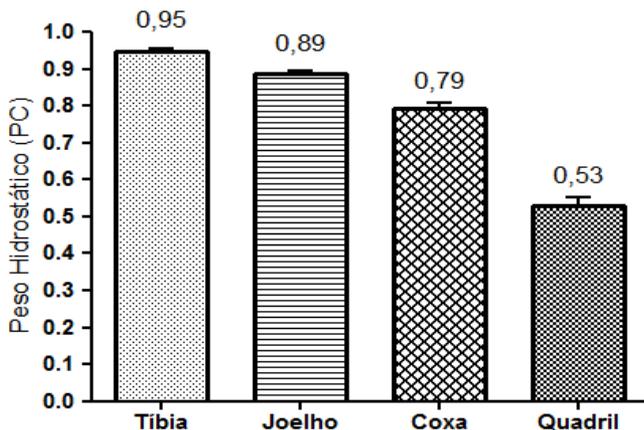
Fonte: Produção da própria autora.

## 4.2 VARIÁVEIS CINÉTICAS

No início da quantificação da força resultante atuante sobre o indivíduo submerso com a finalidade de embasar a prescrição de atividades aquáticas, o peso hidrostático dos indivíduos foi mensurado em diversos níveis de imersão em

situação estática (HARRISON; BULSTRODE, 1987), entretanto, se sabia que os valores iriam variar quando os indivíduos estivessem em movimento. Desta maneira, para fins comparativos a Figura 32 apresenta o peso hidrostático médio dos sujeitos em situação estática em cada um dos níveis de imersão analisados nesta pesquisa, tais valores são relativos ao peso corporal no solo. Nas situações estáticas, os sujeitos deste estudo apresentaram reduções de 5%, 11%, 21% e 47% do peso corporal quando analisados os níveis de imersão da tíbia, joelho, coxa e quadril, respectivamente. Tais reduções são explicadas pelo princípio de Arquimedes. O empuxo representa a força exercida pela água no sentido oposto à força peso do corpo e é diretamente relacionado com o volume do corpo imerso. Ou seja, como níveis mais elevados de imersão correspondem a maiores volumes do corpo imerso estas situações irão gerar maiores valores do empuxo e conseqüentemente maior redução do peso aparente.

Figura 32 - Peso hidrostático (PC) dos sujeitos em situação estática nas quatro condições de análise na água.

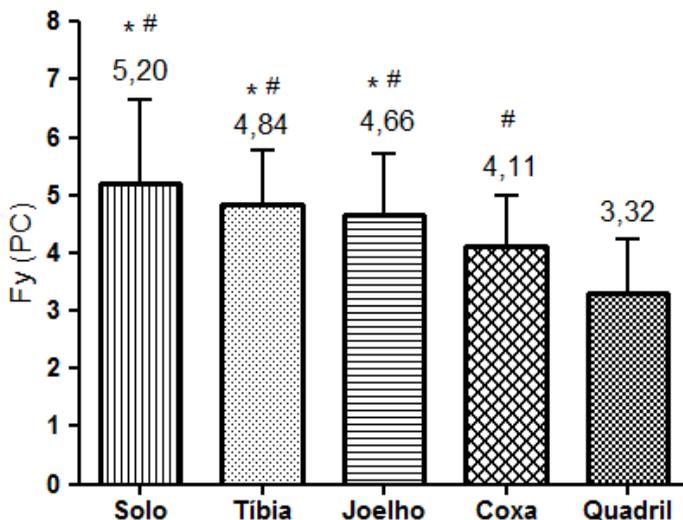


Fonte: Produção da própria autora.

#### 4.2.1 Força máxima durante a subfase excêntrica após a queda

Para a força máxima durante a subfase excêntrica após a queda ocorreu a diminuição da média dos valores máximos de  $F_y$  conforme se aumentou o nível de imersão (Figura 33). Nos níveis de imersão da tíbia e do joelho, embora houvesse a redução da  $F_{\text{máxEXC}}$  quando comparada à condição solo, estas diferenças não foram estatisticamente significativas. Portanto, para a força máxima durante a subfase excêntrica houve diferenças significativas quando comparadas a situação da coxa com as demais (solo  $p < 0,001$ ; tíbia  $p < 0,001$ ; e joelho  $p = 0,001$ ) e a situação quadril com as demais (solo  $p < 0,001$ ; tíbia  $p < 0,001$ ; joelho  $p < 0,001$  e coxa  $p < 0,001$ ), indicando que esta variável do salto em profundidade começa a ter uma redução significativa a partir do nível de imersão da coxa. É importante ressaltar ainda que, exceto no nível de imersão do quadril, a redução ocasionada pela água foi semelhante à situação estática, sendo que as reduções foram respectivamente de 7%, 10%, 21% e 36% para o nível da tíbia, joelho, coxa e quadril.

Figura 33 - Força máxima (unidades de peso corporal, PC) durante a subfase excêntrica do contato nas cinco situações de análise. (\*) indica diferença significativa quando comparada com a situação coxa e (#) indica diferença significativa quando comparada com a si



Fonte: Produção da própria autora.

Embora estudos prévios já tivessem reportado a atenuação do impacto em outros níveis de imersão e diferentes tipos de saltos (BRITO *et al.*, 2007; RUSCHEL, 2009; TRIPLETT *et al.*, 2009; COLADO *et al.*, 2010; EBBEN *et al.*, 2010; DONOGHUE; SHIMOJO; TAKAGI, 2011; STEPHENSON *et al.*, 2011; RUSCHEL, 2014), ao que se tem conhecimento até o momento, este é o primeiro trabalho a investigar SP no ambiente aquático em níveis de imersão inferiores ao do quadril. No entanto, para aspectos comparativos iremos reportar os resultados de alguns trabalhos que avaliaram a F<sub>máx</sub>EXC em SP em níveis mais elevados de imersão. Por exemplo, para o nível de imersão do peito e quadril, Ruschel (2009) reportou atenuação de 80% e 75%, respectivamente, da F<sub>máx</sub>EXC em sujeitos ativos sem experiência prévia com a técnica de execução do salto. Ruschel (2014) relatou a atenuação de 42%

da F<sub>máxEXC</sub> com imersão ao nível da cintura (atletas de voleibol, futebol e atletismo).

Frente à redução da F<sub>máxEXC</sub> é necessário considerar que o aspecto principal que justifica a realização de exercícios pliométricos no ambiente aquático é a redução das cargas excêntricas proporcionada pelos princípios físicos da água (MILLER *et al.*, 2002). No entanto, é preciso levar em consideração que os saltos em profundidade bem como o treinamento pliométrico realizado em solo utilizam a carga excêntrica (dentro de um limite razoável e com cargas progressivas) com o intuito de fornecer estímulos para a potenciação elástica e reflexa do músculo em questão, através da utilização do CAE (BOBBERT; HUIJING; VAN INGEN SCHENAU, 1987b; MOURA, 1994). É durante esta subfase que ocorre o armazenamento de energia potencial elástica e o estímulo aos fusos musculares (BOBBERT; CASIUS, 2005; KOMI, 2000; SIMPSON; CIAPPONI; WANG, 2003).

Sabe-se que as ações excêntricas isoladas ou a alternância de ações concêntricas e excêntricas são mais eficientes do que as ações concêntricas e isométricas para gerar adaptações neuromusculares e induzir alterações estruturais no sistema músculo-tendão (BARROSO; TRICOLI; UGRINOWITSCH, 2005; GUILHEM; CORNU; GUÉVEL, 2010). Este tipo de contração pode ainda causar alterações morfológicas nas fibras musculares (ESTON; BYRNE; TWIST, 2003; GUILHEM; CORNU; GUÉVEL, 2010) devido ao dano e ao maior grau de tensão sobre essas fibras. Considerando estas informações conjuntas (a menor carga excêntrica proporcionada pelo ambiente aquático e as consequências das ações excêntricas) é pertinente que menores índices de dor muscular estejam associados ao TPA quando comparado ao mesmo volume de treino no solo. Neste contexto é possível especular que o TPA em níveis de imersão muito elevados (nível da coxa e quadril, por exemplo), por reduzirem significativamente a carga excêntrica, não seja capaz de oferecer o estímulo adequado para a adaptação neural e o desenvolvimento efetivo do CAE quando comparado ao treinamento em solo.

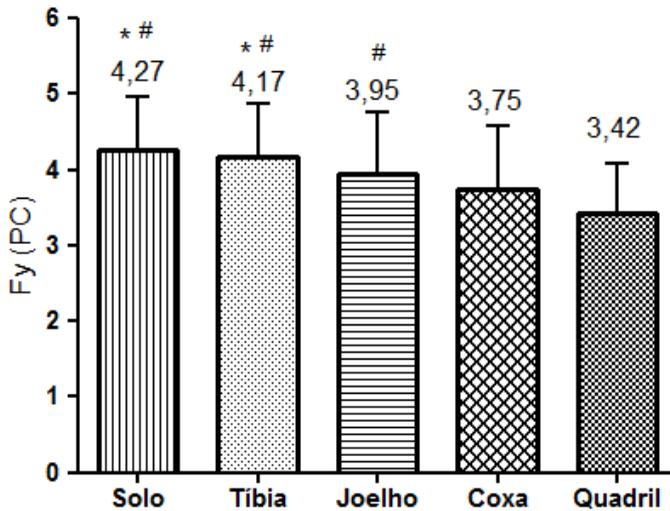
No entanto, não se pode esquecer que na maioria dos estudos que analisaram os efeitos do TPA (intervenções que

duram em média entre 6 e 8 semanas) em diferentes níveis de imersão (geralmente acima do nível do quadril) apresentam resultados positivos sobre diversas variáveis do desempenho. A partir disso, torna-se necessário avaliar minuciosamente as respostas neurais frente ao TPA. É preciso considerar ainda que a possibilidade de redução da carga excêntrica torna o ambiente aquático viável para realização do treinamento pliométrico em fases iniciais da temporada competitiva de atletas e também durante processos de reabilitação dependendo no nível de condicionamento do paciente.

#### 4.2.2 Força máxima durante a subfase concêntrica após a queda

Para a força máxima durante a subfase concêntrica os resultados apontam que ocorreu a diminuição da média nos valores máximos de  $F_y$  conforme se aumentou o nível de imersão (Figura 34). Nos níveis de imersão da tíbia e do joelho, embora houvesse a redução desta variável quando comparada à condição solo, estas diferenças foram pequenas e não estatisticamente significativas. Desta maneira, para a  $F_{máxCON}$  houve diferenças significativas quando comparadas a situação quadril com as situações solo ( $p < 0,001$ ), tíbia ( $p = 0,002$ ) e joelho ( $p = 0,007$ ); e a situação coxa com as situações solo ( $p = 0,001$ ) e tíbia ( $p = 0,026$ ). Deste modo, a  $F_{máxCON}$  no salto em profundidade começa a apresentar uma redução significativa somente a partir do nível de imersão da coxa. É importante ressaltar que para esta variável, a situação dinâmica apresentou menor redução da componente vertical da FRS do que a situação estática, sendo que as reduções foram respectivamente de 2%, 8%, 12% e 20% para os níveis de imersão da tíbia, joelho, coxa e quadril.

Figura 34 - Força máxima (PC) durante a subfase concêntrica da queda nas cinco situações de análise. (\*) indica diferença significativa quando comparada com a situação coxa e (#) indica diferença significativa quando comparada com a situação quadril para o *post hoc* de Bonferroni.



Fonte: Produção da própria autora.

Juntamente com a redução das cargas excêntricas (MILLER *et al.*, 2002), outro aspecto que fomenta a utilização do treinamento de saltos na água é a possibilidade de aumento da sobrecarga concêntrica devido à resistência da água durante o movimento (MILLER *et al.*, 2002; MARTEL *et al.*, 2005; COLADO *et al.* 2006; TRIPLETT *et al.*, 2009; COLADO *et al.*, 2010). Ilustrando este aspecto Triplett *et al.* (2009) e Colado *et al.* (2010) reportaram os valores absolutos de F<sub>máxCON</sub> em saltos com meio agachamento unilateral (492 N e 713 N, para solo e água, respectivamente) e saltos com meio agachamento (aproximadamente 840 N e 1040 N, para solo e água, respectivamente) de jogadoras de handebol no solo e na água com imersão ao nível do processo xifoide. Os resultados apontaram que o meio aquático apresentou valores de F<sub>máxCON</sub> significativamente maiores que o ambiente terrestre,

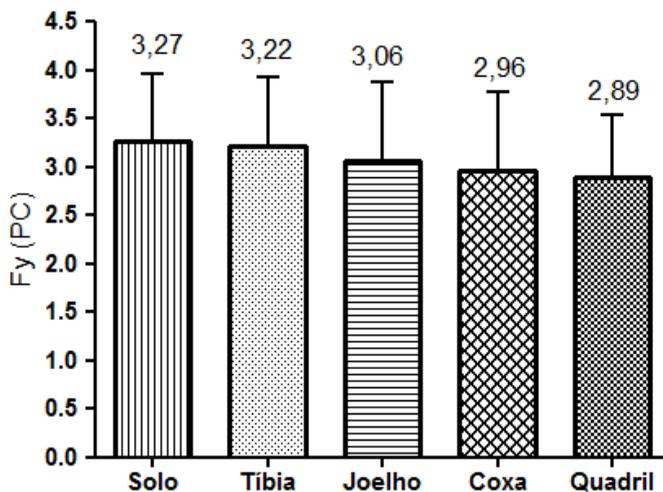
no entanto, tais autores apresentaram os valores máximos de força reduzidos do peso do indivíduo na situação.

Para os SP, em condições metodológicas semelhantes às adotadas neste estudo (valores expressos em unidades de PC, e sem diminuição do peso corporal do sujeito), foram reportadas reduções médias de 25% para a FmáxCON com imersão ao nível do quadril em relação à execução no solo (RUSCHEL, 2009; RUSCHEL, 2014). No entanto, a fim de isolar a força concêntrica realizada durante o salto, utilizamos uma correção simples através de uma equação de ajuste (APÊNDICE B). Tal equação subtraiu o valor referente ao peso corporal do indivíduo da FmáxCON.

A Figura 35 apresenta os resultados da equação de ajuste da FmáxCON para cada uma das cinco situações de análise. Muito embora ainda houvesse diferenças da produção de força nos ambientes (redução de 2%, 6%, 9% e 12% para os níveis de imersão da tíbia, joelho, coxa e quadril, respectivamente) é importante destacar que as diferenças não foram significativas. Ebben *et al.* (2010), também realizando a diminuição do PC do sujeito do valor de força máxima reportam que, para o SP partindo da altura de 0,46m com imersão de 1,40m, o ambiente aquático apresentou valores máximos de força concêntrica 31% inferior ao ambiente terrestre.

Embora fossem esperados maiores valores de FmáxCON na água em função de que o movimento ascendente precisa “vencer” a resistência da água, tais resultados podem ser em parte explicados pelo princípio do empuxo, que resulta em menor peso no ambiente aquático e em razão disso as forças geradas foram menores neste ambiente (MILLER *et al.*, 2001). No entanto, evidências recentes (RUSCHEL, 2014) demonstram que o salto em profundidade na água (imersão ao nível do quadril) apresenta maior atividade elétrica dos músculos gastrocnêmio medial e reto femoral durante a fase concêntrica do salto quando comparado à execução no solo. Tais resultados indicam que o ambiente aquático é capaz de proporcionar sobrecarga durante a esta fase do SP.

Figura 35 - Força máxima ajustada (PC) durante a subfase concêntrica da queda nas cinco situações de análise.



Fonte: Produção da própria autora.

Um aspecto que merece destaque, é que maiores valores de força concêntrica não determinam impreterivelmente saltos verticais com melhores desempenhos (DOWLING; VAMOS, 1993; McBRIDE *et al.*, 2010; KIRBY *et al.*, 2011; DAL PUPO; DETÂNICO; SANTOS, 2012). Dowling e Vamos (1993), ao analisarem possíveis preditores do desempenho no SCM executado por 97 adultos fisicamente ativos, reportaram um coeficiente de correlação de 0,519 entre a força concêntrica e a altura de voo. Os autores afirmam que maiores valores de força máxima concêntrica são necessários, porém não suficientes, para o bom desempenho do SCM. Concordando com esta informação, Dal Pupo, Detânico e Santos (2012) compararam o desempenho de SMA e de SCM de corredores e voleibolistas, e os resultados apontam que embora os maiores valores de produção máxima de força sejam realizados pelos jogadores de voleibol, os corredores alcançam maiores alturas de salto. Outros estudos reiteram a relação inconstante entre a força produzida e a altura de salto. No SP, por exemplo, embora sejam alcançados maiores valores de força máxima concêntrica do que no SCM, a

altura de salto é menor (BOBBERT *et al.*, 1986; BOBBERT; HUIJING; VAN INGEN SCHENAU, 1987b; EBBEN *et al.*, 2010).

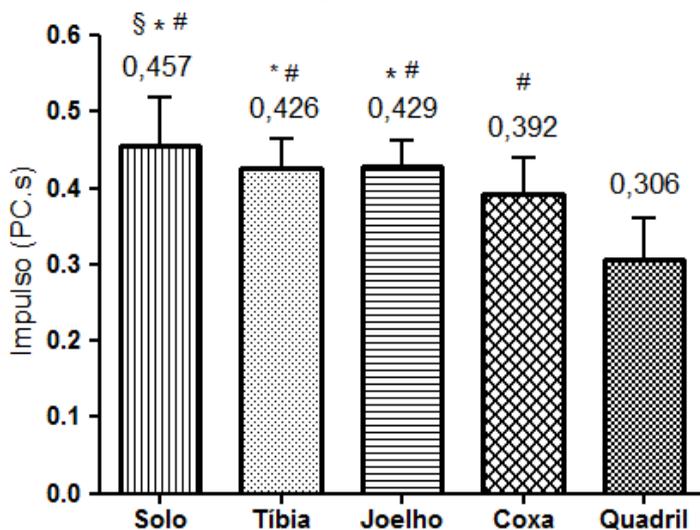
Existem também alguns estudos que avaliaram o efeito de treino que corroboram com o proposto anteriormente. Makaruk e Sacewicz (2010) verificaram que após 6 semanas de treinamento pliométrico ocorreu um aumento significativo da potência concêntrica (W/kg) durante a execução do SCM e do SP, no entanto, este aumento não foi acompanhado da melhora significativa no desempenho da altura de salto. Neste sentido, Rodacki e Fowler (2002) analisaram dois programas de treinamento de força na tentativa de melhor compreender os mecanismos de coordenação dos movimentos multissegmentares do salto. Um grupo treinou realizando saltos com contramovimento máximos enquanto que o outro praticou movimentos de extensão e flexão de joelho em uma máquina de pesos. Os resultados apontam que os ganhos de força não produziram necessariamente melhorias no desempenho do salto, e de acordo com os autores isso pode ser justificado pelo fato de que as alterações na força após o treinamento podem requerer um período de re-otimização na estratégia de coordenação antes que a altura do salto aumente. Como o salto é um movimento complexo existem outros fatores como a organização da característica temporal e espacial dos movimentos segmentares (RODACKI; FOWLER, 2002) e a forma como a força é aplicada (DOWLING; VAMOS, 1993; McNITT-GRAY, 2001) que codeterminam o seu desempenho.

#### 4.2.3 Impulso durante a subfase excêntrica e concêntrica da queda

Quando falamos de movimentos humanos é necessário considerar que quando um indivíduo aplica uma força para produzir um movimento, a força nunca é aplicada instantaneamente, e sim durante um período de tempo. Em função disso, devemos sempre considerar o tempo em que uma determinada força é aplicada (MIZUGUCHI, 2012). Neste sentido, o impulso é uma variável que pode auxiliar a compreensão do desempenho em saltos.

Os resultados do impulso excêntrico (Figura 36) indicam que existem diferenças significativas entre a situação tibia e a situação solo ( $p=0,004$ ), entre a situação coxa e as situações solo ( $p<0,001$ ), tibia ( $p=0,01$ ) e joelho ( $p=0,002$ ) e entre a situação quadril e todas as demais (solo  $p<0,001$ ; tibia  $p<0,001$ ; joelho  $p<0,001$ ; e coxa  $p<0,001$ ), e sugerem que a partir do nível de imersão da coxa ocorre uma grande redução do IMPexc. Tais resultados podem ser explicados pelos menores valores reportados para a  $F_{\text{máxEXC}}$  (variável que é fator do impulso – Figura 33) na água conforme aumentou-se o nível de imersão, e evidenciam a menor carga excêntrica imposta ao indivíduo durante a realização de saltos neste ambiente. Muito embora a duração desta fase (outra variável que é fator do impulso - tempo de contato excêntrico - Figura 29) tenha sido maior na água, isto não foi suficiente para compensar a equação e não apresentar diferenças entre as situações de análise. Em termos percentuais as reduções quando comparadas com a condição solo foram de 7%, 6%, 14% e 33% para os níveis de imersão da tibia, joelho, coxa e quadril, respectivamente.

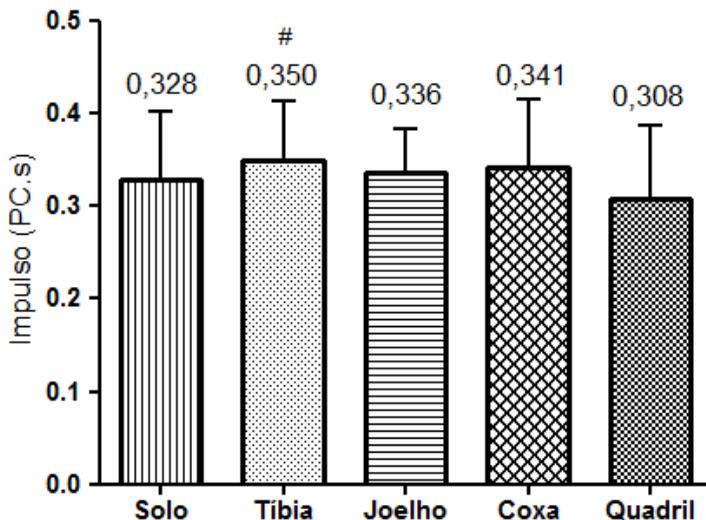
Figura 36 - Impulso excêntrico (PC.s) nas cinco situações de análise. (§) indica diferença significativa quando comparada com a situação tibia, (\*) indica diferença significativa quando comparada com a situação coxa e (#) indica diferença significativa quando comparada com a situação quadril para o teste de Wilcoxon.



Fonte: Produção da própria autora.

Para o impulso concêntrico (Figura 37) foram encontradas diferenças significativas somente entre a situação tibia e a situação quadril ( $p=0,003$ ). Para as demais comparações, as diferenças não significativas podem ter sido decorrentes de uma combinação entre os menores valores da força máxima concêntrica (Figura 34) e os maiores valores do tempo de contato concêntrico (Figura 30). Sendo assim, tal comportamento refletiu em valores de impulso concêntrico semelhantes entre as condições de análise. Em comparação ao solo, houve o aumento de 7%, 2% e 4% para o impulso concêntrico nas condições tibia, joelho e coxa, respectivamente, e a diminuição de 6% na condição quadril.

Figura 37 - Impulso concêntrico (PC.s) nas cinco situações de análise. (#) indica diferença significativa quando comparada com a situação quadril para o teste de Wilcoxon.



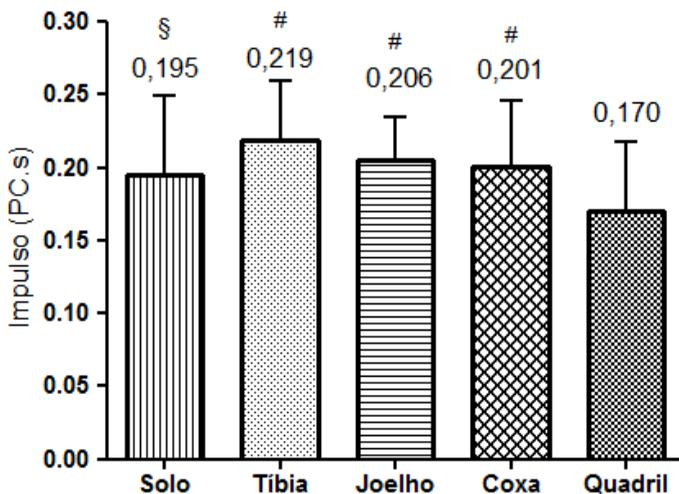
Fonte: Produção da própria autora.

O impulso concêntrico relativo ao PC do indivíduo é uma variável que vem sendo correlacionada com o desempenho em *sprints* (SLEIVERT; TAINGAHUE, 2004) e em saltos verticais (McBRIDE *et al.*, 2010; KIRBY *et al.*, 2011). Para os saltos verticais, tanto em SMA quanto em SCM os resultados destas correlações ( $r=0,934$  e  $r=0,925$  para SMA e SCM, respectivamente) indicam que o impulso concêntrico é um excelente preditor para o desempenho do salto (McBRIDE *et al.*, 2010; KIRBY *et al.*, 2011). No entanto, estas investigações calcularam o impulso de maneira diferente da adotada em nosso estudo (mais detalhes no APÊNDICE B).

A Figura 38 apresenta resultados do IMPcon ajustado para cada uma das cinco situações de análise. É importante observar que após o ajuste as diferenças tornaram-se mais evidentes e são apresentadas diferenças significativas nas comparações entre as situações solo e tibia ( $p=0,008$ ) e entre as

situações quadril e tibia ( $p < 0,001$ ), joelho ( $p = 0,002$ ) e coxa ( $p < 0,001$ ). Em comparação ao solo, houve o aumento de 12%, 5% e 3% para o impulso concêntrico ajustado nas condições tibia, joelho e coxa, respectivamente, e a diminuição de 13% na condição quadril.

Figura 38 - Impulso concêntrico ajustado (PC.s) nas cinco situações de análise. (§) indica diferença significativa quando comparada com a situação tibia e (#) indica diferença significativa quando comparada com a situação quadril para o teste de Wilcoxon.



Fonte: Produção da própria autora.

Diante destes resultados é possível afirmar que o desempenho do SP foi semelhante nas três primeiras condições de análise na água. Assim, mesmo que provavelmente o CAE tenha sido comprometido pela menor carga excêntrica e maior duração do tempo de contato na água, dependendo do nível de imersão este ambiente pode ser uma importante ferramenta dentro do treinamento esportivo. É importante destacar ainda o alto valor médio alcançado no nível de imersão da tibia, sugerindo que nesta condição é possível manter elevados níveis

de força por mais tempo (dentro da duração do contato), já que este nível de imersão não apresenta o maior valor máximo de força concêntrica (Figura 34) e nem a maior duração do contato nesta fase (Figura 30).

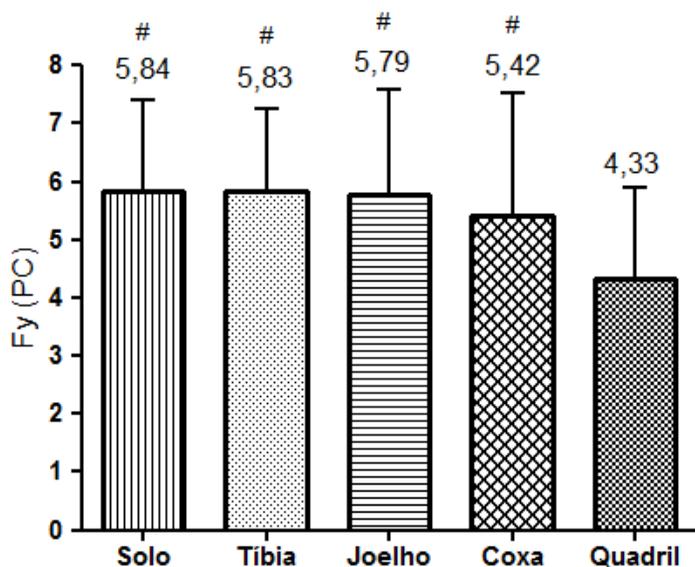
Considerando a relação entre o impulso concêntrico e o desempenho do salto, é relevante discutirmos formas para aumentar o impulso. Avaliando os fatores determinantes, podemos aumentar esta variável a partir do incremento da força, e/ou da manutenção dos níveis de força durante o contato, e/ou do tempo de duração do contato. Sankey, Jones e Bampouras (2008) reportaram que 6 semanas de treinamento pliométrico foi suficiente para aumentar o impulso no SCM em jovens atletas de *rugby*, no entanto são necessários mais estudos a fim de compreender as variações na curva de força *versus* tempo ocasionadas pelo treinamento pliométrico, sendo ele realizado no solo ou no ambiente aquático. É importante distinguir se o aumento do impulso é decorrente de maiores picos de força, ou manutenção dos níveis de força por um maior tempo de contato. Tal entendimento certamente fundamentará a prescrição deste tipo de exercício por parte de treinadores e preparadores físicos.

#### 4.2.4 Força máxima durante a fase de aterrissagem

Nesta fase ocorreu a diminuição da média nos valores máximos de  $F_y$  conforme se aumentou o nível de imersão (Figura 39), no entanto as reduções foram irrisórias para os níveis de imersão da tíbia e do joelho e podemos até mesmo considerar que não houve reduções da  $F_{\text{máxAT}}$  para estas condições de análise. Para a força máxima durante a aterrissagem houve diferenças significativas somente quando comparadas a situação quadril com as demais (solo  $p < 0,001$ ; tíbia  $p < 0,001$ ; joelho  $p < 0,001$ ; e coxa  $p < 0,001$ ). Os resultados indicam que esta variável do salto em profundidade começa a apresentar uma redução significativa quando comparada com a condição solo somente a partir do nível de imersão do quadril. Embora fosse esperado que a atenuação do impacto aumentasse juntamente com o nível de imersão, é possível especular a partir do Princípio de Arquimedes (“redução é proporcional ao volume do corpo submerso”) que baixos níveis

de imersão (neste caso, tibia, joelho e coxa) não são suficientes para promover uma redução significativa da  $F_{máxAT}$ . É importante ressaltar ainda que para esta variável, a situação dinâmica apresentou um padrão diferenciado de atenuação da componente vertical da força de reação do solo máxima, sendo que as reduções foram respectivamente de 0%, 1%, 7% e 26% para os níveis da tibia, do joelho, da coxa e do quadril.

Figura 39 - Força máxima (PC) durante a fase de aterrissagem nas cinco situações de análise. (#) indica diferença significativa quando comparada com a situação quadril para o teste de Wilcoxon.



Fonte: Produção da própria autora.

Para a  $F_{máxAT}$  em SP o estudo de Ruschel (2009) reportou redução de 37% e 43% para o nível de imersão do quadril e do peito, respectivamente, em sujeitos saudáveis de ambos os sexos quando comparada à execução no solo. Ebben *et al.* (2010), também avaliaram sujeitos de ambos os sexos familiarizados com saltos utilizando 1,40 m de imersão e os

resultados apontaram redução média de 53%. Donoghue, Shimoko e Takagi (2011) encontraram uma redução média de 38% com imersão ao nível do processo xifoide em nadadores de nível universitário. Ruschel (2014), avaliando homens atletas e utilizando imersão ao nível da cintura apresentou redução média de aproximadamente 25%. Os resultados dos estudos citados anteriormente evidenciam que existem outros componentes, além do nível de imersão, que são determinantes para os valores máximos de força de aterrissagem. Recentemente diversos autores têm apontado fatores que contribuem para a variação da componente vertical da FRS nos exercícios aquáticos, como por exemplo, a composição corporal (FONTANA, 2011; FONTANA *et al.*, 2013), características antropométricas, evidenciando a relação entre a estatura e a profundidade da água que reflete a quantidade do corpo que esta imersa (HAUPENTHAL, 2013a), o sexo (BRITO *et al.*, 2007; FONTANA *et al.*, 2012; HAUPENTHAL *et al.*, 2013b), a cadência e a velocidade do exercício (FONTANA, 2011; FONTANA *et al.*, 2012; FONTANA; HERZOG; ROESLER, 2013; HAUPENTHAL, 2013b) e possivelmente outros quesitos como o conhecimento prévio da ação motora e as estratégias coordenativas (JEANSONNE *et al.*, 2007) adotadas pelo sujeito.

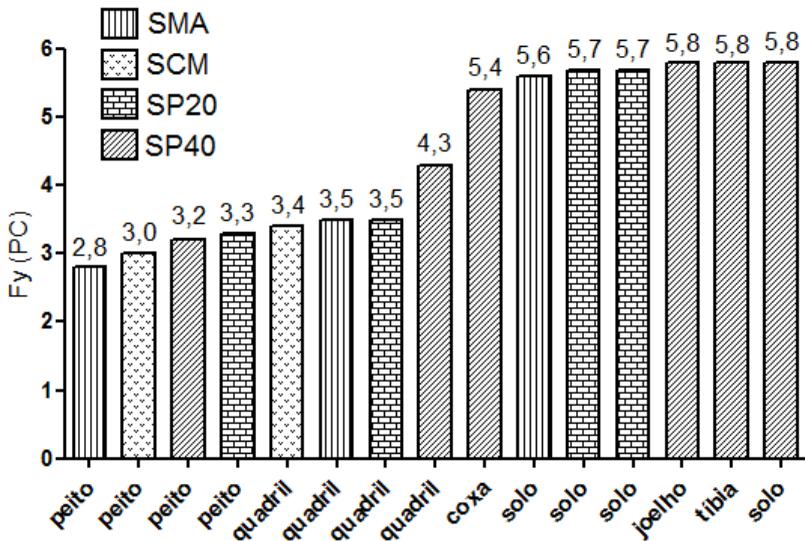
Quando comparamos a média dos valores máximos de  $F_y$  durante a subfase excêntrica após a queda com a média dos mesmos valores durante a fase de aterrissagem é possível observar que esta última apresenta sempre valores significativamente maiores independente da condição de análise (solo  $p=0,038$ ; tibia  $p=0,006$ ; joelho  $p=0,012$ ; coxa  $p=0,025$  e quadril  $p=0,015$ ). Uma possibilidade para elucidar este fato são as diferentes estratégias motoras adotadas em situações de “aterrissar e ir” e de “aterrissar e parar” que consequentemente alteram o comportamento de  $F_y$ . Na fase excêntrica da queda o objetivo mecânico é produzir momento vertical para a execução da ação seguinte, já na fase de aterrissagem o objetivo mecânico é reduzir o momento vertical a zero, retomando o equilíbrio estático (McNITT-GRAY, 2004). Durante estas fases também ocorrem diferentes amplitudes de movimento da articulação do joelho, sendo que durante a aterrissagem ocorrem menores valores de flexão máxima de joelho (BATES *et al.*, 2013b;

RUSCHEL, 2014). No entanto, estudos recentes (BATES *et al.*, 2013a; BATES *et al.*, 2013b) reportaram não haver diferença significativa na comparação dos valores máximos da  $F_y$  entre as duas fases do SP partindo de 0,31 m. É importante considerar que o presente trabalho durante os procedimentos de coletas de dados utilizou como orientação para a execução dos saltos a seguinte frase: “faça o contato com solo o mais rápido possível e salte o mais alto que puder”. Desta maneira, a orientação solicitava uma ação pliométrica e não repassava nenhuma informação sobre a forma de aterrissagem, deixando os sujeitos livres para usarem suas próprias estratégias. Frente a isso é importante recordar que a instrução (PRAPAVESSIS; McNAIR, 1999) e o próprio treinamento de saltos (HEWETT *et al.*, 1996; JEANSONNE *et al.*, 2007) são capazes de gerar alterações na estratégia motora de aterrissagem ocasionando redução na magnitude de  $F_y$ .

Apresentados todos os dados máximos de força, é necessário fazer uma consideração especial a estes valores. Corriqueiramente nos deparamos com profissionais que indicam e prescrevem exercícios aquáticos de maneira indiscriminada acreditando nas reduções de impacto oferecidas pela água. Já é comprovado que o meio aquático é capaz de oferecer redução do impacto, no entanto esta redução depende de múltiplos fatores como o nível de imersão, o tipo de exercício, a velocidade do exercício, composição corporal dos indivíduos, entre outros. Por exemplo, enquanto uma caminhada lenta com imersão ao nível do processo xifóide resulta em uma força vertical máxima de 0,3 PC (ROESLER *et al.*, 2006), com a mesma imersão temos 4,1 PC (DONOGHUE; SHIMOJO; TAKAGI, 2011) para a aterrissagem de um SP. Outro exemplo interessante é a seguinte comparação: uma caminhada lenta para sujeitos saudáveis com 0,75 m de imersão (nível semelhante ao do ponto médio da coxa deste estudo) gerou um valor máximo de  $F_y$  de 0,7 PC, para os mesmos sujeitos na mesma condição a corrida rápida gerou valores equivalentes a 1,4 PC (HAUPENTHAL, 2013a), já para os sujeitos (atletas) avaliados no presente trabalho com aproximadamente o mesmo nível de imersão a aterrissagem do SP gerou valores máximos de  $F_y$  de 5,4 PC. A Figura 40 apresenta os resultados máximos de  $F_y$  para diferentes tipos de

saltos em diversos níveis de imersão. Os resultados de SMA, SCM, SP 20 e SP 40 com imersão ao nível do peito são oriundos do estudo de Ruschel (2009). Os demais dados apresentados são baseados nos resultados da presente pesquisa.

Figura 40 - Componente vertical da força de reação do solo (PC) em diferentes tipos de salto e níveis de imersão. Onde: SMA: salto com meio agachamento; SCM: salto com contramovimento; SP20: salto em profundidade partindo de 0,2m; e SP40: salto em profundidade partindo de 0,4m.



Fonte: Produção da própria autora.

A partir dos exemplos citados anteriormente torna-se evidente que o meio aquático é uma excelente alternativa para processos de treinamento e reabilitação por apresentar diferentes possibilidades de variação da sobrecarga, no entanto faz-se necessário que os profissionais que atuam nesta área possuam conhecimentos acerca dos fatores que são capazes de alterar a FRS e principalmente de que maneira ocorre esta variação para que possam prescrever os exercícios de maneira mais adequada independente do objetivo. Para subsidiar o

conhecimento dos profissionais da área e auxiliar sua prática profissional, os resultados deste estudo durante a realização de exercícios aquáticos devem ser considerados.

#### 4.3 NÍVEL DE IMERSÃO ADEQUADO PARA O TREINAMENTO DE SALTOS EM PROFUNDIDADE NA ÁGUA

Uma proposta deste trabalho, além de verificar a possibilidade de utilização do ambiente aquático para realização de treinamento pliométrico, foi indicar uma possível faixa ótima de imersão considerando a maior redução de impacto com a menor diferença no tempo de contato. Conforme hipotetizado para este estudo, o ambiente aquático reduziu as cargas impostas ao sistema musculoesquelético dos indivíduos e também tornou as execuções dos saltos mais lentas, o que permite supor que este ambiente, dependendo do objetivo, não é adequado para a realização do treinamento pliométrico.

Nossos resultados demonstram que no ambiente aquático os indivíduos não são capazes de reproduzir integralmente as respostas temporais (tempo de contato) durante o SP realizado no ambiente terrestre. Nos níveis de imersão da tibia e do joelho, por exemplo, além de se observar uma duração do TC e TCE significativamente maior, não houve diferenças para as variáveis cinéticas quando comparadas com a condição solo. Dessa forma, parece haver um prejuízo quanto à eficiência do CAE, decorrente de tempos de contato aumentados, sem haver o benefício esperado da redução do impacto durante o SP. Já nos níveis da coxa e do quadril, nos quais a redução do impacto é significativa em comparação ao solo, os tempos de contato são ainda mais lentos. Sendo assim, é possível especular que a utilização de imersões menores do que o nível da coxa não se justifique como alternativa para a redução do impacto durante o TPA. Adicionalmente, ao optar pela realização do SP nos níveis da coxa ou do quadril visando à redução da carga durante as aterrissagens, deve-se estar consciente das alterações provocadas pelo ambiente nas variáveis temporais.

Apesar das limitações apresentadas pelo meio aquático é possível sim, que este ambiente seja utilizado para a prática do

treinamento pliométrico. Estudos recentes vêm demonstrando que a estratégia utilizada durante a execução do salto tem grande influência sobre os parâmetros cinéticos e cinemáticos do salto. Jidovtseff *et al.* (2014) afirmam que é possível alcançar diferentes objetivos a partir da manipulação de variáveis como o tipo do salto, o tipo do contramovimento (curto, normal, grande), a amplitude de movimento (que reflete o tempo de contato), a altura de queda e outros. Neste sentido, o ambiente (terrestre ou aquático) é mais uma variável que pode ser manipulada durante o treinamento de saltos.

Flanagan e Comyns (2008) e Walsh *et al.* (2004) indicam que o treinamento utilizando exercícios nos quais o CAE é realizado lentamente pode não ser tão benéfico para atletas que necessitam primariamente de ações rápidas na prática esportiva, no entanto, se o objetivo principal do treinamento é aumentar a altura de salto, TC mais longos permitem maior geração de força e maior altura de salto máxima (WALSH *et al.*, 2004). Nesse sentido, diversos estudos comprovam o efeito positivo do TPA (que inclui vários tipos de exercício, não só o SP) sobre diversas variáveis do desempenho em atletas (MARTEL *et al.*, 2005; ARAZI; ASADI, 2011; FABRICIUS, 2011; ARAZI; COETZEE; ASADI, 2012; BAVLI, 2012) e não-atletas (MILLER *et al.*, 2002; ROBINSON *et al.*, 2004; MILLER *et al.*, 2007; SHAFFER, 2007; STEMM; JACOBSON, 2007; SHIRAN *et al.*, 2008; PLOEG *et al.*, 2010; LAVANANT; GARCÍA; CRUZ, 2013).

Dentro dessa perspectiva, um aspecto relevante pode ser a possibilidade de aplicar o TPA em alguns momentos específicos da temporada competitiva. Considerando que todos os níveis de imersão apresentaram TC significativamente maiores quando comparados à execução do SP no solo, parece que níveis mais elevados de imersão, por reduzirem os valores de  $F_y$ , são mais adequados para a realização do treinamento de saltos na água em fases iniciais do treinamento. Durante a preparação física geral é possível que a aplicação deste tipo de exercício seja útil para melhorar alguns parâmetros relacionados ao desempenho, além de representar um ambiente diferente que pode ser mais motivante para os atletas. O TPA com altos níveis de imersão também pode ser indicado para atletas com grande massa corporal que normalmente não realizam exercícios de

salto em suas rotinas de treinamento devido ao aumento do risco de lesões. Os níveis mais baixos de imersão, por aumentarem a carga excêntrica, podem ser utilizados na progressão do TPA e também em outros momentos da temporada. Apesar destas alternativas para realização do TPA, não foi possível determinar uma única faixa ótima de imersão para a realização deste tipo de treinamento.

Com o conhecimento que se tem até o momento, não parece adequado substituir completamente os exercícios de pliometria no solo, pois o TPA pode não desenvolver adequadamente os padrões neuromusculares específicos ou as necessidades funcionais de determinadas modalidades esportivas (FABRICIUS, 2011). Porém, é necessário considerar que atletas de modalidades *indoor* (voleibol, handebol, basquete), além de realizar exercícios pliométricos, realizam saltos variados como parte de suas rotinas específicas de treinamento técnico e tático. Tal rotina de treinamento poderia fornecer os estímulos necessários para a adaptação neuromuscular e funcional específica de cada modalidade, de maneira que o TPA seria benéfico e não comprometeria o desempenho atlético destes indivíduos.

De toda forma, é indispensável que os profissionais que pretendem incluir o TPA em suas rotinas de treinamentos possuam conhecimentos acerca das variáveis intervenientes (altura de queda para saltos em profundidade, níveis de imersão e características dos sujeitos) e suas alterações nos TC e parâmetros de força para prescrever treinos em conformidade com os objetivos propostos, para garantir a efetividade do treinamento sem arriscar a integridade dos indivíduos. Dessa maneira, os resultados desta pesquisa, além de contribuir para o entendimento do exercício pliométrico no ambiente aquático em diferentes níveis de imersão, podem auxiliar profissionais da área na prescrição de exercícios aquáticos. Adicionalmente, ainda é preciso entender melhor as respostas ocasionadas pela adaptação neuromuscular a este tipo de treinamento para que se possa sugerir a aplicação de TPA em outras situações.

## 5 CONCLUSÃO

Neste estudo foi caracterizado o comportamento de  $F_y$  e dos parâmetros temporais durante o SP realizado por homens atletas no solo e em quatro diferentes níveis de imersão (ponto médio da tíbia, côndilo lateral da tíbia, ponto médio da coxa e espinha íliaca ântero-superior).

Considerando as hipóteses formuladas, os resultados deste estudo suportam parcialmente a primeira hipótese. De maneira geral o aumento do nível de imersão atenuou a magnitude da componente vertical de  $F_y$ . Os resultados do tempo de contato total, tempo de contato excêntrico e tempo de voo suportam a hipótese de que quanto maior for o nível de imersão maior será a duração das fases do salto. A hipótese de que a resistência oferecida pela água faria com que maiores valores máximos de força concêntrica fossem produzidas em maiores níveis de imersão foi integralmente refutada. Quando consideramos o peso do indivíduo na soma do valor máximo de  $F_y$  reduções significativas são notadas a partir da imersão do ponto da coxa. Já quando utilizamos uma equação de ajuste (retirando o peso do indivíduo do valor máximo de  $F_y$ ) tais diferenças não são encontradas, porém a condição solo permanece apresentando maiores valores para esta variável.

Do ponto de vista das aplicações práticas voltadas para o treinamento esportivo, os resultados indicam que o treinamento pliométrico no ambiente aquático, em função de tornar a transição das fases excêntrica e concêntrica do CAE mais lenta, não deve ser realizado de maneira substitutiva ao treinamento pliométrico no solo. No entanto, o ambiente aquático apresenta excelentes possibilidades para realização do treinamento de saltos, em razão de proporcionar redução do impacto, podendo ser utilizado como treinamento complementar ou em alguns momentos específicos da temporada competitiva. Para incluir o TPA dentro de rotinas de treinamento é necessário que os profissionais tenham conhecimento sobre as variáveis intervenientes e conseqüentes alterações nos parâmetros temporais e de força, de forma que possam prescrever treinamentos em conformidade com os objetivos propostos.

Para dar continuidade aos estudos envolvendo TPA sugere-se a realização de um estudo de efeito de treino controlado, com o intuito principal de descrever e comparar as adaptações neurais, as alterações na curva de força *versus* tempo e as alterações nos parâmetros do desempenho em modalidades esportivas geradas pelo treinamento pliométrico no solo e na água em diferentes níveis de imersão.

## REFERÊNCIAS

- ALAM, S. *et al.* The effect of plyometric circuit exercises on the physical preparation indices of elite handball player. **Advances in environmental biology**, v.6, n.7, p. 2135-2140, 2012.
- ALKJAER, T *et al.* Neuromuscular adaptations to 4 weeks of intensive drop jumping training in well-trained athletes. **Physiological Reports**, v. 1, n. 5, p. 1-11, 2013.
- ALTENEDER, R. R.; HORNBECK, C. Advocating for aqua therapy. **AWHONN Lifelines**. p. 445-449, 2003.
- AMADIO, C. A. 1988. Análise biomecânica do salto triplo: introdução aos princípios fundamentais da investigação e análise do movimento esportivo. **Revista Paulista de Educação Física**, v. 2, n. 2, p. 17-20, 1988.
- AMADIO, C. A.; DUARTE, M. **Fundamentos biomecânicos para a análise do movimento humano**. São Paulo: Laboratório de Biomecânica EEFUSP, 1996.
- ARAZI, H.; ASADI, A. The effect of aquatic and land plyometric training on strenght, sprint, and balance in young basketball players. **Journal of Human Sport and Exercise**, v. 6, n. 1, p. 101-111, 2011.
- ARAZI, H.; COETZEE, B.; ASADI, A. Comparative effect of land- and aquatic-based plyometric training on jumping ability and agility of young basketball players. **South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation**, v. 34, n. 2, p. 1-14, 2012.
- AURA, O.; VIITASALO, J. T. Biomechanical characteristics of jumping. **International Journal of Sport Biomechanics**, v. 5, p. 89-98, 1989.
- ÁVILA, A. O. V. *et al.* Métodos de medição em biomecânica do esporte: descrição de protocolos para aplicação nos centros de

excelência esportiva (Rede CENESP-MET). **Revista Brasileira de Biomecânica**, v. 3, n. 4, p.57-67, 2002.

AY, A.; YURTKURAN, M. Influence of aquatic and weight-bearing exercises on quantitative ultrasound variables in postmenopausal women. **American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation**, v. 84, n. 1, p. 52-61, 2005.

BARBANTI, V. J. **Treinamento físico**: bases científicas. 3. ed. São Paulo: CLR Baliero, 1996. 116 p.

BARELA, A. M. F.; STOLF, S. F.; DUARTE, M. Biomechanical characteristics of adults walking in shallow water and on land. **Journal of Electromyography and Kinesiology**. v. 16, p. 250-256, 2006.

BARRIER, J. *et al.* Differential effects of toe versus heel landing on lower extremity joint kinetics. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 29, suppl., p. S233. 1997.

BARROSO, R.; TRICOLI, V.; UGRINOWITSCH, C. Adaptações neurais e morfológicas ao treinamento de força com ações excêntricas. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, v. 13, n. 2, p. 111-122, 2005.

BATES, A.; HANSON, N. **Exercícios aquáticos terapêuticos**. São Paulo: Manole, 1998.

BATES, N. A. *et al.* Impact differences in ground reaction force and center of mass between the first and second landing phases of a drop vertical jump and their implications for injury risk assessment. **Journal of Biomechanics**, v. 46, p. 1237-1241, 2013.

BAVLI, O. Comparison the effect of water plyometrics and land plyometrics on body mass index and biomotorical variables of adolescent basketball players. **International Journal of Sport and Exercise Science**, v. 4, n. 1, p. 11-14, 2012.

BEER, F. P.; JOHNSTON, E. R. **Mecânica vetorial para engenheiros**: dinâmica. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1980.

BOBBERT, M. F. Drop jumping as a training method for jumping ability. **Sports Medicine**, v. 9, n.1, p. 7-22, 1990.

BOBBERT, M. F.; CASSIUS, R. Is the effect of a countermovement on jump height due to active state development? **Journal and Science in Sports and Exercise**, v. 37, n. 3, p. 440-446, 2005.

BOBBERT, M. F. *et al.* Why is countermovement jump height greater than squat jump height? **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 28, n. 11, p. 1402-1412, 1996.

BOBBERT M. F.; HUIJING P. A.; VAN INGEN SCHENAU, G. J. Drop jumping. I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 19, n. 4, p. 332-338, 1987a.

BOBBERT M. F.; HUIJING P. A.; VAN INGEN SCHENAU, G. J. Drop jumping. II. The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. **Medicine and Science in Sports & Exercise**, v. 19, n. 4, p. 339-346, 1987b.

BOBBERT, M. F. *et al.* Biomechanical analysis of drop and countermovement jumps. **European Journal of Applied Physiology**, v. 54, p. 566-573, 1986.

BOSCO, C. New tests for the measurement of anaerobic capacity in jumping and leg extensor muscle elasticity. **Volleyball**, v. 1, p. 22-30, 1981.

BOSCO C. **Strength assessment with the Bosco's test**. Rome: Italian Society of Sport Science, 1999.

BRAVO, G. *et al.* A weight-bearing, water-based exercise program for osteopenic women: its impact on bone, functional fitness, and well-being. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**. v. 78, p. 1375-1380, 1997.

BRITO, R. N. *et al.* Comparação da componente vertical da força de reação do solo dentro e fora da água utilizando plataformas de força subaquáticas. In: CONGRESSO DE EDUCAÇÃO FÍSICA E CIÊNCIAS DO ESPORTE DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 8., 2000, Lisboa, Portugal. **Anais...** Lisboa: Desporto, Educação e Saúde, 2000. p. 302.

BRITO, R. N. *et al.* Análise da componente vertical da força de reação do solo no salto vertical em ambiente aquático. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, 12., 2007, São Pedro, SP. **Anais...** São Paulo: TEC-ART, 2007. p. 25-30.

BRITO, R. N. *et al.* Análise comparativa da marcha humana em solo à subaquática em dois níveis de imersão: joelho e quadril. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v. 8, n. 1, p 7-12, 2004.

CALOMARDE, A. B.; CALOMARDE, R. B.; ASENSIO, S. F. **Las habilidades motoras básicas.** 2003.

CAMPION, M. R. **Hidroterapia: princípios e prática.** São Paulo: Manole, 2000.

CARNEIRO, L. C. *et al.* Marcha en el medio terrestre y en el medio acuático en niños con secuelas de mielomeningocele. **Revista de Neurología**, v. 44, p. 507-509, 2007.

CARVALHO, A. C. **Estudo comparativo do salto vertical entre desportistas especializados em saltos e não-desportistas, de ambos os gêneros.** 2008. Monografia de Conclusão de Curso – Universidade do Porto, Porto.

CAULFIELD, B.; GARRET, M. Changes in ground reaction force during jump landing in subjects with functional instability of the ankle joint. **Clinical Biomechanics**, v. 19, p. 617-621, 2004.

CHIMERA, N. J. *et al.* Effects of plyometric training on muscle-activation strategies and performance in female athletes. **Journal of Athletic Training**, v. 39, n. 1, p. 24-31, 2004.

CHMIELEWSKI, T.L. *et al.* Plyometric exercise in the rehabilitation of athletes: physiological responses and clinical application. **Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy**, v. 36, n. 5, p. 308-319, 2006.

CHU, K. *et al.* Water based exercise for cardiovascular fitness in people with chronic stroke: a randomized controlled trial. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, v. 85, n. 6, p. 870-874, 2004.

COLADO, J. C.; TELLA, V.; LLOP, F. Response to resistance exercise performed in water versus on land. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**, v. 6, supl 2, p. 361-365, 2006.

COLADO, J. C.; TRIPLETT, N.T. Monitoring the intensity of aquatic resistance exercises with devices that increase the drag force: an update. **Strength and Conditioning Journal**, v. 31, n. 3, p. 94-100, 2009.

COLADO, J. C. *et al.* Two-leg squat jumps in water: an effective alternative to dry land jumps. **International Journal of Sports Medicine**, v. 31, p. 118 – 122, 2010.

COMYNS, T. M. *et al.* Identifying the optimal resistive load for complex training in male rugby players. **Sports Biomechanics**, v. 6, n. 1, p. 59-70, 2007.

CORMIE, P.; McGUIGAN, M. R.; NEWTON, R. U. Changes in the eccentric phase contribute to improved stretch-shorten cycle performed after training. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 42, n. 9, p. 1731-1744, 2010.

CORTES, N. *et al.* Effects of gender and foot-landing techniques on lower extremity kinematics during drop-jump landings. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 23, p. 289-299, 2007.

DAL PUPO, J.; DETÂNICO, D.; SANTOS, S. G. Parâmetros cinéticos determinantes do desempenho nos saltos verticais.

**Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**, v. 14, n. 1, p. 41-51, 2012.

DAVIS D. S. *et al.* Physical characteristics that predict vertical jump performance in recreational male athletes. **Physical Therapy in Sport**, v.4, n.4, p.167-174, 2003.

DECKER M. J. *et al.* Gender differences in lower extremity kinematics, kinetics and energy absorption during landing. **Clinical Biomechanics**, v. 18, p. 662–669, 2003.

DENNIS, R. A. *et al.* Interleukin-1 polymorphisms are associated with the inflammatory response in human muscle to acute resistance exercise. **The Journal of Physiology**, v. 560, n. 3, p. 717-626, 2004.

DEVEREUX, K, ROBERTSON, D.; BRIFFA, N. K. Effects of a water-based program on women 65 years and over: a randomized controlled trial. **Australian Journal of Physiotherapy**, v. 51, n. 2, p 102-108, 2005.

DONOGHUE, O. A.; SHIMOJO, H.; TAKAGI, H. Impact forces of plyometric exercises performed on land and in water. **Sports Physical Therapy**. v. 3, n. 3, p. 303-309, 2011.

DOWLING J. J.; VAMOS, L. Identification of kinetic and temporal factors related to vertical jump performance. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 9, p. 95-110, 1993.

DOWZER, C.N.; REILLY, T.; CABLE, N.T. Effects of deep and shallow water running on spinal shrinkage. **British Journal of Sports and Medicine**, v. 32, p. 44-48, 1998.

DURSENEV, L.I.; RAEVSKY, L.G. Strength training of jumpers. **Track and Field Quaterly Review**, v. 4, p. 53-55, 1982.

DYHRE-POULSEN, P.; SIMONSEN, E. R.; VOIGT, M. Dynamic control of muscle stiffness and H reflex modulation during

hopping and jumping in man. **Journal of Physiology**, v. 437, p. 287-304, 1991.

ELVIRA, J. L. L. *et al.* Comparative study of the reliability of three jump tests with two measurement systems. **Journal of Human Movement Studies**, v. 41, p. 369-383, 2001.

ENOKA, R. M. Eccentric contractions require a unique activation strategies by the nervous system. **Journal of Applied Physiology**, v. 81, n. 6, p. 2339-2346, 1996.

ENOKA, R. M. Neural adaptations with chronic physical activity. **Journal of Biomechanics**, v. 30, n. 5, p. 447-455, 1997.

ESTON, R.; BYRNE, C.; TWIST, C. Muscle function after exercise-induced muscle damage: considerations for athletic performance in children and adults. **Journal of Exercise Science and Fitness**, v. 1, n. 2, p. 85-96, 2003.

FABRICIUS, D. L. **Comparison of aquatic-and land based plyometric training on power, speed and agility in adolescent rugby union players.** 2011. Dissertação. (Mestrado em Ciências do Esporte) – Universidade de Stellenbosch, África do Sul.

FANTINI, C.; MENZEL, H. J. Análise de impactos em aterrissagens após saltos máximos em diferentes grupos de atletas e não-atletas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, 9., 2001, Gramado, RS. **Anais...** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. p. 89-93.

FERREIRA, J. C.; CARVALHO, R. G. S.; SZMUCHROWSKI, L. A. Validade e confiabilidade de um tapete de contato para mensuração da altura do salto vertical. **Revista Brasileira de Biomecânica**, v.9, n.17, p.93-99, 2008.

FLANAGAN, E. P.; COMYNS, T. M. The use of contact time and the reactive strength index to optimize fast stretch-shortening cycle training. **Strength and Conditioning Journal**, v. 30, n. 5, p. 32–38, 2008.

FOLEY, A. *et al.* Does hydrotherapy improve strength and physical function in patients with osteoarthritis—a randomised controlled trial comparing a gym based and a hydrotherapy based strengthening programme **Annals of the Rheumatic Diseases**, v. 62, p. 1162–1167, 2003.

FONTANA, H. B. **Análise da componente vertical da força de reação do solo durante a corrida estacionária de adultos em ambiente aquático e terrestre.** 2008. 22 f. Artigo de Conclusão de Curso (Bacharelado em Fisioterapia) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis.

FONTANA, H. B. **Força de reação do solo na corrida estacionário em ambiente aquático e terrestre: efeito da imersão, da cadência do movimento e da densidade corporal.** 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências do Movimento Humano) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis.

FONTANA, H. B. *et al.* Effect of gender, cadence, and water immersion on ground reaction forces during stationary running. **The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**, v. 42, p. 437-443, 2012.

FONTANA, H. B. *et al.* Comparison of ground reaction forces between in-place and forward water running at two levels of immersion. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**, v. 11, Sup. 2, p. 495-498, 2011.

FONTANA, H. B.; HERZOG, V.; ROESLER, H. Ground reaction forces during stationary running in water and on land: effect of immersion, movement cadence and body density. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF BIOMECHANICS. 2013, Natal, RN. **Anais...** Natal: ISB, 2013, p. 145.

FRACCAROLI, J. L. **Biomecânica: análise dos movimentos.** 2. ed. Rio de Janeiro: Cultura Médica Ltda; 1981.

GALLAHUE, D.; OZMUN, J. C. **Compreendendo o desenvolvimento motor: bebês, crianças, adolescentes e adultos**. 2. ed São Paulo: Phorte, 2003. 641 p.

GARCIA LÓPEZ, D.; HERRERO ALONSO, J. A.; DE PAZ FERNÁNDEZ, J. A. Metodologia do treinamento pliométrico. **Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte**, v. 3, n. 12, p. 190-204, 2003.

GEHRI, D. J. *et al.* A comparison of plyometric training techniques for improving vertical jump ability and energy production. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 12, n. 2, p. 85-89, 1998.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 184 p.

GUILHEM, G.; CORNU, C.; GUÉVEL, A. Neuromuscular and muscle-tendon system adaptations to isotonic and isokinetic eccentric exercise. **Annals of Physical and Rehabilitation Medicine**. v. 53, p. 319-341, 2010.

GROSS, T. S.; NELSON, R. C. The shock attenuation role of the ankle during landing from a vertical jump. . **Medicine & Science in Sports & Exercise**. v. 20, n. 5, p. 506-514. 1988.

HARA, M. *et al.* The effect of arm swing on lower extremities in vertical jumping. **Journal of Biomechanics**. v. 39, p. 2503-2511. 2006.

HARMAN, E. A. Biomechanics of resistance exercise. In: EARLE, R. W.; BAECHLE, T. R. (Ed.), **Essentials of Strength Training and Conditioning**. 3. ed. Champaign: Human Kinetics, 2008. p. 65-91.

HARMAN, E. A. *et al.* The effects of arms and countermovement on vertical jumping. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 22, n. 6, p. 825-833, 1990.

HARRISON, R.; BULSTRODE, S. Percentage weight bearing during partial immersion in the hydrotherapy pool. **Physiotherapy Practice**, v. 3, pp. 60-63, 1987.

HARRISON, R.; HILLMANN, M.; BULSTRODE, S. Loading of the lower limb when walking partially immersed. **Physiotherapy**, v. 78, n. 3, pp. 164-166, 1992.

HAUPENTHAL, A. **Proposição de modelo preditivo da força de reação do solo durante a caminhada e corrida na água**. 2013a. Tese. (Doutorado em Ciências do Movimento Humano). Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis.

HAUPENTHAL, A. *et al.* Ground reaction forces in shallow water running are affected by immersion level, running speed and gender. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 16, n. 4, p. 348 – 352, 2013b.

HAUPENTHAL, A. *et al.* Força de reação do solo como subsídio para prescrição de exercícios aquáticos: estudo de caso. **Fisioterapia em Movimento**, v. 23, n. 2, p. 303-310, 2010.

HAUPENTHAL, A. *et al.* Comparação da força de sustentação do peso entre homens e mulheres em dois níveis de imersão na água. **Lecturas Educacion Fisica y Deportes**, v. 13, n. 119, p. 1-7. 2008.

HAUPENTHAL, A. *et al.* Force analysis of the underwater stationary running. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BIOMECHANICS IN SPORTS, 15., 2007, Ouro Preto, MG. **Proceedings...** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. p. 103-106.

HEWETT, T. E. *et al.* Plyometric training in female athletes: decreased impact forces and increased hamstring torques. **American Journal of Sports Medicine**, v. 24, p. 765-773, 1996.

HUIJING, P. A. Elastic potential of muscle. In: KOMI, P. V. (Org.). **Strength and power in sport**. Oxford: Blackwell Scientific, 1992. p. 151-168.

HUSTON, L.J.; MILLER, J. A.; WOJTYS, E. M. Gender differences in knee angle when landing from a drop-jump. **American Journal of Knee Surgery**. v. 14, p. 215-19, 2001.

IMPELLIZZERI, F. M. *et al.* Effect of plyometric training on sand versus grass on muscle soreness and jumping and sprinting ability in soccer players. **British Journal of Sports Medicine**. v. 42, p. 42-46, 2008.

JEANSONNE, J. J.; MONTZ, J.; RODRIGUEZ, J. Examining the effect of an in season plyometric training program on peak impact jumping forces in females. In: XXI ISB Congress, Poster Sessions. **Journal of Biomechanics**, 40(S2), 2007.

JENSEN, R. L.; EBBEN, W. P. Quantifying plyometric intensity via rate of force development, knee joint, and ground reaction forces. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 21, n. 3, p. 763-767, 2007.

JIDOVITSEFF, B. *et al.* Influence of jumping strategy on kinetic and kinematic variables. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 54, n. 2, p. 129-138, 2014.

JÓDAR, J. A.; REDÍN, M. I. La detente horizontal. Estudio cinemático y cinético de 64 casos en las pruebas de ingreso en el I.N.E.F. de León. **Archivos de Medicina Del Deporte**, v. 7, n. 46, p. 93-104, 1995.

KANEDA, K. *et al.* Lower Extremity Muscle Activity during Different Types and Speeds of Underwater Movement. **Journal of Physiology and Anthropology**, v. 26, n. 2, p. 197-200, 2007.

KELLIS, E.; ARABATZI, F.; PAPADOPOULOS, C. Muscle co-activation around the knee in drop jumping using the co-

contraction index. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v.13, p. 229-238, 2003.

KELLIS, E.; KOUVELIOTI, V. Agonist versus antagonist muscle fatigue on thigh muscle activity and vertical ground reaction during drop landing. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 19, n.1, p.55-64, 2009.

KOMI, P.V. Ciclo alongamento-encurtamento. In KOMI, P. V. (Org.). **Força e potência no esporte**. 2 ed. São Paulo: Artmed, 2006. p. 200-218.

KOMI, P. V. Stretch-shortening cycle: a powerfull model to study normal and fatigued muscle. **Journal of Biomechanics**, v. 33, n. 10, p. 1197-1206, 2000.

KOMI, P. V.; BOSCO, C. Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 10, n. 4, p. 261-265, 1978.

KOMI, P. V.; GOLLHOFER, A. Stretch Reflexes Can Have an Important Role in Force Enhancement During SSC Exercise. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 13, n. 4, p. 451-459, 1997.

KOMI, P. V.; NICOL, C. Ciclo de alongamento-encurtamento da função muscular. In: ZATSIORSKY V. M., (Ed.). **Biomecânica no esporte: performance do desempenho e prevenção de lesão**. São Paulo: Guanabara Koogan, 2004. p. 68-80.

KUBO, K. *et al.* Effects of plyometric and weight training on muscle-tendon complex and jump performance. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v.39, n. 10, p. 1801- 1810, 2007.

KUMAR, R. The effect of 6 week plyometric training program on agility of collegiate soccer players. **International Journal of Behavioral Social and Movement Sciences**, v.2, n. 1, p. 170-176, 2013.

KUORI, J. M. **Programa de fisioterapia aquática: um guia para a reabilitação ortopédica**. São Paulo: Manole, 2000.

KUTZ, M. R. Theoretical and practical issues for plyometric training. **NSCA's Performance Training Journal**, v. 2, n. 2, p. 10-12, 2003.

LAVANANT, A. J.; GARCÍA, J. C. F.; CRUZ, J. R. A. Entrainement pliométrique aquatique. **Science and Sports**, v. 28, n. 2, p. 88-93, 2013.

LAZARIDIS, S. *et al.* Neuromuscular differences between prepubescent boys and adult men during drop jump. **European Journal of Applied Physiology**, v.110, n. 2, p. 67-74, 2010.

LEES, A.; VANRENTERGHEM, J.; CLERCQ, D. Understanding how an arm swing enhances performance in the vertical jump. **Journal of Biomechanics**, v.37, n.12, p.1929-1940, 2004.

LINTHORNE, N. P. Analysis of standing vertical jumps using a force plate. **American Journal of Physics**, v. 69, n. 11, p. 1198-1204, 2001.

MacLELLAN, G. E.; VYVYAN, B. Management of pain beneath the heel and achilles tendonitis with visco-elastic inserts. **British Journal of Sports Medicine**, v. 15, p. 117-121, 1981.

MADIGAN, M.; PIDCOE, P. E. Changes in landing biomechanics during a fatiguing landing activity. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 13, p. 491-498, 2003.

MAKARUK, H.; SACEWICZ, T. Effects of plyometric training on maximal power output and jumping ability. **Human Movement**, v. 11, n. 1, p. 17-22, 2010.

MARINA, M. *et al.* Plyometric jumping performances of male and female gymnasts from different heights. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 26, n. 7, p. 1879 – 1886, 2012.

MARTEL, G. F. *et al.* Aquatic plyometric training increases vertical jump in female volleyball players. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 37, n. 10, p. 1814-1819, 2005.

MASUMOTO, K.; MERCER, J. A. Biomechanics of human locomotion in water: an electromyographic analysis. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, v. 36, n. 3, p. 160-169, 2008.

MASUMOTO, K. *et al.* Electromyographic analysis of walking in water in healthy humans. **Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science**, v. 23, n. 4, p. 119–127, 2004.

McCLAY, I. S. *et al.* A profile of ground reaction forces in professional basketball. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 10, n. 3, p. 222-236. 1994.

McNITT-GRAY, J. L. Carga no sistema musculoesquelético durante a aterrissagem. In: ZATSIORSKY V. M., (Ed.). **Biomecânica no esporte: performance do desempenho e prevenção de lesão**. São Paulo: Guanabara Koogan, 2004. p. 409-431.

McNITT-GRAY, J. L. Impulse generation during jumping and landing movements. In: BIOMECHANICS SYMPHOSIA. 2001. **Anais...** San Francisco: 2001. P. 95-99.

McNITT-GRAY, J. L.; YOKOI, T.; MILLWARD, C. Landing strategies used by gymnasts on different surfaces. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 10, n. 3, p. 237-252, 1994.

McFARLANE, B. Jumping exercises. **Track and Field Quarterly Review**, v. 82, n. 4, p. 54-55, 1982.

MILIC, V.; NEJIC, D.; KOSTIC, R. The effect of plyometric training on the explosive strength of leg muscles of volleyball players on single foot and two-foot takeoff jumps. **Physical Education and Sport**, v. 6, n. 2, p. 169-179, 2008.

MILLER, M. G. *et al.* Recommendations for implementing an aquatic plyometric program. **National Strength and Conditioning Association**, v.23, n.6, p.28-35, 2001.

MILLER, M. G. *et al.* Comparisons of land-based and aquatic-based plyometric programs during an 8-week training period. **Journal of Sport Rehabilitation**, v.11, n.4, p.268-283, 2002.

MILLER, M. G. *et al.* The effects of a 6-week plyometric training program agility. **Journal of Sports Science and Medicine**, v.5, n.3, p.459-465, 2006.

MILLER, M. G. *et al.* Chest- and waist-deep aquatic plyometric training and average force, power and vertical-jump performance. **International Journal of Aquatic Research and Education**, v.1, n.2, p.145-155, 2007.

MIZUGUCHI, S. **Net impulse and net impulse characteristics in vertical jumping**. 2012. These (Doctor of Philosophy in Sport Physiology and Performance) - East Tennessee State University, Johnson City.

MORAN, K.; MARSHALL, B. M. Effect of fatigue on tibial impact accelerations and knee kinematics in drop jumps. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 38, n. 10, p. 1836-1842, 2006.

MORITANI, T. Excitabilidade da unidade motora e do motoneurônio no movimento explosivo. In: KOMI, P. V. (Org.). **Força e potência no esporte**. 2 ed. São Paulo: Artmed, 2006. p. 41-64.

MORITANI, T.; DeVRIES, H. A. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. **American Journal of Physical Medicine**, v. 58, n. 3, p. 115-130, 1979.

MOURA, N. A. Recomendações básicas para a seleção da altura de queda no treinamento pliométrico. **Boletim IAAF**, n. 12, p. 1-8, 1994.

NAKAZAWA,K.; YANO,H. ; MIYASHITA,M. Ground reaction forces during walking in water. **Medicine and Science in Aquatic Sports**, v.39, p.28-34, 1994.

NAVARRO, F. **Hacias el dominio de la Natación**. Madrid: Editorial Gymnos, 1995.

NEWHAM, D. J. *et al.* Ultrastructural changes after concentric and eccentric contractions of human muscle. **Journal of the Neurological Science**, v. 61, n.1, p. 109-122, 1983.

NICOL, A. C. Saltar. In: DURWARD, B. R.; BAER, G. D. U.; ROWE, P. J., (Ed.). **Movimento Funcional Humano: mensuração e análise**. São Paulo: Manole, 2001. p. 136-144.

NIGG B. M. *et al.* Load, sports shoes and playing surfaces. In: FREDERICK E. C., (Ed.). **Sports shoes and playing surfaces**. Champaign: Human Kinetics, 1984. p. 1-23.

NIGG, B. M.; HERZOG, W. **Biomechanics of the musculo-skeletal system**. Chichester: John Wiley & Sons, 1994.

OLIVEIRA, L. F. *et al.* Influência de uma e duas passadas de aproximação no desempenho do salto vertical, medido através da plataforma de salto. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, v. 7, n. 3, p. 18-25, 1993.

PANTOJA, P.D. *et al.* Effect of resistive exercise on muscle damage in water and land. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 23, n. 3, p. 1051-1054, 2009.

PENG, H.; KERNOZEK, T. W.; SONG, C. Quadriceps and hamstring activation during drop jumps with changes in drop height. **Physical Therapy in Sport**, v. 12, p. 127-132, 2011.

PETRICK, M.; PAULSEN, T. ; GEORGE, J. A comparison between quadriceps muscle strengthening on land and in water. **Physiotherapy**, v. 87, n. 6, pp 310-317, 2001.

PLATANOU, T. On-water and dryland vertical jump in water polo players. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 45, n. 1, p. 26-31, 2005.

PLOEG, A. H. *et al.* The effects of high volume aquatic plyometric training on vertical jump, muscle power, and torque. **International Journal of Aquatic Research and Education**, v. 4, p. 39-48, 2010.

POTASH, D.H.; CHU, D.A. Plyometric training. In: EARLE, R.W.; BAECHLE, T.R. (Ed.). **Essentials of Strength Training and Conditioning**. 3. ed. Champaign: Human Kinetics. p. 414–455, 2008.

PÖYHÖNEN, T. *et al.* Neuromuscular function during therapeutic knee exercise under water and on dry land. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, v. 82, p. 1446-1452, 2001.

PRAPAVESSIS, H.; McNAIR, P. J. Effects of instruction in jumping technique and experience jumping on ground reaction forces. **Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy**, v. 29, n. 6, p. 352-356, 1999.

PRILUTSKY, B. I. Ação muscular excêntrica no esporte e no exercício. In: ZATSIORSKY V. M., (ed.). **Biomecânica no esporte: performance do desempenho e prevenção de lesão**. São Paulo: Guanabara Koogan, 2004. p. 44-67.

PROSKE, U.; MORGAN, D. L. Muscle damage from eccentric exercise: mechanis, mechanical signs, adaptation and clinical applications. **The Journal of Physiology**, v. 537, n. 2, p. 333-345, 2001.

RADCLIFFE, J.C.; FARENTINOS, R.C. **High-powered plyometrics**. Champaign: Human Kinetics, 1999.

RATAMESS, N. A. *et al.* American College of Sports Medicine position stand: progression models in resistance training for

healthy adults. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.41, n.3, p.687-708, 2009.

READ, M. M.; CISAR, C. The influence of varied rest interval lengths on depth jump performance. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 15, n. 3, p. 279-283, 2001.

REILLY, T.; DOWZER, C. N.; CABLE, N. T. The physiology of deep-water running. **Journal of Sports Sciences**, v. 21, p. 959-972, 2003.

REZAIMANESH, D.; AMIRI-FARSANI, P.; SAIDIAN, S. The effect of a 4 week plyometric training period on lower body muscle EMG changes in futsal players. **Procedia Social and Behavioral Sciences**, v. 15, p. 3138–3142, 2011.

ROBINSON, L. E. *et al.* The effects of land vs. aquatic plyometrics on power, torque, velocity, and muscle soreness in women. **Journal of Strength and conditioning Research**, v.18, n.1, p.84-91, 2004.

RODACKI, A. L.; FOWLER, N. E. The specificity of two training programmes on vertical jump coordination. **Revista Brasileira de Biomecânica**, v. 3, n. 4, p. 27-35, 2002.

RODACKI, A. L. F.; FOWLER, N. E.; BENNETT, S. J. Vertical jump coordination: fatigue effects. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 34, n. 1, p. 105-116, 2002.

ROESLER, H. **Desenvolvimento de plataforma subaquática para medições de forças e momentos nos três eixos coordenados para utilização em Biomecânica**. 1997. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ROESLER, H. *et al.* Análise biomecânica subaquática da marcha humana em ambos os sexos e diferentes grupos etários em diferentes níveis de imersão. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA

CATARINA, 13., 2003, Lages, SC. **Anais...** Lages: Universidade do Estado de Santa Catarina, 2003. p. 10.

ROESLER, H. *et al.* Dynamometric analysis of the maximum force applied in aquatic human gait at 1.3 m of immersion. **Gait & Posture**, v. 24, n. 4, p. 412-17, 2006.

ROESLER, H. *et al.* Análise das forças de reação do solo na marcha de adultos a 1,3 m de imersão. **Fisioterapia em Movimento**, v. 18, n. 4, p. 21-31, 2005.

ROOPCHAND-MARTIN, S.; LUE-CHIN, P. Plyometric training improves power and agility in jamaica's national netball team. **West Indian Medicine Journal**, v. 59, n. 2, p. 182-186, 2010.

RUOTI, R. C.; TROUP, J. T.; BERGER, R. A. The effects of non-swimming water exercises on older adults. **Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy**, v. 19, n.3, p. 140-145, 1994.

RUOTI, R. G.; MORRIS, D. M.; COLE, A. J. **Reabilitação aquática**. São Paulo: Manole, 2000.

RUSCHEL, C. **Análise biomecânica do salto em profundidade no solo e na água**. 2014. Tese (Doutorado em Ciências do Movimento Humano) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis.

RUSCHEL, C. **Análise da componente vertical da força de reação do solo em diferentes tipos de salto vertical de adultos nos ambientes aquático e terrestre**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências do Movimento Humano) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis.

SÁEZ SÁEZ DE VILLARREAL, E. Efecto del entrenamiento pliométrico en tres grupos de mujeres adultas. **Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte**, v. 10, n. 39, p. 393-409, 2010.

SANKEY, S. P.; JONES, P. A.; BAMPOURAS, T. M. Effects of two plyometric training programmes of different intensity on vertical jump performance in high school athletes. **Serbian Journal of Sports Sciences**, v. 2, n. 1-4, p. 123-130, 2008.

SANTOS, C. A. dos. **Natação: ensino e aprendizagem**. Rio de Janeiro: Sprint, 1996.

SCHMIDTBLEICHER, D. Training for Power events. In: KOMI, P. V. (Org.). **Strength and power in sport**. Oxford: Blackwell Scientific, 1992. P. 169-179.

SCHUTZ, G. R. *et al.* Determinação de protocolo para a aquisição de dados da marcha humana em ambiente aquático. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA. 2002, Joinville, SC. **Anais...** Joinville: Udesc, 2002.

SHAFFER, J. D. **The effects of a six-week land-based and aquatic-based plyometric training program on power, peak torque, agility and muscle soreness**. 2007. 148 f. Dissertação (Master of Science in Athletic Training) – West of Virginia University, Morgantown.

SHELD AHL, L. M. Special ergometric techniques and weight reduction. **Medicine Science of Sports and Exercise**, Hagerstown, v. 18, p. 25-30. 1986.

SHETTY, A. B.; ETNYRE, B. R. Contribution of arm movement to the force components of a maximum vertical jump. **Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy**, v. 11, n. 5, p. 198-201, 1989.

SHIRAN, M.Y. *et al.* Effect of Aquatic and Land Plyometric Training on Physical Training and Muscular Enzymes in Male Wrestlers. **Research Journal of Biological Sciences**, v. 3, n. 5, p. 457-461, 2008.

SIFF, M.C. **Supertraining**. 6. ed. Denver: Supertraining Institute, 2003.

SILVA FILHO, J. R.; FERNANDES, J. R. P.; LOBO DA COSTA, P. H. Estudo comparativo entre a corrida em esteira e a corrida aquática em duas profundidades diferentes. **Revista Brasileira de Educação Física e Esportes**, v.19, n.3, p.243-54, 2005.

SILVA; K. R.; MAGALHÃES, J.; GARCIA, M. A. C. Desempenho do salto vertical sob diferentes condições de execução. **Arquivos em Movimento**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 17-24, 2005.

SILVA *et al.* Caracterização da pesquisa (tipos de pesquisa). In: SANTOS, G. S. dos (Org.). **Métodos e técnicas de pesquisa quantitativa aplicada à Educação Física**. Florianópolis: Tribo da Ilha, 2011.

SIMMONS, V.; HANSEN, P. D. Effectiveness of water exercise on postural mobility in the well elderly: an experimental study on balance enhancement. **Journals of Gerontology, Series A, Biological Sciences and Medical Sciences**, v. 51, n. 5, p. 233-238, 1996.

SIMPSON, K. J.; CIAPPONI, T.; WANG, H. Biomecânica da aterrissagem. In: GARRET JR, W. E.; KIRKENDALL, D. T. **A ciência do exercício e dos esportes**. Porto Alegre: Artmed; 2003. p. 251-262.

SKINNER A. T.; THOMPSON, A. M. **Duffield**: exercícios na água. São Paulo: Manole, 1985. 210 p.

SLEIVERT, G.; TAINGAHUE, M. The relationship between maximal jump-squat power and sprint acceleration in athletes. **European Journal of Applied Physiology**, v. 91, n. 1, p. 46-52, 2004.

SOUZA, P. V. **Análise biomecânica da marcha de crianças em ambiente aquático**. 2006. 89 f. Dissertação (Mestrado em

Ciências do Movimento Humano) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis

SOUZA, P.V. *et al.* Biomechanical analysis of the force applied in aquatic gait of humans immersed at the sternum level. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF BIOMECHANICS. 2005, Cleveland, OH. **Proceedings...** Cleveland: International Society of Biomechanics, 2005. p. 233.

STEMM, J. D.; JACOBSON, B. H. Comparison of land- and aquatic-based plyometric training on vertical jump performance. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 21, n. 2, p. 568-571, 2007.

STEPHENSON, M. L. *et al.* Contact time, jump height, and reactive strength index during drop jumps in water, on padded and nonpadded conditions. **Portuguese Journal of Sports Sciences**, v. 11, p. 941-944, 2011.

TAKESHIMA, N. *et al.* Water-based exercise improves health related aspects of fitness in older women. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 34, n. 3, p.544-551, 2001.

TARTARUGA, L. A. P. *et al.* Comparação cinemática entre corrida em esteira rolante e corrida em piscina funda. **Lecturas Educacion Fisica y Deportes**, v. 10, n. 79, 2004.

TAUBE, W. *et al.* The drop height determines neuromuscular adaptations and changes in jump performance in stretch-shortening cycle training. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v. 22, n. 5, p. 671-683, 2012.

THEIN, J. M.; BRODY, L. T. Aquatic-based rehabilitation and training for the elite athlete. **Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy**, v. 27, n. 1, p 32-41, 1998.

THOMAS, J. R.; NELSON, J. K. **Métodos de pesquisa em atividade física**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2002.

THOMAS, K.; FRENCH, D.; HAYES, P. R. The effect of two plyometric training techniques on muscular power and agility in youth soccer players. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 23, n. 1, p. 332-335, 2009.

TIPLER, P. A. **Física para cientistas e engenheiros**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

TOUMI, H. *et al.* Effects of eccentric phase velocity of plyometric training on the vertical jump. **International Journal of Sports Medicine**, v. 25, n. 5, p. 391-398, 2004.

TRIPLETT, N. T. *et al.* Concentric and impact forces of single-leg jumps in an aquatic environment vs. on land. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v. 41, n. 9, p. 1790-1796, 2009.

UGRINOWITSCH, C. *et al.* Influence of training background on jumping height. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 21, n. 3, p. 848-852, 2007.

UGRINOWITSCH, C.; BARBANTI, V. J. O ciclo de alongamento e encurtamento e a performance no salto vertical. **Revista Paulista de Educação Física**, v. 12, n. 1, p. 85-94, 1998.

VALIANT G. A.; CAVANAGH, P. R. A study of landing from a jump: implications for the design of a basketball shoe. In: Matsui H, Kobayash K, editores. **Biomechanics VIII-A**. Champaign: Human Kinetics, 1983. p. 112-116.

VERKHOSHANSKI, I. V. **Força: treinamento da potência muscular**. Londrina: Centro de Informações Desportivas, 1996. 201 p.

VERKHOSHANSKY, Y. **Todo sobre el método pliométrico: médios y métodos para el entrenamiento y lá mejora de la fuerza explosiva**. Barcelona: Paidotribo Editorial, 1999. 192 p.

VESCOVI, J. D.; CANAVAN, P. K.; HASSON, S. Effects of a plyometric program on vertical landing force and jumping performance in college women. **Physical Therapy in Sport**, v. 9, n. 4, p. 185-192, 2008.

VIITASALO, J. T.; SALO, A.; LAHTINEN, J. Neuromuscular functioning of athletes and non-athletes in the drop jump. **European Journal of Applied Physiology**, v. 78, n.5, p. 432-440, 1998.

VOIGHT, M. L.; DRAOVITCH, P.; TIPPETT, S. Plyometrics. In: ALBERT, M. (Org.). **Eccentric Muscle Training in Sports and Orthopaedics**. 2. ed. Nova lorque: Churchill Livingstone. p. 61 – 99, 1995.

VOIGHT, M. L.; TIPPETT, S. Plyometrics in rehabilitation. In: PRENTICE, W. E. (Org.). **Rehabilitation techniques for sports medicine and athletic training**. 4. ed. Nova lorque: Churchill Livingstone. p. 225 – 241, 2004.

WALLACE, B. J. *et al.* Quantification of vertical ground reaction forces of popular bilateral plyometric exercises. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 24, n. 1, p. 207-212, 2010.

WANG, T.J. *et al.* Effects of aquatic exercise on flexibility, strength and aerobic fitness in adults with osteoarthritis of the hip or knee. **Journal of Advanced Nursing**, v. 57, n. 2, p. 141–152, 2006.

WILKERSON, G. B. *et al.* Neuromuscular changes in female collegiate athletes resulting from a plyometric jump-training program. **Journal of Athletic Training**, v. 39, n. 1, p. 17-23, 2004.

YAMAMOTO, S.; YANO, H.; NAKAZAWA, K. Lower limb kinematics during walking in water. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF BIOMECHANICS CONGRESS, 15., 1995,

Jyväskylä, Finland. **Proceedings...** Jyväskylä, Finland: International Society of Biomechanics, 1995.

YANO, H.; NAKAZAWA, K.; YAMAMOTO, S. Activation patterns of human ankle muscles during walking in water. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF BIOMECHANICS CONGRESS, 15., 1995, Jyväskylä, Finland. **Proceedings...** Jyväskylä, Finland: International Society of Biomechanics, 1995.

YOUNG, W.; WILSON, G.; BYRNE, C. Relationship between strength qualities and performance in standing and run-up vertical jumps. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 39, n. 4, p. 285-283. 1999.

YU, B.; LIN, C. F.; GARRET, W. E. Lower extremity biomechanics during the landing of a stop-jump task. **Clinical Biomechanics**, v. 21, n. 3, p. 297-305, 2006.

## **APÊNDICES**

**APÊNDICE A** – Análise das curvas  $F_y$  *versus* tempo nas técnicas BDJ e CDJ

**APÊNDICE B** – Equações de ajuste para a força máxima concêntrica e para o impulso concêntrico

**APÊNDICE C** – Projeto do Tanque

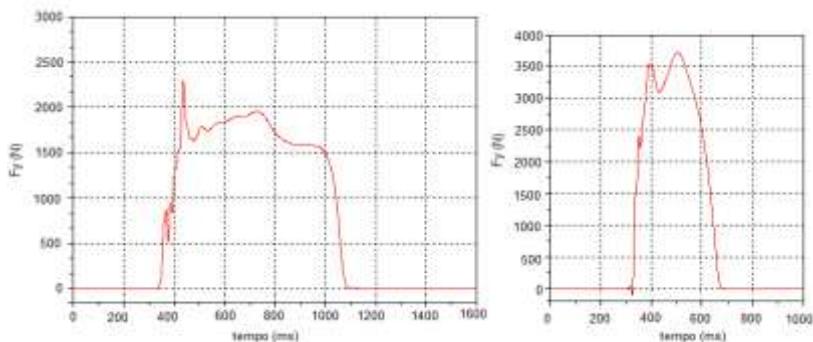
**APÊNDICE D** – Médias, desvios padrão e intervalos de confiança das variáveis do estudo nas cinco condições de análise

## APÊNDICE A

### ANÁLISE DAS CURVAS Fy VERSUS TEMPO NAS TÉCNICAS BDJ E CDJ

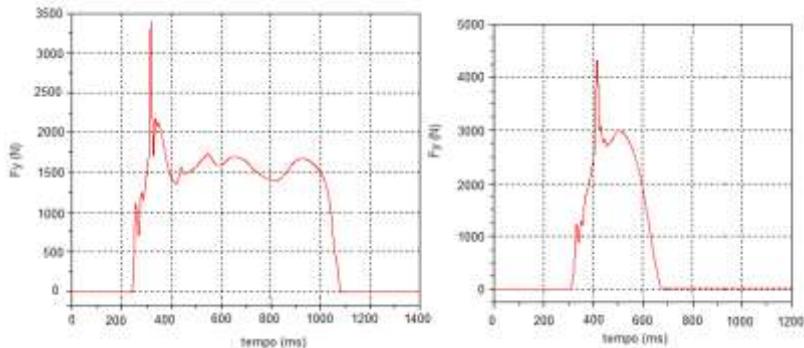
Nas figuras a seguir são mostradas curvas típicas da Fy (N) versus tempo (em ms) durante o SP no solo, obtidas em uma execução representativa de cada um dos sujeitos excluídos da análise por realizar a técnica CDJ (à esquerda) e em uma execução representativa de quatro dos 26 sujeitos incluídos na análise, que realizaram a técnica BDJ (à direita).

Figura 41 - Curvas da Fy (expressa em unidades de peso corporal – PC) versus tempo no solo do sujeito 9, excluído da análise (esquerda), e do sujeito 25, incluído na análise (direita).



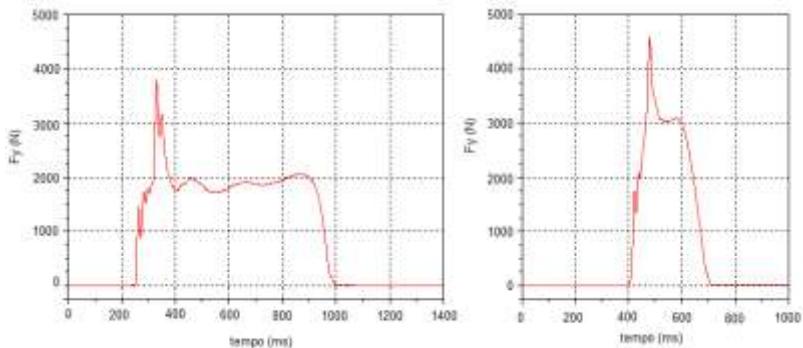
Fonte: Produção da própria autora.

Figura 42 - Curvas da  $F_y$  (expressa em unidades de peso corporal – PC) versus tempo no solo do sujeito 11, excluído da análise (esquerda), e do sujeito 13, incluído na análise (direita).



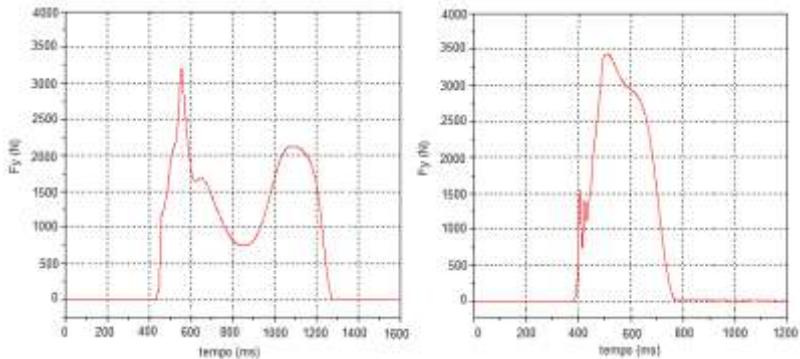
Fonte: Produção da própria autora.

Figura 43 - Curvas da  $F_y$  (expressa em unidades de peso corporal – PC) versus tempo no solo do sujeito 22, excluído da análise (esquerda), e do sujeito 20, incluído na análise (direita).



Fonte: Produção da própria autora.

Figura 44 - Curvas da  $F_y$  (expressa em unidades de peso corporal – PC) versus tempo no solo do sujeito 24, excluído da análise (esquerda), e do sujeito 12, incluído na análise (direita).



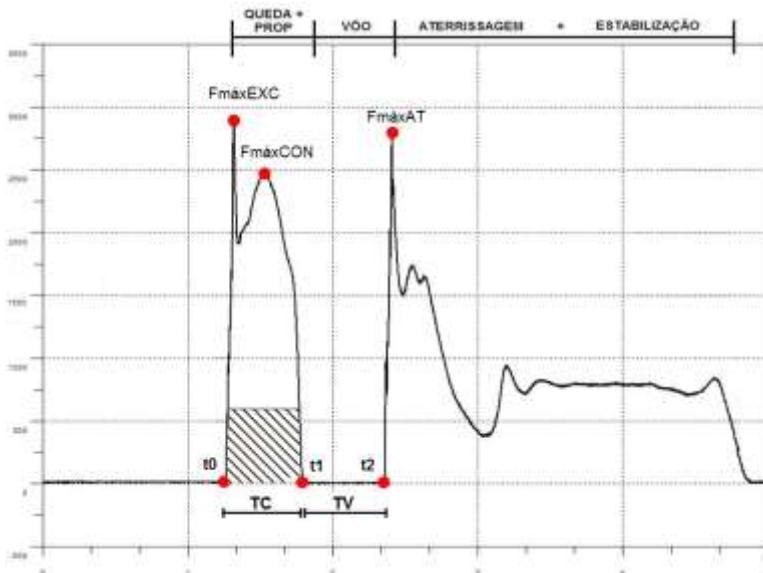
Fonte: Produção da própria autora.

## APÊNDICE B

### EQUAÇÕES DE AJUSTE PARA O A FORÇA MÁXIMA CONCÊNTRICA E PARA O IMPULSO CONCÊNTRICO

Para possibilitar a comparação com outros trabalhos que se valeram de diferentes opções metodológicas foram realizadas duas equações de ajuste. A primeira correção foi utilizada para ajustar a variável de força máxima concêntrica realizada durante o SP. A fim de isolar a força concêntrica produzida durante o salto foi diminuída da  $F_{\text{máxCON}}$  o valor em PC referente ao peso estático do sujeito na condição analisada (área hachurada – Figura 45).

Figura 45 - Representação do ajuste para a força máxima durante a subfase concêntrica do SP.



Fonte: Produção da própria autora.

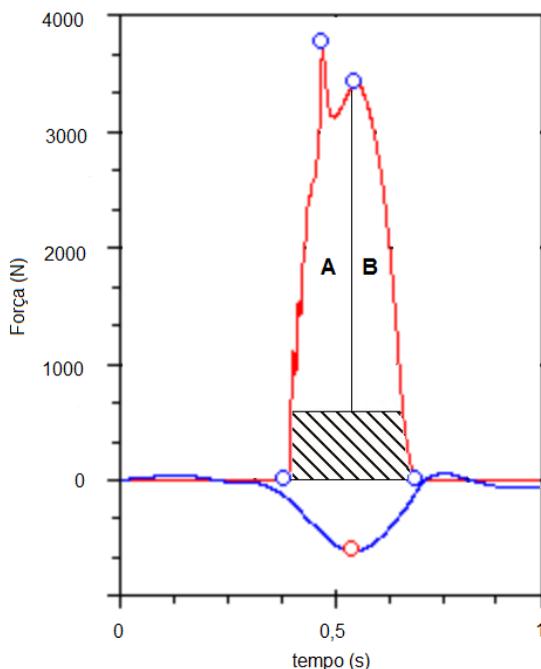
Para tal utilizou-se a seguinte equação:

$$F_a = F_{\text{máxCON}} - P_{\text{est}}$$

Onde:  $F_a$  = Força ajustada (PC);  $F_{\text{máxCON}}$  = força máxima concêntrica (PC); e  $P_{\text{est}}$  = peso estático em cada condição de análise (PC).

Utilizou-se também uma equação de ajuste para o impulso durante a subfase concêntrica. No mesmo sentido da equação anterior, a equação objetivou deduzir o impulso referente ao peso do indivíduo sob a plataforma de força (área hachurada – Figura 46).

Figura 46 - Representação do ajuste para o impulso durante a subfase concêntrica do SP.



Fonte: Produção da própria autora.

Como o impulso concêntrico foi apresentado em PC.s é preciso transformá-lo para N.s (unidade em que o impulso é comumente apresentado). Inicialmente multiplicou-se o valor do impulso concêntrico pelo peso para termos a variável do impulso concêntrico em N.s. Na sequência foi realizada a diminuição do impulso referente ao peso do corpo (N.s), este fator é produto do peso (N) e do intervalo de tempo tempo (s). Após a subtração do peso obtemos o valor do impulso ajustado em N.s e na sequência é realizada a divisão pelo peso do sujeito para termos o impulso ajustado normalizado em PC.s.

Tais cálculos são representados pela seguinte equação:

$$I_a = \frac{((Icon.P) - (P.t))}{P}$$

Onde:  $I_a$  = impulso ajustado (PC.s);  $Icon$  = impulso concêntrico total (PC.s);  $P$  = peso em cada condição de análise (N); e  $t$  = tempo da subfase concêntrica(s).

## APÊNDICE C

### PROJETO DO TANQUE PARA COLETA DE DADOS

#### 1. OBJETIVOS

##### 1.1. Objetivo Geral

Projetar um tanque que possa ser utilizado para a coleta de dados referentes aos saltos no ambiente aquático.

##### 1.2. Objetivos Específicos

- Permitir o encaixe exato da plataforma de força, proporcionando um ambiente nivelado e seguro para a execução dos saltos;
- Permitir o controle preciso do nível de imersão utilizado, possibilitando a alteração deste nível com facilidade;
- Permitir aos pesquisadores visualizar ou filmar a execução dos saltos, a fim de realizar um controle qualitativo da execução do movimento.

#### 2. INSTRUMENTOS

Para o desenvolvimento deste projeto utilizou-se o programa *SolidWorks*® para fazer os desenhos e montagem do modelo do tanque.

#### 3. RESULTADOS

Após diversos testes chegou-se ao desenho do tanque conforme ilustrado pela Figura 47. O tanque apresenta 2 metros de largura por 2 metros de comprimento e 2 metros de altura e é possível observar a cavidade para encaixe preciso da plataforma de força. Este projeto inclui ainda um visor para que os pesquisadores possam visualizar ou filmar a execução dos saltos para avaliação qualitativa. Para controlar o nível de água no tanque será utilizado um motor que bombeará água para dentro do tanque.

Este projeto foi enviado para a empresa responsável pela construção do tanque. No momento da construção foram necessários alguns ajustes no projeto para garantir maior resistência ao tanque.

Figura 47 - Desenho do projeto do tanque.



Fonte: Produção da própria autora

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os objetivos propostos para o projeto do tanque foram alcançados. Foi possível projetar um tanque com dimensões razoáveis e adequado para cumprir as metas deste trabalho. Além disso, o tanque será utilizado em outros projetos desenvolvidos pelo grupo. Após os ajustes finais no projeto será feita a construção do tanque.

## APÊNDICE D

### MÉDIAS, DESVIOS PADRÃO E INTERVALOS DE CONFIANÇA DAS VARIÁVEIS DO ESTUDO NAS CINCO CONDIÇÕES DE ANÁLISE

A seguir serão apresentadas as tabelas contendo os valores da média, desvio padrão, e intervalos de confiança (IC 95%) das variáveis do estudo nas cinco condições analisadas.

Tabela 3 – Médias, desvios padrão e intervalos de confiança para força máxima na subfase excêntrica nas cinco condições de análise.

<b>Condição</b>	<b>n</b>	<b>Média (PC)</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>IC (95%)</b>
<b>Solo</b>	26	5,19	0,20	4,61 – 5,78
<b>Tíbia</b>	26	4,83	0,18	4,46 – 5,20
<b>Joelho</b>	26	4,65	0,20	4,23 – 5,08
<b>Coxa</b>	26	4,11	0,17	3,75 – 4,46
<b>Quadril</b>	26	3,31	0,18	2,94 – 3,69

Fonte: Produção da própria autora.

Tabela 4 - Médias, desvios padrão e intervalos de confiança para força máxima na subfase concêntrica nas cinco condições de análise.

<b>Condição</b>	<b>n</b>	<b>Média (PC)</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>IC (95%)</b>
<b>Solo</b>	26	4,27	0,13	3,99 – 4,54
<b>Tíbia</b>	26	4,16	0,13	3,88 – 4,45
<b>Joelho</b>	26	3,94	0,15	3,61 – 4,27
<b>Coxa</b>	26	3,75	0,16	3,42 – 4,08
<b>Quadril</b>	26	3,42	0,12	3,16 – 3,68

Fonte: Produção da própria autora.

Tabela 5 - Médias, desvios padrão e intervalos de confiança para impulso excêntrico nas cinco condições de análise.

<b>Condição</b>	<b>n</b>	<b>Média (PC.s)</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>IC (95%)</b>
<b>Solo</b>	25	0,456	0,012	0,430 – 0,482
<b>Tíbia</b>	25	0,425	0,007	0,409 – 0,441
<b>Joelho</b>	25	0,429	0,006	0,415 – 0,443
<b>Coxa</b>	25	0,392	0,009	0,373 – 0,411
<b>Quadril</b>	25	0,306	0,010	0,283 – 0,328

Fonte: Produção da própria autora.

Tabela 6 - Médias, desvios padrão e intervalos de confiança para impulso concêntrico nas cinco condições de análise.

<b>Condição</b>	<b>n</b>	<b>Média (PC.s)</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>IC (95%)</b>
<b>Solo</b>	25	0,327	0,015	0,296 – 0,358
<b>Tíbia</b>	25	0,350	0,012	0,324 – 0,376
<b>Joelho</b>	25	0,336	0,009	0,316 – 0,355
<b>Coxa</b>	25	0,341	0,014	0,311 – 0,371
<b>Quadril</b>	25	0,308	0,015	0,276 – 0,340

Fonte: Produção da própria autora.

Tabela 7 - Médias, desvios padrão e intervalos de confiança para força máxima na aterrissagem nas cinco condições de análise.

<b>Condição</b>	<b>n</b>	<b>Média (PC)</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>IC (95%)</b>
<b>Solo</b>	26	5,83	0,30	5,20 – 6,46
<b>Tíbia</b>	26	5,83	0,27	5,25 – 6,40
<b>Joelho</b>	26	5,78	0,35	5,06 – 6,51
<b>Coxa</b>	26	5,41	0,41	4,56 – 6,27
<b>Quadril</b>	26	4,32	0,30	3,69 – 4,96

Fonte: Produção da própria autora.

Tabela 8 - Médias, desvios padrão e intervalos de confiança para tempo de contato nas cinco condições de análise.

<b>Condição</b>	<b>n</b>	<b>Média (ms)</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>IC (95%)</b>
<b>Solo</b>	26	273,2	9,3	254,0 – 292,4
<b>Tíbia</b>	26	292,5	10,4	271,0 – 313,9
<b>Joelho</b>	26	310,1	11,3	286,7 – 333,5
<b>Coxa</b>	26	319,9	13,0	293,0 – 346,9
<b>Quadril</b>	26	334,3	12,0	309,4 – 359,2

Fonte: Produção da própria autora.

Tabela 9 - Médias, desvios padrão e intervalos de confiança para tempo de voo nas cinco condições de análise.

<b>Condição</b>	<b>n</b>	<b>Média (ms)</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>IC (95%)</b>
<b>Solo</b>	26	501,7	6,7	487,7 – 515,7
<b>Tíbia</b>	26	515,4	6,2	502,4 – 528,3
<b>Joelho</b>	26	519,6	6,5	506,2 – 533,0
<b>Coxa</b>	26	537,9	6,6	524,1 – 551,6
<b>Quadril</b>	26	592,2	7,1	577,4 – 606,9

Fonte: Produção da própria autora.

Tabela 10 - Médias, desvios padrão e intervalos de confiança para tempo de contato excêntrico nas cinco condições de análise.

<b>Condição</b>	<b>n</b>	<b>Média (ms)</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>IC (95%)</b>
<b>Solo</b>	25	140,3	5,1	129,7 – 150,9
<b>Tíbia</b>	25	161,6	5,5	150,2 – 173,1
<b>Joelho</b>	25	174,0	6,4	160,7 – 187,4
<b>Coxa</b>	25	176,3	6,3	163,2 – 189,4
<b>Quadril</b>	25	189,5	6,8	175,4 – 203,6

Fonte: Produção da própria autora.

Tabela 11 - Médias, desvios padrão e intervalos de confiança para tempo de contato concêntrico nas cinco condições de análise.

<b>Condição</b>	<b>n</b>	<b>Média (ms)</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>IC (95%)</b>
<b>Solo</b>	25	133,1	6,5	119,6 – 146,5
<b>Tíbia</b>	25	133,3	6,4	117,9 – 144,7
<b>Joelho</b>	25	130,5	5,9	118,1 – 142,9
<b>Coxa</b>	25	140,8	8,1	124,0 – 157,5
<b>Quadril</b>	25	138,7	7,9	122,4 – 155,0

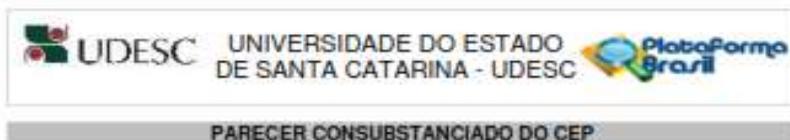
Fonte: Produção da própria autora.

## **ANEXOS**

ANEXO A – Parecer de aprovação da pesquisa no Comitê de Ética em Pesquisas com Seres Humanos da Universidade do Estado de Santa Catarina.

## ANEXO A

Parecer de aprovação da pesquisa no Comitê de Ética em Pesquisas com Seres Humanos da Universidade do Estado de Santa Catarina.

**DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

**Título da Pesquisa:** Análise cinética, cinemática e eletromiográfica de saltos verticais realizados no solo e na água.

**Pesquisador:** CAROLINE RUSCHEL

**Área Temática:**

**Versão:** 3

**CAAE:** 16529213.3.0000.0118

**Instituição Proponente:** FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SC UDESC

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

**DADOS DO PARECER**

**Numero do Parecer:** 334/28

**Data da Relatoria:** 15/07/2013

**Apresentação do Projeto:**

Projeto de pesquisa bem elaborado com característica de pesquisa experimental e prospectiva. A princípio a pesquisa se apresenta eticamente viável.

**Objetivo da Pesquisa:**

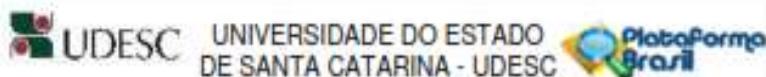
Analisar as características cinéticas, cinemáticas e eletromiográficas de saltos verticais realizados no solo e na água, em diferentes níveis de imersão.

**Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

A respeito dos riscos, apenas foi alterado o DESCONFORTO mínimo para MEDIO na tricotomia, no campo Riscos do Projeto de Pesquisa. Não foram realizadas as alterações de risco mínimo para médio nos seguintes documentos: Protocolo da Pesquisa e Projeto de Pesquisa. A caracterização de riscos médios tanto se refere ao procedimento dos saltos, que têm risco potencial de lesões associadas ao salto vertical em ambiente seco, como informado no campo Resumo e Introdução, quanto a contaminação/infecção relacionado à tricotomia em ambiente molhado. Deve-se caracterizar os riscos como sendo médios para estes procedimentos no Projeto de Pesquisa, no campo riscos.

Os benefícios serão diretos e imediatos pois cada participante saberá dos seus próprios dados.

**Endereço:** Av. Mito de Barenzêta, 2007  
**Bairro:** Foz de São João  
**UF:** SC  
**Município:** FLORIANÓPOLIS  
**Telefone:** (48)3321-8100  
**Fax:** (48)3321-8195  
**CEP:** 88.025-001  
**E-mail:** ccap@relatoria@udesc.br



Contribuição do Pesquisador: 334.025

quanto à análise cinética e cinemática, bem como o estudo terá benefícios indiretos e tardios pelo fato de poder se criar um banco de dados para estudos futuros.

**Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

A pesquisa está bem fundamentada na revisão de literatura e, os pesquisadores envolvidos têm experiência na área de atuação do desenvolvimento da pesquisa.

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

Estão apresentados os seguintes documentos:

1. Folha de Rosto CONEP;
2. Protocolo da Pesquisa - Projeto;
3. Projeto de pesquisa;
4. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, sendo votados a indivíduos maiores de 18 anos;
5. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, sendo elaborado aos indivíduos menores de 18 anos;
6. Termo de Assentimento, onde observa-se que os pais ou responsáveis ficarão cientes da pesquisa e considerando que o menor de idade tem direito livre e espontâneo a participar da pesquisa se for de sua vontade (autonomia de decisão do menor);
7. Consentimento para fotografias, vídeos e gravações, um direcionado aos adultos e outro, direcionado aos pais ou responsáveis pelo menor participante da pesquisa.

**Recomendações:**

N/A.

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

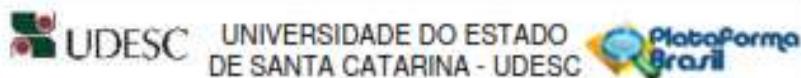
TODAS AS PENDÊNCIAS FORAM CUMPRIDAS:

Alteração de riscos mínimos para médios no Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, sendo votados a indivíduos maiores de 18 anos; Termo de Consentimento Livre e Esclarecido aos indivíduos menores de 18 anos; Termo de assentimento.

Foi criado o campo para assinatura da pesquisadora responsável nos Termos de Consentimento Livre e Esclarecido e no Termo de Assentimento.

Deve-se caracterizar os riscos como sendo médios para o salto vertical em ambiente seco, e para possibilidade de contaminação/infecção relacionado à tricatomia em ambiente molhado; no Projeto de Pesquisa, no campo riscos.

Endereço: Av. Madre Benvenuta, 2007  
 Bairro: Itacorubi CEP: 88.025-031  
 UF: SC Município: FLORIANÓPOLIS  
 Telefone: (48)3321-8195 Fax: (48)3321-8195 E-mail: capsh.reitoria@udesc.br



Continuação do Parecer: 334.828

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

**Considerações Finais a critério do CEP:**

O Colegiado aprova o parecer da relatoria, processo aprovado.

FLORIANÓPOLIS, 16 de Julho de 2013

---

**Assinador por:**  
**Luciana Dornbusch Lopes**  
(Coordenador)

**Endereço:** Av. Madre Benvenuta, 2007

**Bairro:** Itacorubi

**CEP:** 88.035-001

**UF:** SC

**Município:** FLORIANÓPOLIS

**Telefone:** (48)3321-8195

**Fax:** (48)3321-8195

**E-mail:** cep@reitoria@udesc.br