



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**CENTRO ARARANGUÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO**

**EFEITOS DA IMERSÃO E VELOCIDADE NA FORÇA DE REAÇÃO DO SOLO E  
IMPULSOS DURANTE A CAMINHADA E CORRIDA NA ÁGUA**

**INAIHÁ LAUREANO BENINCÁ**

Araranguá

2022

**EFEITOS DA IMERSÃO E VELOCIDADE NA FORÇA DE REAÇÃO DO SOLO E  
IMPULSOS DURANTE A CAMINHADA E CORRIDA NA ÁGUA**

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciências da Reabilitação da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Ciências da Reabilitação.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Haupenthal

Araranguá

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Benincá, Inaihá  
EPRITOS DA IMERSÃO E VELOCIDADE NA FORÇA DE REAÇÃO DO  
SOLO DURANTE A CAMINHADA E CORRIDA NA ÁGUA / Inaihá  
Benincá ; orientador, Alessandro Hauptenthal, 2022.  
60 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Campus Araranguá, Programa de Pós-Graduação em  
Ciências da Reabilitação, Araranguá, 2022.

Inclui referências.

1. Ciências da Reabilitação. 2. Hidroterapia. 3.  
Corrida. 4. Caminhada. 5. Cinética. I. Hauptenthal,  
Alessandro. II. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação. III.  
Título.

Inaihá Laureano Benincá

**Efeitos da imersão e velocidade na força de reação do solo e impulsos durante a caminhada e corrida na água**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Heiliane de Brito Fontana, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Caroline Ruschel, Dr.  
Universidade do Estado de Santa Catarina

Prof. Helio Roesler, Dr.  
Universidade do Estado de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Ciências da Reabilitação.

---

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

---

Prof. Alessandro Haupenthal, Dr.  
Orientador

Araranguá

2022

## RESUMO

As propriedades físicas da água interagem com o corpo de forma diversa dependendo das condições em que o movimento é realizado, logo o estudo cinético do exercício aquático em condições controladas e população homogênea é necessário para especificidade na prescrição. Analisamos os efeitos da interação entre níveis de imersão e velocidades no pico e impulso das componentes vertical ( $F_y$ ) e ântero-posterior ( $F_x$ ) da força de reação do solo durante a caminhada e corrida na água. Um estudo experimental randomizado, em que 50 participantes (18-39 anos, 25 mulheres) com IMC normal realizaram caminhada e corrida nas velocidades lenta, média e rápida em um dos cinco níveis de imersão (35-85 % do corpo imerso). Os dados foram coletados utilizando uma plataforma de força, normalizados pelo peso corporal (PC) e analisados através de uma ANOVA mista de três fatores. O pesquisador responsável pela análise dos dados foi cego e a sequência dos movimentos previamente randomizada. Os valores de  $F_y$  variaram de 0,21 (0,07) a 1,42 (0,5) PC, respectivos impulsos 0,27 (0,09) e 0,33 (0,06) PC.s; enquanto  $F_x$  de 0,05 (0,03) a 0,54 (0,07) PC, respectivos impulsos 0,06 (0,09) e 0,12 (0,02) PC.s. A interação tripla entre tipos de exercícios e velocidades em relação aos níveis de imersão não foi estatisticamente significativa para as variáveis analisadas. A análise da interação aos pares demonstrou que o comportamento dos picos de  $F_y$  para caminhada e corrida na água independem da velocidade entre 35 a 85% do corpo imerso. Já a  $F_x$  foi mais sensível a alteração da velocidade, no entanto essa componente também depende do nível de imersão durante a corrida na velocidade rápida e, contra intuitivamente, os valores de  $F_x$  reduziram com o aumento dos níveis de imersão inclusive na velocidade rápida. Os valores dos impulsos se comportaram de forma diversa dependendo dos níveis dos fatores analisados. Este estudo explora 30 condições diferentes no exercício aquático, viabilizando, portanto, o aperfeiçoamento da prescrição dessa modalidade.

Palavras-chave: Reabilitação. Hidroterapia. Cinética. Locomoção.

## ABSTRACT

The way physical properties of water interact with the body differ depending on how movements are performed; consequently, the study of aquatic exercise in controlled settings and homogeneous population is crucial to further understand the kinetics behind its prescription. This study aimed to analyze interaction between type of exercise, immersion levels and speeds on vertical (Fy) and antero-posterior (Fx) components of ground reaction forces' peaks and impulses during gait in water. A randomized experimental trial in which 50 participants (aged 18-39 years, 50 woman) with normal IMC walked and run in slow, normal and fast speeds in one of five immersion levels (35-85% of body immersed). Data was collected using a force plate, normalized to bodyweight (BW) and analyzed through a mixed factorial ANOVA. The data analyst was blind and the order of movements previously randomized. Fy values varied from 0,21 (0,07) to 1,42 (0,5) BW, with respective impulses of 0,27 (0,09) and 0,33 (0,06) BW.s; whereas Fx values varied from 0,05 (0,03) to 0,54 (0,07) BW, with respective impulses of 0,06 (0,09) and 0,12 (0,02) BW.s. The 3-way interaction between type of exercises and speed in relation to the immersion levels was not significant for all variables analyzed. However, the 2-way interaction showed that Fy values for walking and running do not depend on the speed between 35 to 85% of body immersed. On the other hand, Fx values are more sensible to speed, but it also depends on the immersion level during fast running. Non-intuitively, Fx values reduced with higher immersion levels even in the fast conditions. In addition, the impulse values behavior varied depending on the levels of all factors analyzed. This study explored 30 different conditions of aquatic exercise, which significantly contributes to the improvement of this modality prescription.

Keywords: Rehabilitation. Hydrotherapy. Kinetics. Gait.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Curva da componente vertical ( $F_y$ ) durante caminhada fora da água.....	15
<b>Figura 2</b> - Curvas representando a componente vertical ( $F_y$ ) em relação à velocidade de deslocamento na corrida fora da água.....	16
<b>Figura 3</b> - Curva da componente ântero-posterior ( $F_x$ ) da força de reação do solo durante a caminhada no solo.....	17
<b>Figura 4</b> - Curva da componente ântero-posterior ( $F_x$ ) da força de reação do solo durante a corrida no solo.....	18
<b>Figura 5</b> - Comportamento da componente ( $F_y$ ) para as diferentes profundidades de imersão.....	19
<b>Figura 6</b> - Análise da componente vertical ( $F_y$ ) no nível de imersão do quadril (linha sólida preta) e do peito (linha sólida cinza) e ântero-posterior ( $F_x$ ) no nível de imersão do quadril (linha pontilhada preta) e do peito (linha pontilhada cinza).....	20
<b>Figura 7</b> - Componente ântero-posterior ( $F_x$ ) da FRS durante a caminhada na água no nível do processo xifoide.....	21
<b>Figura 8</b> - Magnitude do componente ântero-posterior ( $F_x$ ) da FRS durante a corrida na água no nível do peito (cinza escuro) e do quadril (cinza claro).....	21
<b>Figura 9</b> - Variação da componente vertical ( $F_y$ ) em diferentes exercícios na água.....	26
<b>Figura 10</b> - Representação dos cinco grupos e respectivos níveis de imersão em porcentagem para caminhada (A) e corrida (B) na água.....	30
<b>Figura 11</b> - Distribuição dos dados sem transformação logarítmica para as componentes vertical ( $F_y$ ) e ântero-posterior ( $F_x$ ) em unidade de peso corporal (PC) para os diferentes níveis de imersão I) 35 a 45 %, II) 45 a 55 %, III) 55 a 65%, IV) 65 a 75% e V) 75 a 85% durante a caminhada e corrida na água.....	33
<b>Figura 12</b> - Distribuição dos dados para o impulso das componentes vertical ( $F_y$ ) e ântero-posterior ( $F_x$ ) em unidade de peso corporal (PC.s) para os diferentes níveis de imersão I) 35 a 45 %, II) 45 a 55 %, III) 55 a 65%, IV) 65 a 75% e V) 75 a 85% durante a caminhada e corrida na água.....	34
<b>Figura 13</b> - Média e erro padrão da componente vertical ( $F_y$ ) para A) o tipo de exercício (caminhada e corrida) em função dos níveis de imersão (I 35 a 45 %, II 45 a 55 %, III 55 a 65%, IV 65 a 75% e V 75 a 85%), B) das velocidades (lenta, média e rápida) em função dos	

níveis de imersão (I 35 a 45 %, II 45 a 55 %, III 55 a 65%, IV 65 a 75% e V 75 a 85%) e C) do tipo de exercício (caminhada e corrida) em função das velocidades (lenta, média e rápida).

\* Representa interação significativa ( $p < 0.05$ ) entre os fatores.....36

**Figura 14** - Média e erro padrão da componente ântero-posterior (Fx) para A) o tipo de exercício (caminhada e corrida) em função dos níveis de imersão (I 35 a 45 %, II 45 a 55 %, III 55 a 65%, IV 65 a 75% e V 75 a 85%), B) das velocidades (lenta, média e rápida) em função dos níveis de imersão (I 35 a 45 %, II 45 a 55 %, III 55 a 65%, IV 65 a 75% e V 75 a 85%) e C) do tipo de exercício (caminhada e corrida) em função das velocidades (lenta, média e rápida). \* Representa interação significativa ( $p < 0.05$ ) entre os fatores.....38

**Figura 15** - Média e erro padrão do impulso da componente vertical (Fy) para A) o tipo de exercício (caminhada e corrida) em função dos níveis de imersão (I 35 a 45 %, II 45 a 55 %, III 55 a 65%, IV 65 a 75% e V 75 a 85%), B) das velocidades (lenta, média e rápida) em função dos níveis de imersão (I 35 a 45 %, II 45 a 55 %, III 55 a 65%, IV 65 a 75% e V 75 a 85%) e C) do tipo de exercício (caminhada e corrida) em função das velocidades (lenta, média e rápida). \* Representa interação significativa ( $p < 0.05$ ) entre os fatores.....40

**Figura 16** - Média e erro padrão do impulso da componente ântero-posterior (Fx) para A) o tipo de exercício (caminhada e corrida) em função dos níveis de imersão (I 35 a 45 %, II 45 a 55 %, III 55 a 65%, IV 65 a 75% e V 75 a 85%), B) das velocidades (lenta, média e rápida) em função dos níveis de imersão (I 35 a 45 %, II 45 a 55 %, III 55 a 65%, IV 65 a 75% e V 75 a 85%) e C) do tipo de exercício (caminhada e corrida) em função das velocidades (lenta, média e rápida). \* Representa interação significativa ( $p < 0.05$ ) entre os fatores.....42

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Média (DP) da velocidade e pico das componentes da força de reação do solo normalizada pelo peso corporal para caminhada.....	21
<b>Tabela 2</b> – Média (DP) da velocidade e pico das componentes da força de reação do solo normalizada pelo peso corporal para corrida.....	23
<b>Tabela 3</b> – Características dos participantes em média (desvio padrão) de acordo com os níveis de imersão (I-V).....	32
<b>Tabela 4</b> – Post-hoc dos contrastes para as médias (desvio padrão) da componente ântero-posterior (Fx) após transformação logarítmica entre os cinco níveis de imersão (I-V) e as velocidades lenta média e rápida.....	38
<b>Tabela 5</b> – Pos-hoc dos contrastes para as médias (desvio padrão) do impulso da componente vertical (Fy) entre os cinco níveis de imersão (I-V) e as velocidades lenta média e rápida, e entre os exercícios.....	40
<b>Tabela 6</b> - Post-hoc dos contrastes para as médias (desvio padrão) do impulso da componente ântero-posterior (Fx) entre os cinco níveis de imersão (I-V) e as velocidades lenta média e rápida, e entre os exercícios.....	43

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA	Análise de variância.
FRS	Força de reação do solo.
FR	Valor da resultante das componentes da FRS.
F <sub>x</sub>	Componente ântero-posterior da força de reação do solo.
F <sub>y</sub>	Componente vertical da força de reação do solo.
GG	Greenhouse–Geisser.
Hz	Hertz.
ICC	Coeficiente de correlação intraclass.
IMC	Índice de massa corporal.
m	Metros.
m.s	Metros por segundo
np <sup>2</sup>	Eta quadrado parcial
PC	Peso corporal.
PC.s	Peso corporal por segundo.
° C	Grau Celsius.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1	OBJETIVOS.....	11
1.1.1	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>11</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>11</b>
1.2	HIPÓTESE.....	12
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>12</b>
2.1	COMPONENTE VERTICAL DA MARCHA NO SOLO .....	14
2.2	COMPONENTE ÂNTERO-POSTERIOR DA MARCHA NO SOLO.....	16
2.3	COMPONENTE VERTICAL DA MARCHA NA ÁGUA .....	17
2.4	COMPONENTE ÂNTERO-POSTERIOR DA MARCHA NA ÁGUA.....	19
2.5	COMPARAÇÃO DAS FORÇAS DA MARCHA NO SOLO E NA ÁGUA.....	20
<b>3</b>	<b>MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
3.1	DESENHO DO ESTUDO .....	25
3.2	PARTICIPANTES .....	25
3.2.1	<b>Aspectos éticos.....</b>	<b>25</b>
3.2.2	<b>Tamanho da amostra.....</b>	<b>26</b>
3.3	VARIÁVEIS .....	26
3.4	INSTRUMENTOS .....	27
3.5	PROCEDIMENTOS .....	27
3.6	PROCESSAMENTO DOS DADOS .....	28
3.7	RANDOMIZAÇÃO E CEGAMENTO.....	29
3.8	TRATAMENTO ESTATÍSTICO .....	30
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>31</b>
4.1	ANOVA MISTA DE TRÊS FATORES.....	32
4.2	ANOVA MISTA DE DOIS FATORES .....	33

<b>4.2.1</b>	<b>Componente vertical (<math>F_y</math>).....</b>	<b>33</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Componente horizontal (<math>F_x</math>) .....</b>	<b>34</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Impulso da componente vertical (<math>F_y</math>).....</b>	<b>37</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Impulso da componente horizontal (<math>F_x</math>).....</b>	<b>39</b>
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>42</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>45</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>46</b>
	<b>ANEXO A – Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa .....</b>	<b>52</b>
	<b>ANEXO B – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido .....</b>	<b>53</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O exercício aquático é comumente implementado por academias e centros de reabilitação, pois além de proporcionar fortalecimento muscular, condicionamento aeróbico e os benefícios secundários a pressão hidrostática e temperatura (EDLICH et al., 1987; YAGHOUBI et al., 2020), oferece um ambiente seguro para o treino de pessoas em que maior controle de carga é necessário, como obesos, grávidas e idosos (ALBERTON et al., 2013; HAUPENTHAL et al., 2013). Além disso, o ambiente aquático auxilia a realização de movimentos funcionais por pacientes em tratamento de condições musculoesqueléticas e neurológicas (BARTELS et al., 2016; HEYWOOD et al., 2017; METHAJARUNON et al., 2016). Dessa forma, o conhecimento das demandas biomecânicas que essas pessoas são submetidas é importante tanto para a prevenção de lesões quanto para a progressão do treinamento físico e terapêutico.

A análise das forças de reação do solo (FRS) permite estudar a influência das condições do ambiente aquático na descarga de peso, pois quantifica as forças que atuam sobre o corpo em resposta ao movimento (RICHARDS et al., 2013). Ao comparar a corrida na água com a no solo, a componente vertical da FRS pode ser reduzida em até 71 %, enquanto a componente anterior em até 62 % (HAUPENTHAL et al., 2013). Tais alterações são possíveis devido principalmente a duas propriedades físicas da água, o empuxo e a força de arrasto. De acordo com o princípio de Arquimedes (212 A.C.) o empuxo leva a uma redução aparente do peso, e essa redução é equivalente ao volume de água deslocado pelo corpo; portanto, quanto maior o nível de imersão, maior o empuxo e conseqüentemente menor a descarga de peso. Já a força de arrasto resiste ao movimento, é influenciada pelo tamanho e área frontal do corpo e é uma função da velocidade ao quadrado (PÖYHÖNEN et al., 2000); portanto, quanto maior for a velocidade do movimento, maior a demanda mecânica.

Dependendo do tipo de movimento, essas propriedades físicas interagem com o corpo de forma diversa (DOWZER, 1998; ROESLER et al., 2003). Por exemplo, o aumento da velocidade leva a alterações na fase de suporte da marcha a fim de vencer a maior resistência imposta pela água (NIGG; HERZOG, 1994), além de uma redução no tempo de apoio, que implica em um menor tempo para gerar impulso e, conseqüentemente, num aumento das FRS (TONGEN; WUNDERLICH, 2010); no entanto, esse aumento terá a magnitude influenciada majoritariamente pelo nível de imersão que o exercício é realizado, mas também pelas características individuais (HAUPENTHAL et al., 2019). Embora estudos

prévios tenham quantificado a FRS em diferentes níveis de imersão e velocidades durante a caminhada ou corrida na água (HAUPENTHAL et al., 2010a, 2013; HEYWOOD et al., 2016; MARINHO-BUZELLI et al., 2017a; MIYOSHI et al., 2004), a complexa interação desses fatores torna necessária uma investigação detalhada.

A fim de alcançar esse objetivo estudos prévios exploraram outras variáveis além das FRS, como os momentos (MIYOSHI et al., 2004), forças e torques articulares (ORSELLI; DUARTE, 2011), trajetórias do centro de pressão, impulsos horizontais e acelerações do tronco no início da caminhada (MARINHO-BUZELLI et al., 2017b), além das taxas de carga (HAUPENTHAL et al., 2010a, 2013). No entanto, desconhecemos estudos analisando o comportamento das FRS para caminhada e corrida através do estudo dos impulsos, o que permite a análise da interação entre o tempo de suporte e a força aplicada nesse período (BLAZEVICH, 2007). Portanto, a fim de aprofundar o conhecimento cinético do exercício aquático, o presente estudo busca analisar, em um ambiente controlado e população homogênea, quais são os efeitos da interação entre diferentes níveis de imersão e velocidades no pico e impulso das FRS durante a caminhada e corrida na água.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Analisar o efeito combinado e a interação entre três velocidades e cinco níveis de imersão no pico e impulso das componentes vertical ( $F_y$ ), ântero-posterior ( $F_x$ ) da FRS durante a caminhada e corrida na água.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar o pico e impulso de  $F_y$  e  $F_x$  na caminhada e corrida realizados no ambiente aquático com variação da imersão e velocidade;
- Comparar os valores de pico e impulso de  $F_y$  e  $F_x$  na execução dos diferentes movimentos e situações de análise;
- Verificar se ocorre interação entre o tipo de exercício, velocidade e imersão no pico e

impulso de  $F_y$ ,  $F_x$ .

## 1.2 HIPÓTESE

Os picos de  $F_y$  e  $F_x$ , assim como os respectivos impulsos serão influenciados pela interação combinada do tipo de exercício, velocidades e níveis de imersão.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O homem se relaciona com o meio aquático com fins de recreação, exploração e condicionamento desde seus primórdios. Na reabilitação, segundo Kelly et al. (2000) (KELLY et al., 2000), existem documentos do uso da água com cunho terapêutico desde 2400 antes de Cristo. Atualmente o exercício aquático é utilizado em programas de tratamento e/ou condicionamento físico para um grande número de pessoas (KANEDA et al., 2007; MASUMOTO et al., 2004). Dentre os benefícios terapêuticos do treino na água, a redução da descarga de peso durante a marcha é um dos mais relevantes, visto que o controle desse fenômeno é um fator determinante para o sucesso da reabilitação em diversas condições, tais quais processos de recuperação funcional das fraturas de fêmur e tíbia, dos pós-operatórios de próteses, das reconstruções de ligamentos e tendões e dos problemas de coluna, e, além disso, assiste na recuperação entre dois eventos competitivos, na melhora ou manutenção da força e da capacidade aeróbia (BATES; HANSON, 1998; CAMPION, 2000; RUOTI; MORRIS; COLE, 2000).

Essa diminuição da descarga do peso corporal no ambiente aquático é secundária ao efeito de redução da ação da gravidade e apresenta uma relação indireta com o nível de imersão, dessa forma, quanto maior o nível de imersão menores são as cargas nas estruturas musculoesqueléticas. Assim, a diminuição da magnitude das forças internas nessas estruturas possibilita que em fases iniciais da reabilitação, onde os tecidos em recuperação não sustentariam um treino de marcha convencional no solo, o treino na água se torne uma alternativa válida, permitindo uma reabilitação precoce onde os riscos são reduzidos (BUCKTHORPE; PIROTTI; VILLA, 2019). Outro importante benefício do exercício aquático está atrelado a pressão hidrostática, essa auxilia o retorno dos fluidos da periferia para circulação central, facilitando assim a resolução dos edemas (VAILE et al., 2008). Esses

fatores contribuem para o sucesso da reabilitação, acelerando esse processo e consequentemente reduzindo os gastos. No entanto, a carga do treino precisa ser prescrita respeitando a especificidade de cada participante, e no caso da reabilitação, a descarga de peso deve ser apropriada a capacidade do tecido em recuperação e a fase de reabilitação que o paciente se encontra, logo para uma prescrição adequada se faz necessário a compreensão dos efeitos das propriedades físicas da água sobre os participantes.

A locomoção como consequência do movimento dos membros humanos é conceituada como marcha, e as formas mais estudadas são a caminhada e a corrida (HAMIL; KNUTZEN; DERRICK, 2013). Ambas são realizadas respeitando um ciclo que se inicia quando um pé toca o solo e termina quando o mesmo pé atinge o solo novamente. O que diferencia a caminhada da corrida é a presença da fase de apoio duplo, a qual, com o aumento da velocidade, é substituída pela fase de voo (NOVACHECK, 1998). Para que se analise a marcha é necessária uma observação detalhada com mensurações objetivas, um dos ramos da física que contempla essa análise é a cinética, a qual estuda a causa dos movimentos com base na compreensão das forças que atuam no sistema (WHITTLE, 1996).

O desenvolvimento da plataforma de força permitiu uma mensuração quantitativa das forças que interagem com o corpo quando o participante a toca durante a fase de apoio da marcha. As FRS são então coletadas através dessas plataformas, e são subdivididas em três componentes: a vertical ( $F_y$ ), a ântero-posterior ( $F_x$ ) e a médio-lateral ( $F_z$ ). A  $F_y$  é o que melhor caracteriza a carga sobre o aparelho locomotor e sua ação se relaciona com a ação da gravidade, esse é o componente que apresenta maior contribuição para a força resultante (BARRETO et al., 2016). A componente  $F_x$  está relacionado com as acelerações de progressão e frenagem (CZERNIECKI, 1988). E por fim, o componente médio-lateral reflete a acomodação do pé de uma posição em supino para prono, seguida de uma força lateral durante a propulsão (BARRETO et al., 2016), esse componente parece indicar assimetrias bilaterais distintas, e dos três é o que apresenta menor contribuição para a força resultante (MUNRO; MILLER; FUGLEVAND, 1987).

O estudo dessas variáveis dinâmicas da marcha dentro da água foi iniciado por Harrison R. A., Hillmann M. e Bulstrode S. em 1992 (HARRISON; HILLMAN; BULSTRODE, 1992) que mensuraram pela primeira vez a  $F_y$  da FRS e conseguiram estimar a força resultante com o equipamento disponível na época, uma balança eletrônica de banheiro adaptada. Posteriormente, ainda na década de 90, o National Rehabilitation Center for the Disabled em Saitama no Japão desenvolveu uma plataforma de força resistente a água com a qual conduziu estudos analisando a  $F_y$  dentro e fora da água, associando essa a uma

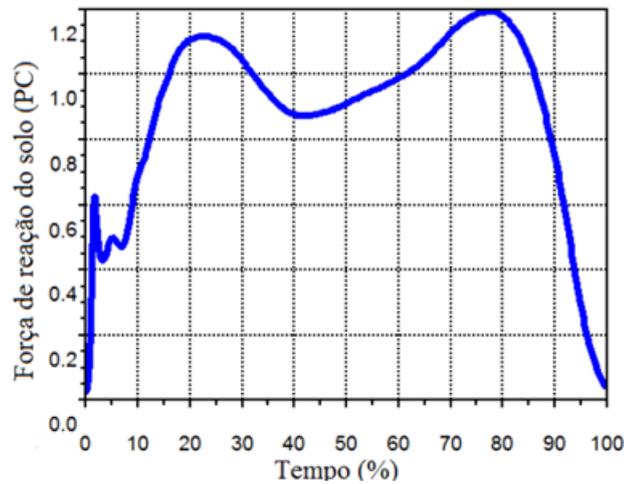
análise eletromiográfica. Até que em 1997, Helio R. desenvolveu a primeira plataforma de força subaquática para aquisição de força e momento nos três eixos coordenados, a qual é o principal instrumento utilizado pelo Laboratório de Pesquisas em Biomecânica Aquática do CEFID/UEDESC. Com o desenvolvimento dessa plataforma de maior precisão, se fez necessário que a medição das forças fosse reavaliada. Esse processo foi iniciado pelo Grupo de Pesquisas em Biomecânica Aquática em 2000 com a análise da  $F_y$  na hidrocinesioterapia (BRITO et al., 2000), em 2002 foi criado um protocolo de análise da marcha subaquática (SCHUTZ et al., 2002), e em 2003 foi publicado o resultado de um estudo que analisou as variáveis temporais e as forças verticais (ROESLER et al., 2003).

Logo, ao passo da compreensão dos fatores que caracterizam a locomoção humana no solo, se abriu margem para o questionamento quanto ao comportamento desse fenômeno em outros ambientes e a consequente busca do desenvolvimento das tecnologias necessárias para tal, visto a relevância da compreensão dessas forças para o processo de reabilitação. A fim de expor o avanço da literatura no estudo das FRS na reabilitação aquática, caracterizaremos inicialmente a marcha no solo e a utilizaremos como parâmetro para elucidarmos as consequências de sua apropriação ao meio aquático.

## 2.1 COMPONENTE VERTICAL DA MARCHA NO SOLO

Durante a caminhada a  $F_y$  apresenta dois picos distintos com uma deflexão entre esses, o que torna a curva de força em função do tempo semelhante a um “M” (Figura 1) (JACQUELIN, 1992; NIGG; HERZOG, 1994; WINTER, 1991). Anterior ao primeiro pico de força, se observa o pico de impacto, o qual reflete a carga inicial sobre as estruturas corporais sem o auxílio da contração muscular (NIGG; HERZOG, 1994), é próximo ao pico de impacto que os músculos iniciam a contração e ocorrem os encaixes articulares necessários para continuar e manter o movimento, o que é observado por uma breve atenuação da carga (LIU; NIGG, 2000). O primeiro pico de força representa o contato do pé no solo em resposta a carga corporal do participante (JACQUELIN, 1992). A deflexão entre o primeiro e segundo pico de força representa a fase de suporte médio, essa está relacionada com a flexão do joelho da perna de apoio e a fase de balanço da perna livre. O segundo pico de força corresponde a fase ativa do movimento, quando os músculos do membro inferior em apoio estão realizando a fase de propulsão da marcha (NIGG; HERZOG, 1994; NOVACHECK, 1998; ROSE; GAMBLE, 1998).

**Figura 1** – Curva da componente vertical ( $F_y$ ) durante caminhada fora da água.



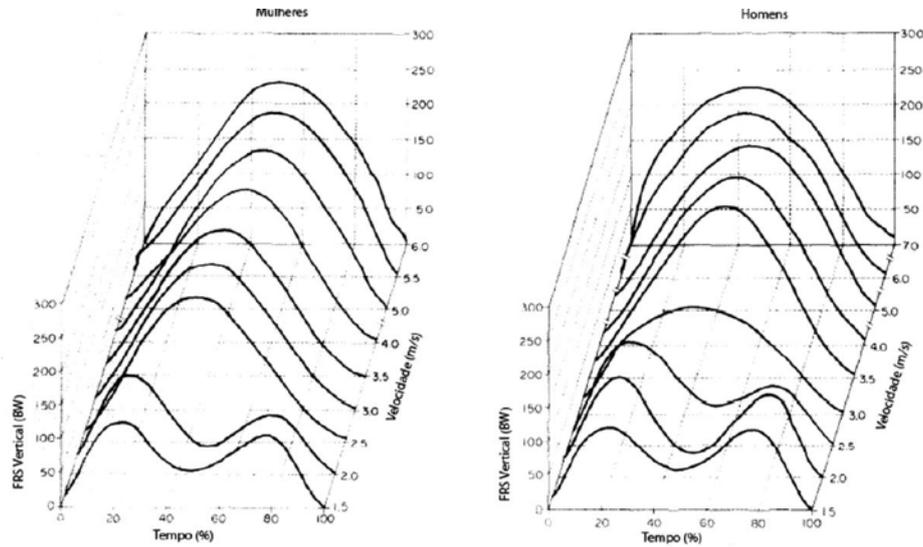
Fonte: Laboratório de Biomecânica UDESC.

Durante a corrida, a  $F_y$  apresenta o pico de impacto e o pico ativo, porém como há grande variabilidade entre participantes, não há uma curva padrão representativa dos corredores em geral. O pico de impacto é influenciado primeiramente pelas condições do toque do pé (NIGG; HERZOG, 1994; ZATSIORSKY, 2004), corredores que pisam com o médio pé e o ante pé tipicamente não apresentam esse pico (HAMIL; KNUTZEN; DERRICK, 2013; NIGG; HERZOG, 1994; ZATSIORSKY, 2004). O pico ativo por sua vez é afetado pela atividade muscular durante o apoio (NIGG; HERZOG, 1994; ZATSIORSKY, 2004).

A magnitude dos picos de força varia com a velocidade, com a idade dos participantes, prática de atividade física, tipo de atividade física praticada, tipo de calçado, sexo, entre outros (JACQUELIN, 1992; VIEL, 2001), no entanto, dentre esses fatores a velocidade é o que apresenta maior influência sobre esses picos. Como na corrida a velocidade do movimento é maior em relação a caminhada, observa-se a diminuição do tempo de apoio, que fica em torno de 0,2 s, e a magnitude da  $F_y$  pode atingir de duas a cinco vezes o peso corporal do participante. Dessa forma, a carga mecânica a que é exposto o aparelho locomotor durante a corrida é maior que a da caminhada (NIGG; HERZOG, 1994; NOVACHEK, 1998), o que expressa a relação direta entre os picos de força e a velocidade. Com o aumento da velocidade ocorre a transição da curva de força caracterizada como o “M” da caminhada para a curva da corrida (Figura 2), nessa os picos de força passam de dois para um, com diferente magnitude e tempo de aplicação da força. Outra distinção a ser levada em

conta entre a caminhada e a corrida é a repetibilidade do gesto, visto que em um quilômetro de corrida, o pé impacta com o solo de 600 a 1200 vezes (DOWZER, 1998).

**Figura 2** – Curvas representando a componente vertical ( $F_y$ ) em relação à velocidade de deslocamento na corrida fora da água.

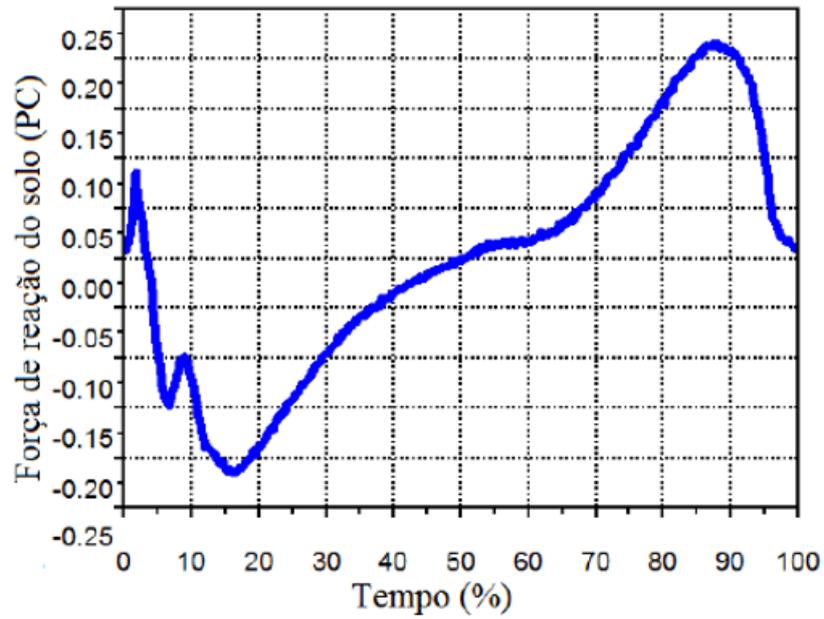


Fonte: Adaptado de Keller et al. (1996)

## 2.2 COMPONENTE ÂNTERO-POSTERIOR DA MARCHA NO SOLO

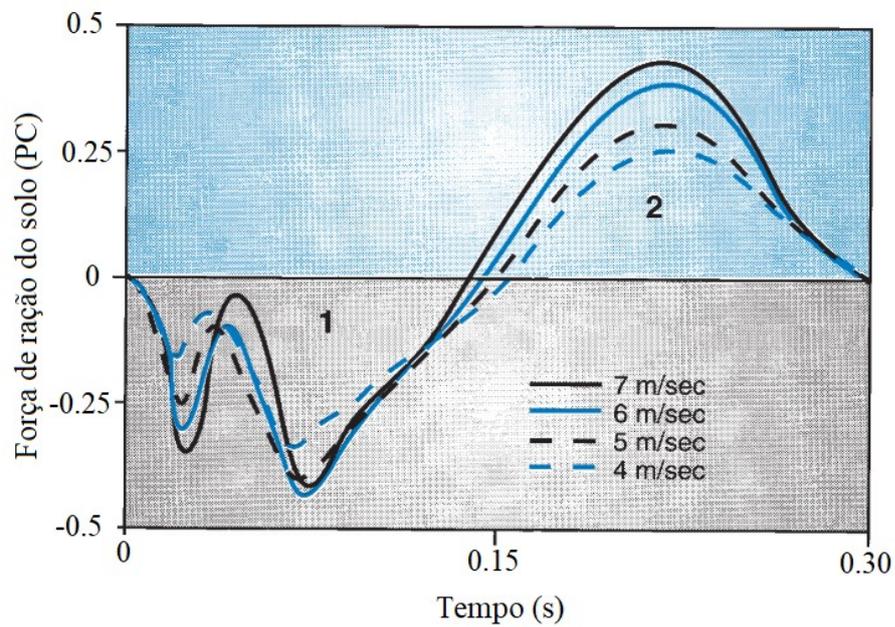
A componente  $F_x$  apresenta também dois picos de força, em um primeiro instante ocorre o pico negativo, e então os valores aumentam até o pico positivo (JACQUELIN, 1992; NIGG; HERZOG, 1994; WINTER, 1991). Durante a fase negativa o pé empurra o solo anteriormente para desacelerar o movimento, o que causa no solo uma reação na direção posterior (pico negativo). Durante a fase positiva o pé empurra o solo na direção posterior para acelerar o movimento, o que causa no solo uma força de reação na direção anterior (pico positivo) (JACQUELIN, 1992; NIGG; HERZOG, 1994). Os valores desses picos durante a marcha apesar de invertidos são semelhantes em magnitude, dessa forma a curva se assemelha a um dente de serra (Figura 3). Para a corrida a magnitude desses componentes é maior, mas o padrão da curva se assemelha com o da marcha (Figura 4), somente o pico negativo que varia de acordo com o tipo de toque do pé no solo (MUNRO; MILLER; FUGLEVAND, 1987).

**Figura 3** – Curva da componente ântero-posterior ( $F_x$ ) da força de reação do solo durante a caminhada no solo.



Fonte: Laboratório de biomecânica da UDESC.

**Figura 4** – Curva da componente antero-posterior (Fx) da força de reação do solo durante a corrida no solo.

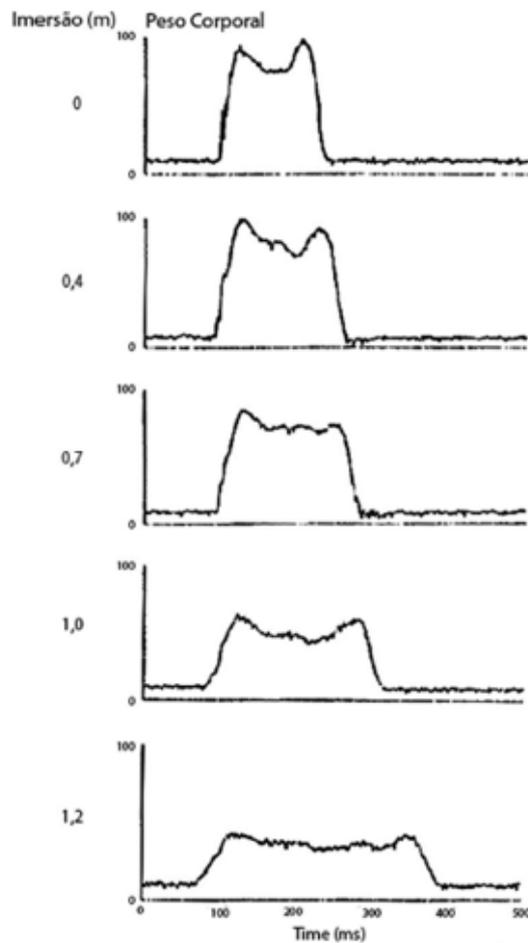


Fonte: Adaptado de Hamil et al. (2013).

### 2.3 COMPONENTE VERTICAL DA MARCHA NA ÁGUA

Em relação a caminhada no solo, a curva em formato de M ainda é observada no ambiente aquático, porém essa é influenciada pelo nível imersão. Quanto mais profundo o participante está imerso, mais achatados são os picos de força (Figura 5). Além disso, é possível observar o aumento do período de apoio, representado pela deflexão na curva da caminhada no solo, o qual também é influenciado de forma direta pelo nível de imersão. Em níveis de imersão mais profundos percebe-se até a ausência dessa deflexão representativa do suporte médio, o que pode ser justificado pela diminuição da velocidade de oscilação do membro inferior na fase de balanço ou da diminuição da flexão do joelho que está na fase de apoio (BRITO et al., 2004).

**Figura 5** – Comportamento da componente ( $F_y$ ) para as diferentes profundidades de imersão.

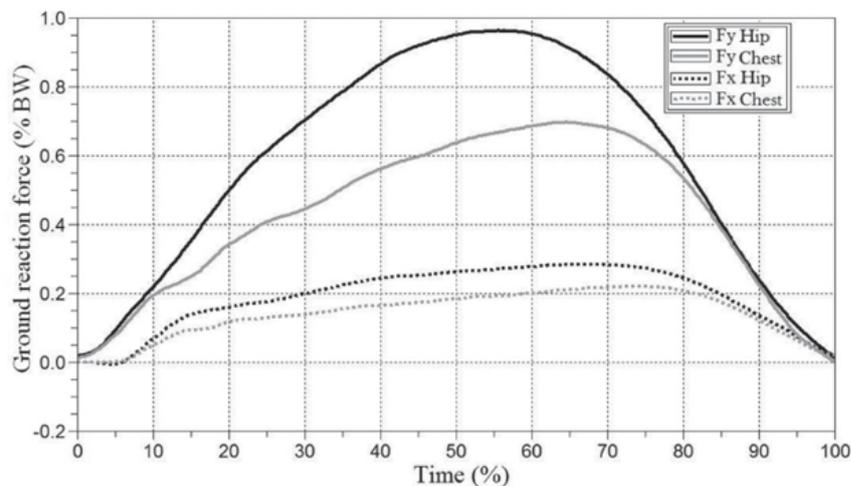


**Fonte:** Nakazawa et al. (1994).

O comportamento da curva da  $F_y$  para a corrida na água é bastante similar ao da corrida no solo, visto que também é possível observar a transição dos dois picos de força em

formato de M para um. No entanto, o que varia é a magnitude desses picos, que diminuem de acordo com o aumento do nível de imersão (Figura 6).

**Figura 6** – Análise da componente vertical ( $F_y$ ) no nível de imersão do quadril (linha sólida preta) e do peito (linha sólida cinza) e ântero-posterior ( $F_x$ ) no nível de imersão do quadril (linha pontilhada preta) e do peito (linha pontilhada cinza).



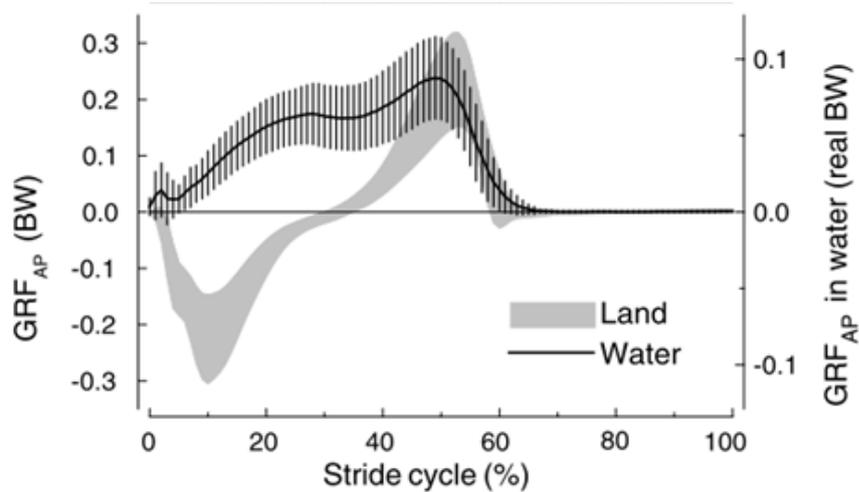
Fonte: Hauptenthal et al. (2010a)

## 2.4 COMPONENTE ÂNTERO-POSTERIOR DA MARCHA NA ÁGUA

A principal diferença entre a caminhada no ambiente aquático em relação a no solo se dá pela ausência do pico negativo (ROESLER et al., 2003) (Figura 7). O pico negativo da caminhada no solo representa a desaceleração do movimento, na caminhada na água o que desacelera o movimento é a resistência imposta pela viscosidade do fluido. Dessa forma, o participante inclina o corpo anteriormente e o membro toca o solo quando ultrapassa o eixo longitudinal, alterando a fase de apoio para realizar a propulsão, a qual demanda mais força a fim de acelerar o movimento contra a resistência do fluido (BARRETO et al., 2016; ORSELLI; DUARTE, 2011).

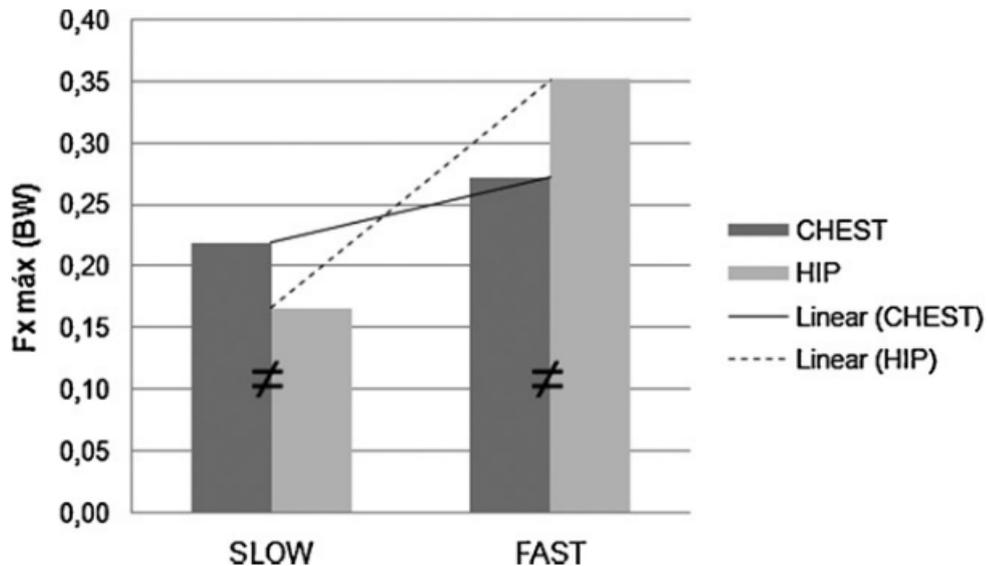
Durante a corrida o mesmo padrão de curva da caminhada é observado, no entanto a magnitude da força sofre alterações. Como a resistência ao movimento varia proporcionalmente ao quadrado da velocidade de deslocamento (HAUPENTHAL et al., 2010c), durante a corrida o aumento da velocidade implica em ainda mais resistência ao movimento, fazendo necessário que a força de propulsão aumente de acordo com a velocidade do movimento (HAUPENTHAL et al., 2013) (Figura 8).

**Figura 7** - Componente ântero-posterior (Fx) da FRS durante a caminhada na água no nível do processo xifoide.



Fonte: Adaptado de Barela et al. (2006).

**Figura 8** – Magnitude do componente ântero-posterior (Fx) da FRS durante a corrida na água no nível do peito (cinza escuro) e do quadril (cinza claro).



Fonte: Haupenthal et al. (2013)

## 2.5 COMPARAÇÃO DAS FORÇAS DA MARCHA NO SOLO E NA ÁGUA

De acordo com a Tabela 1 e 2 é possível afirmar que, apesar de as propriedades físicas do ambiente aquático levarem a uma redução da descarga de peso, há uma variação importante dessas cargas secundárias a alteração da velocidade, tipo de exercício e níveis de imersão. Por exemplo, os valores  $F_y$  podem variar de 0.22 do peso corporal (PC) para

caminhada (MIYOSHI et al., 2004) até cinco vezes mais para corrida na água (HAUPENTHAL et al., 2010c).

**Tabela 1** - Média (DP) da velocidade e pico das componentes da força de reação do solo normalizada pelo peso corporal para caminhada.

Referência	Velocidade (m.s)	Vertical	Medial	Lateral	Anterior	Posterior
(DZIUBA et al., 2015)	1.38 (0.08)	1.12 (0.03)	0.04 (0.01)	0.06 (0.01)	0.19 (0.01)	0.17 (0.01)
	2.16 (0.12)	1.47 (0.05)	0.07 (0.02)	0.08 (0.02)	0.31 (0.03)	0.33 (0.03)
(ENCARNACIÓN-MARTÍNEZ; PÉREZ-SORIANO; LLANA-BELLOCH, 2015)	1.72 (0.16)	1.45 (0.13)			0.33 (0.04)	0.31 (0.05)
	2.09 (0.19)	1.62 (0.14)			0.34 (0.05)	0.39 (0.05)
(WANG et al., 2017)	1.1	1.17 (0.44)	0.06 (0.03)		0.23 (0.06)	
	1.4	1.37 (0.42)	0.06 (0.04)		0.25 (0.05)	
	1.7	1.52 (0.53)	0.08 (0.03)		0.27 (0.07)	
(NILSSON; THORSTENSSON, 1989)	1	1.07 (0.04)	0.08 (0.01)		0.15 (0.02)	0.14 (0.04)
	1.5	1.19 (0.11)	0.11 (0.01)		0.21 (0.03)	0.19 (0.02)
	2	1.37 (0.11)	0.15 (0.02)		0.27 (0.04)	0.27 (0.03)
	2.5	1.5 (0.11)	0.17 (0.03)		0.3 (0.04)	0.32 (0.07)
(BARELA; STOLF; DUARTE, 2006)	0.5 (0.07)~ xifóide	1.03 (0.08)				
	1.39 (0.14)	1.27 (0.13)				
(GOBLE; MARINO; POTVIN, 2003)	1.21 (0.16)–1.28 (0.17)	1.1 (0.03)			0.19 (0.01)	0.19 (0.01)
	1.35 (0.18)–1.42 (0.19)	1.16 (0.03)			0.21 (0.01)	0.22 (0.01)
	1.48 (0.20)–1.56 (0.21)	1.24 (0.04)			0.24 (0.02)	0.24 (0.01)
(KUMAR et al., 2011)	lenta <sup>†</sup>	1.08 (0.04)			0.14 (0.02)	0.12 (0.02)
	normal <sup>†</sup>	1.09 (0.04)			0.15 (0.02)	0.15 (0.02)
	rápida <sup>†</sup>	1.10 (0.06)			0.17 (0.02)	0.21 (0.05)
	lenta <sup>†</sup>	1.06 (0.03)			0.16 (0.02)	0.11 (0.03)
	normal <sup>†</sup>	1.1 (0.07)			0.18 (0.02)	0.16 (0.04)
(BARELA; STOLF; DUARTE, 2006)	rápida <sup>†</sup>	1.25 (0.14)			0.2 (0.02)	0.22 (0.06)
	1.39 (0.14)	1.27 (0.13)			0.16 (0.15)	0.22 (0.08)
(HUTCHINSON et al., 2021)	auto-selecionada <sup>†</sup>	1.26 (0.12)			0.25 (0.8)	0.2 (0.06)
	auto-selecionada <sup>†</sup>	1.23 (0.10)			0.18 (0.04)	0.21 (0.04)
(VICÉN et al., 2005)	1.6 (0.02)	1.21 (0.08)			0.29 (0.03)	0.27 (0.03)
(FRYZOWICZ et al., 2018)	1.37 (0.11)	1.19 (0.07)	0.05 (0.01)	0.03 (0.01)	0.22 (0.03)	0.19 (0.03)
(MARTIN; MARSH, 1992)	-10% CP <sup>†</sup>	1.16 (0.07)				0.2 (0.03)
	-5% CP <sup>†</sup>	1.16 (0.05)				0.21 (0.03)
	1.43	1.18 (0.05)				0.23 (0.03)
	+5% CP <sup>†</sup>	1.18 (0.06)				0.24 (0.03)

	+10% CP <sup>‡</sup>	1.18 (0.07)				0.26 (0.03)
(BEGG; SPARROW; LYTHGO, 1998)	1.27	1.18 (0.07)			0.23	0.24
(SEELEY; UMBERGE R; SHAPIRO, 2008)	1.49 (0.2)	1.18 (0.03)			0.23 (0.01)	0.21 (0.01)
(RILEY et al., 2007)	1.47 (0.17) 1.4 (0.16)	1.17 (0.13) 1.1 (0.11)	0.06 (0.02) 0.03 (0.02)	0.03 (0.02) 0.04 (0.02)	0.23 (0.05) 0.2 (0.04)	0.22 (0.05) 0.17 (0.05)
(LULIĆ et al., 2008)	0.95-1.7	1.17 (0.05)	0.04	0.04	0.22	0.14
(GIAKAS; BALTZOP OULOS, 1997)	1.2 (0.03)	1.18 (0.08)		0.22 (0.02)		0.53 (0.01)
(WEARING ; URRY; SMEATHE RS, 2000)	1.34 (0.11)	1.16 (0.05)	0.05 (0.01)	0.05 (0.01)	0.2 (0.02)	0.2 (0.03)
(SIMPSON; JIANG, 1999)	1.3 (0.01)	1.16 (0.07)	0.06 (0.01)	0.03 (0.02)	0.22 (0.02)	0.18 (0.02)
(SVENSSO N; WEIDENHI ELM, 1993)	1.43 (0.21)	1.14 (0.14)	0.05 (0.02)		0.23 (0.03)	0.2 (0.03)
(HAMILL et al., 1988)	1.4 (0.07)	1.12 (0.08)		0.4 (0.05)	0.09 (0.01)	0.1 (0.01)
(SKUBICH; PISZCZAT OWSKI, 2019)	confortável <sup>‡</sup>	1.11 (0.11)	0.004 (0.02)	0.04 (0.02)	0.2 (0.05)	0.18 (0.04)
(MIYOSHI et al., 2004)	0.94 (0.15)~ axilar 0.55 (0.08)~ axilar 0.42 (0.06)~ axilar 1.42 (0.12) 1.05 (0.07) 0.59 (0.11)	0.27 (0.04) 0.25 (0.02) 0.22 (0.03) 1.09 (0.04) 1.05 (0.02) 1.01 (0.03)				
(MUNIZ; MORAES; GUIRRO, 2015)	natural <sup>‡</sup>	1.05 (0.03)			0.11 (0.02)	0.08 (0.02)
(RAZEGHI et al., 2013)	auto-selecionada <sup>‡</sup>	1.01 (0.03)	0.11 (0.01)	0.01 (0.03)	0.14 (0.03)	0.12 (0.03)
(HAUPENT HAL et al., 2019)	0.71 (0.02)~ 0.65 (0.03)~ 0.62 (0.02)~ 0.52 (0.02)~ 0.46 (0.02)~	0.79 (0.01) 0.64 (0.01) 0.48 (0.01) 0.34 (0.02) 0.26 (0.01)				0.2 (0.01) 0.2 (0.02) 0.16 (0.01) 0.12 (0.01) 0.1 (0.006)

‡, sem valores de velocidade;

~, realizados na água;

CP, do comprimento da perna em relação 1.43 m.s.

**Tabela 2** – Média (DP) da velocidade e pico das componentes da força de reação do solo normalizada pelo peso corporal para corrida.

Referência	Velocidade (m.s)	Vertical	Medial	Lateral	Anterior	Posterior
(KUITUNE N; KOMI; KYRÖLÄI NEN, 2002)	9.73 (0.19)	3.63 (0.25)			0.68	1.37
	8.84 (0.17)	3.65 (0.25)			0.63	1.2
	7.83 (0.15)	3.59 (0.25)			0.62	0.99
	7 (0.14)	3.41 (0.25)			0.57	0.86
(KORHON EN et al., 2010)	9.50 (0.42) dominante	3.34 (0.25)			0.74 (0.09)	1.42 (0.17)
	9.50 (0.42) não- dominante	3.35 (0.26)			0.73 (0.08)	1.43 (0.24)
(WILLIAM S; CAVANAG H; ZIFF, 1987)	5.36 (0.1)	3.29 (0.25)	0.32 (0.09)	0.26 (0.06)	0.62 (0.58)	0.79 (0.1)
(RILEY et al., 2008)	3.84 (0.64)	2.63 (0.45)		0.11 (0.05)		0.37 (0.11)
	3.8 (0.61)	2.94 (0.21)		0.08 (0.02)		0.3 (0.04)
(GIRARD et al., 2013)	5.12 (0.41)	2.88 (0.11)			0.43 (0.02)	0.64 (0.06)
(CROSSLE Y et al., 1999)	4 (0.4)	2.85 (0.18)				0.49 (0.1)
(MUNRO; MILLER; FUGLEVA ND, 1987)	5	2.83 (0.17)			0.25 (0.02)	0.25 (0.03)
	4.75	2.81 (0.18)			0.24 (0.02)	0.25 (0.03)
	4.5	2.79 (0.18)			0.23 (0.02)	0.24 (0.02)
	4.25	2.76 (0.17)			0.21 (0.02)	0.23 (0.02)
	4	2.72 (0.17)			0.2 (0.01)	0.21 (0.02)
	3.75	6.67 (0.16)			0.19 (0.01)	0.2 (0.02)
	3.5	2.62 (0.16)			0.17 (0.01)	0.18 (0.02)
	3.25	2.56 (0.17)			0.16 (0.01)	0.17 (0.03)
3	2.51 (0.21)			0.14 (0.01)	0.15 (0.05)	
(CAVANA GH; LAFORTU NE, 1980)	4.12-4.87	2.8 (0.3)	0.12 (0.13)		0.43 (0.05)	0.43 (0.05)
(FREYCHA T et al., 1996)	3.97 (0.1)	2.73 (0.22)	0.08 (0.05)	0.13 (0.06)	0.38 (0.04)	0.45 (0.06)
(DIVERT et al., 2005)	3.3 calçado	2.48 (0.03)			0.27 (0.004)	0.34 (0.005)
	3.3 descalço	2.37 (0.03)			0.31 (0.004)	0.35 (0.005)
(DUFFEY et al., 2000)	3.35 (0.11)	2.47 (0.02)	0.09 (0.007)	0.09 (0.005)	0.3 (0.006)	0.38 (0.008)
(VICÉN et al., 2005)	3.04 (0.06)	2.41 (0.21)			0.3 (0.04)	0.33 (0.04)
(MORIN et al., 2015)	6.63 (0.61)	1.73 (0.13)			0.27 (0.32)	
(SCHOLTE N et al., 2002)	3 (0.15)	1.72 (0.28)			0.42 (0.07)	
(HAUPENT HAL et al., 2010c)	0.6 (0.06) crista ilíaca~	0.89 (0.08)			0.18 (0.03)	0.02 (0.02)
	0.7-0.95 crista ilíaca~	1.02 (0.1)			0.32 (0.05)	0.02 (0.02)
	0.78-1.11 crista ilíaca~	1.13 (0.09)			0.38 (0.05)	0.02 (0.02)
	0.6 (0.06) xifóide~	0.87 (0.08)			0.24 (0.05)	0.02 (0.02)
	0.7-0.95 xifóide~	0.87 (0.09)			0.26 (0.05)	0.02 (0.02)
0.78-1.11 xifóide~	0.97 (0.13)			0.3 (0.05)	0.02 (0.02)	

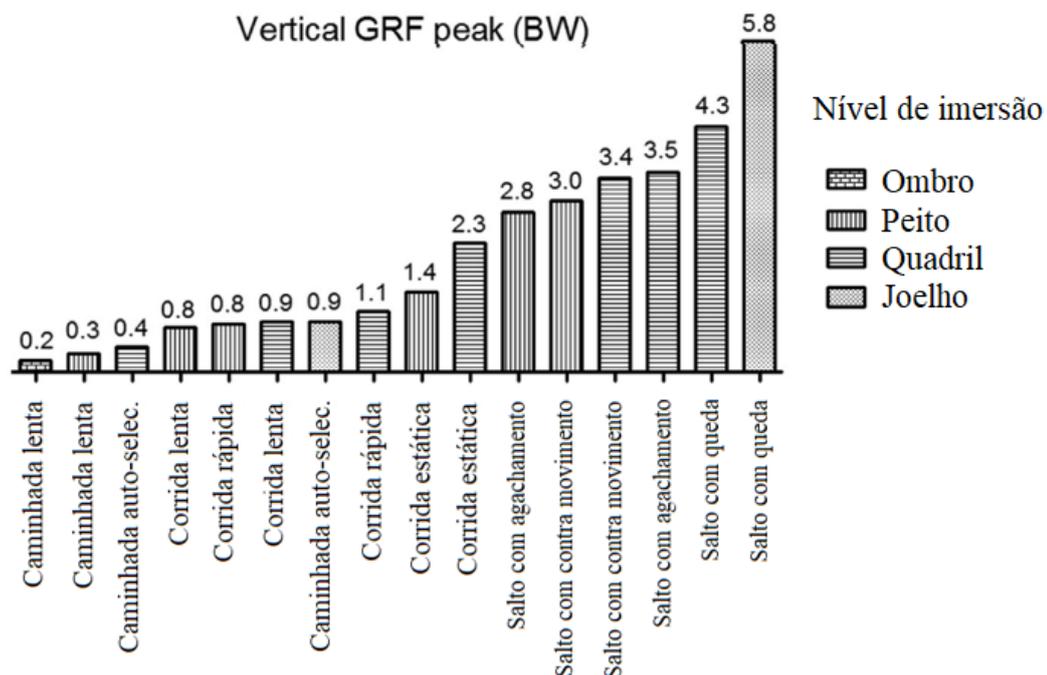
(ALBERTO N et al., 2017)	164 (17) <sup>#</sup>	NA	0.09 (0.03)	0.25 (0.06)	0.1 (0.02)	0.16 (0.06)
	164 (17) <sup>#~</sup>	NA	0.02 (0.01)	0.12 (0.02)	0.07 (0.01)	0.06 (0.02)

~, realizados na água;

#, frequência em média (desvio padrão) passos/minuto.

O estudo do exercício no ambiente aquático vai além da caminhada e da corrida, na Figura 9 é demonstrado a  $F_y$  em relação a outros tipos de exercícios explorados na literatura. Com base na Figura 9, é possível concluir que a descarga de peso no ambiente aquático varia ainda dependendo do tipo de exercício, além da velocidade e do nível de imersão, podendo apresentar valores de carga superior inclusive aos encontrados para a corrida no solo. Diante desta revisão, se torna evidente que o treino no ambiente aquático pode ser utilizado como uma ferramenta válida no início da reabilitação, porém suas características devem ser selecionadas com embasamento para que a carga que o participante é submetido seja adequada.

**Figura 9** – Variação da componente vertical ( $F_y$ ) em diferentes exercícios na água.



Fonte: Adaptado de de Brito Fontana et al. (2018).

### 3 MÉTODOS

Neste estudo, outra análise é proposta a dados previamente coletados com o objetivo de desenvolver um modelo para estimar a FRS na caminhada e corrida em ambiente aquático (HAUPENTHAL, 2013; HAUPENTHAL et al., 2019).

### 3.1 DESENHO DO ESTUDO

Este é um estudo experimental randomizado, controlado em laboratório.

### 3.2 PARTICIPANTES

O processo de amostragem pode ser caracterizado como intencional, devido à necessidade de adaptação dos participantes ao meio líquido para a realização dos movimentos dentro da água. O recrutamento dos participantes se deu por meio de cartazes no Centro de Ciências da Saúde e de contato direto com as pessoas que frequentavam o mesmo. Os participantes eram adultos saudáveis que concordaram em participar do estudo, sem lesão musculoesquelética nos últimos seis meses, estatura entre 1,60 e 1,95 m, adaptados ao meio líquido e com índice de massa corporal (IMC) normal. Consideremos adaptado ao meio líquido o participante capaz de equilibrar-se, flutuar, mergulhar e realizar deslocamentos dentro da água. Foram excluídos os participantes que relataram dor ou qualquer queixa de comprometimento musculoesquelético durante o primeiro contato/entrevista e no dia da coleta de dados, e aqueles que não conseguiram manter um padrão estável de caminhada ou corrida dentro da água após a familiarização. Por padrão estável entende-se que o participante consiga realizar o movimento sem desequilibrar, sem o auxílio dos membros superiores (“remando” ou se apoiando na água para propulsão) e sem olhar para baixo.

#### 3.2.1 Aspectos éticos

Este estudo foi fundamentado nos princípios éticos, com base na Resolução nº 466 de 12 de dezembro de 2012, do Conselho Nacional de Saúde, o qual incorpora sob a ótica do participante e das coletividades, os quatro referenciais básicos da bioética: autonomia, não maleficência, beneficência e justiça, entre outros, visando assegurar os direitos e deveres que dizem respeito à comunidade científica, aos participantes da pesquisa e ao Estado. Esta

pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisas com Seres Humanos da UDESC sob o protocolo nº 52/2008 (Anexo A). Os participantes foram informados dos procedimentos da coleta de dados e receberam o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Anexo B). Após concordarem em participar do estudo, mediante assinatura do termo, foi então agendada a data de realização da coleta de dados.

### **3.2.2 Tamanho da amostra**

O cálculo do tamanho da amostra foi realizado com o software G\*Power Versão 3.1.9.2 (ERDFELDER et al., 2009; FAUL et al., 2007). Para tal, o tamanho da amostra foi determinado usando uma análise a priori com a família do teste F para cada um dos fatores (Fy, Fx e respectivos impulsos) e interações estudadas (medidas repetidas intra e entre participantes e para medidas repetidas com interação entre os participantes), considerando um poder de 80%, alfa de 5% e cinco grupos com seis medidas. Como os dados já haviam sido coletados previamente, cinco sujeitos que respeitassem os critérios de inclusão foram sorteados aleatoriamente para cada grupo a fim de obter os valores de correlação para as medidas repetidas, de Epsilon (obtido através de matriz de correlação e do teste de esfericidade de Mauchly) e do tamanho de efeito f. Com base nos cálculos, o tamanho de amostra mínimo que contemplasse todos os testes seria de 45 participantes, mas 50 foram incluídos para garantir o mesmo número de participantes por sexo em cada grupo.

### **3.3 VARIÁVEIS**

As variáveis principais deste estudo foram a Fy e a Fx e seus respectivos impulsos. As forças foram mensuradas através de uma plataforma de força subaquática e expressadas em unidades do peso corporal (PC) medido fora da água, um adimensional calculado a partir da divisão da força em N pelo peso corporal em N dos participantes. Os impulsos foram obtidos pelo cálculo da integral das curvas de cada componente da força em função do tempo de contato e expressado em PC.s. A força médio-lateral foi excluída da análise devido à alta variabilidade dos dados e ausência de um padrão estabelecido (BARRETO et al., 2016).

### 3.4 INSTRUMENTOS

Para a medição da FRS foi utilizada uma plataforma confeccionada com extensômetros de resistência elétrica, com dimensões de 0,4 m de largura, 0,4 m de comprimento e 0,1 m de altura, carga máxima/sensibilidade de 4000/2 N, frequência natural de 300 Hz e erro menor que 1 % (CARNEIRO et al., 2012; DE BRITO FONTANA et al., 2012; HAUPENTHAL et al., 2013). A plataforma foi posicionada a cinco metros do início e a três metros do final de uma passarela, ambas foram cobertas com piso antiderrapante e posicionadas no fundo de uma piscina semiolímpica térmica ( $28 \pm 2$  °C) em cinco profundidades distintas de imersão: 0,75, 0,90, 1,05, 1,20, e 1,35 m, que variaram por dia de coleta. Como o fundo da piscina possui inclinação de  $2,2 \pm 0,2$  graus, foram utilizados calços abaixo da plataforma e da passarela e a bomba da piscina foi desligada durante os experimentos a fim de minimizar turbulência na água.

Para medição e controle da velocidade da caminhada foi utilizado um sistema composto por um emissor de laser e foto resistores, o qual foi analisado comparativamente ao Speed Test (modelo 6,0, marca CEFISE, Centro de Estudos da Fisiologia do Esporte, São Paulo), a fim de avaliar sua efetividade e obteve um coeficiente de correlação intraclassa (ICC3,1) de 0,98 (0,96 – 0,9) estimado a partir de um modelo misto, consistência e medida simples. As medições de velocidade e de FRS foram realizadas através de um sistema de aquisição de dados que incluiu um condicionador e conversor A/D e um software de análise de sinal (ADS2000-IP AqDados 7,02, Lynx Tecnologia Eletrônica, São Paulo, Brasil). Todos os dados foram adquiridos a 1000 Hz.

### 3.5 PROCEDIMENTOS

A coleta foi realizada em um laboratório da UDESC. De acordo com as recomendações de Petroski (2003) (PETROSKI, 2003) e da ISAK (2011) (STEWART; MARFELL-JONES, 2011), inicialmente as medidas antropométricas (massa, estatura, circunferências e altura do solo até a profundidade de imersão) foram obtidas com os participantes trajando roupa de banho, utilizando uma balança digital com resolução de 0,1 kg (MEA-08128; Plenna Especialidades LTDA, São Paulo, Brasil), um estadiômetro com resolução de 0,01 m (Sanny American Medical do Brasil LTDA, São Bernardo do Campo,

Brasil) e uma fita métrica com resolução de 0,001 m (Sanny American Medical do Brasil LTDA, São Bernardo do Campo, Brasil).

Após entrar na piscina descalço, o participante tomou o tempo necessário para a familiarização com o ambiente e o equipamento (de 10 a 15 minutos). A coleta de dados teve início quando o participante manteve um padrão de movimento constante e seguro, com velocidade dentro da variação proposta como alvo para as execuções e orientação de realizar o movimento com mínima variação possível dessa velocidade. Foi dado aos participantes a seguinte instrução: “Caminhe/corra, sem utilizar os braços para remar ou auxiliar sua propulsão”. Cada tentativa foi realizada com um intervalo de três minutos e ao todo seis combinações foram coletadas por participante. Foram consideradas válidas as tentativas que o participante realizou contato com somente um dos pés na plataforma de força e manteve uma variação igual ou inferior a 10 % da velocidade alvo.

O movimento de caminhada foi verificado pela presença da fase de duplo apoio e o de corrida pela presença da fase de voo ou a ausência do duplo apoio. A caminhada e a corrida foram executadas dentro de três classificações de velocidade: lenta, média e rápida. Foi considerado para a caminhada dentro da água a velocidade de até 0,3 m.s como lenta, de 0,3 a 0,5 como média e de 0,5 a 0,8 m.s como rápida. Para a corrida subaquática foram caracterizadas as faixas de até 0,8 m.s como lenta, de 0,8 a 1,0 m.s como média e acima de 1,0 m.s como rápida. As velocidades foram embasadas em dados de estudos previamente realizados no mesmo laboratório (BRITO et al., 2000; HAUPENTHAL et al., 2010b; ROESLER et al., 2006) e do estudo de Chevutschi et al. (2009) (CHEVUTSCHI et al., 2009).

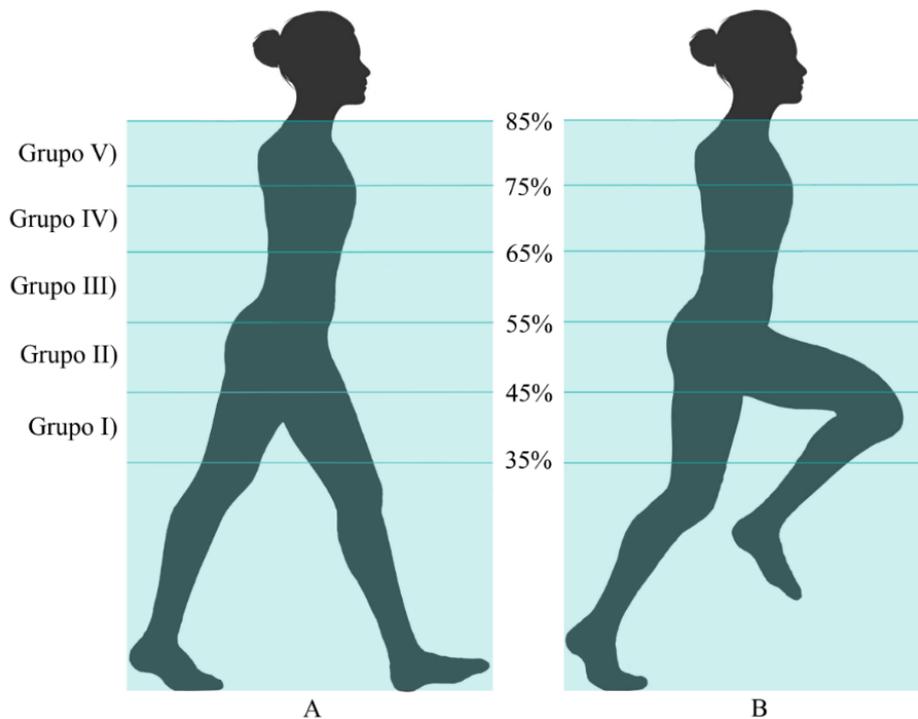
### 3.6 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Após a aquisição, os dados foram exportados através do software AqDAnalysis 7.0.14 (Lynx Tecnologia Eletrônica LTDA) e tratados no software livre Scilab (modelo 4.1.2, marca Institut Nationale de Recherche en Informatique et en Automatique – INRIA, Ecole Nationale des Ponts et Chauss – ENPC). Foi utilizado uma rotina de programação para a análise dos dados: (1) correção do zero (offset), (2) aplicação do coeficiente de calibração, (3) filtragem (filtro passa baixa tipo Butterworth, ordem 3 na frequência de corte 20 Hz, frequência determinada a partir da análise da densidade espectral de potência do sinal onde foi verificado que 99 % do sinal estava contido abaixo dessa frequência), (4) normalização, que consiste na divisão das curvas de força pelo peso corporal do participante medido fora da

água, (5) aquisição do pico das componentes  $F_y$  e  $F_x$ , (6) cálculo da integral das forças, (7) cálculo dos valores médios de cada participante e (8) exportação dos valores médios de cada participante.

Como a profundidade do corpo imerso depende da estatura individual, foi calculado uma razão de imersão obtida através da razão entre a profundidade da água (m) e a estatura (m) do participante, resultando em um percentual de corpo imerso relativizado. Assim, os participantes foram distribuídos em cinco grupos, os quais variaram em intervalos de 10%, de 35 a 85 % do corpo imerso: grupo I) 35 a 45 %, grupo II) 45 a 55 %, grupo III) 55 a 65%, grupo IV) 65 a 75% e grupo V) 75 a 85% (Figura 10).

**Figura 10** - Representação dos cinco grupos e respectivos níveis de imersão em porcentagem para caminhada (A) e corrida (B) na água.



Fonte: Próprio autor.

### 3.7 RANDOMIZAÇÃO E CEGAMENTO

Um pesquisador (HR) randomizou previamente através do Randomization.com, disponível no sítio: <http://www.randomization.com>, a sequência de movimentos (caminhada e corrida) e a ordem de velocidades a serem realizados. Os resultados da alocação foram

armazenados em envelopes opacos, selados e sequencialmente numerados, os quais foram colocados previamente no laboratório e abertos somente na presença dos participantes. Os participantes foram recrutados por um segundo pesquisador (MH) e o experimento foi conduzido por um terceiro pesquisador (AH) que codificou os dados.

Os 50 participantes necessários foram sorteados dos 142 participantes coletados inicialmente por Haupenthal et al. (2013, 2019) (HAUPENTHAL, 2013; HAUPENTHAL et al., 2019) a partir de uma randomização em bloco realizada pelo pesquisador (IB). Os tamanhos dos blocos foram determinados pelo número de participantes previamente alocados em cada um dos níveis de imersão, e os participantes foram estratificados pelo sexo; por tanto, cinco participantes de cada sexo foram alocados em cada um dos cinco níveis de imersão. A randomização foi realizada pelo Sealed Envelope Ltd. 2020. Simple randomisation service. [Online] disponível no sítio: <https://www.sealedenvelope.com/simple-randomiser/v1/>. O tratamento estatístico realizado de forma cega por outro pesquisador (IB).

### 3.8 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

A fim de analisar a interação entre as variáveis de medida repetidas: velocidade (três níveis: lenta, média e rápida) e tipo de exercício (dois níveis: caminhada e corrida) com a variável entre grupos: nível de imersão (cinco níveis: I 35 a 45 %, II 45 a 55 %, III 55 a 65%, IV 65 a 75% e V 75 a 85%) foi realizada uma análise de variância (ANOVA) mista de três fatores. Inicialmente uma análise exploratória foi conduzida e as variáveis que não apresentaram distribuição normal dos dados e variância iguais por grupos, distribuição normal dos resíduos ou variâncias iguais dos resíduos, tiveram seus dados submetidos as transformações de Box-Cox, raiz quadrada e logarítmica para análise da qual melhor contemplaria os requisitos do teste paramétrico. Após realizada a transformação, os valores de média e desvio padrão foram computados e o teste aplicado, quando a suposição de esfericidade foi violada, a correção de Greenhouse–Geisser (GG) foi aplicada. Quando o teste detectou diferença estatisticamente significativa, foi realizado a análise post-hoc dos contratos com correção de Bonferroni para comparações específicas. Uma significância estatística menor que 5 % ( $p < 0,05$ ) foi adotada para todos os testes. O tamanho de efeito foi calculado através do eta quadrado parcial ( $\eta^2$ ), e os valores 0,01, 0,06, e 0,14 foram considerados como pequeno, médio e grande, respectivamente (RICHARDSON, 2011).

## 4 RESULTADOS

Cinquenta participantes (25 mulheres) foram incluídos na análise. A idade média (desvio padrão) foi de 22,9 (5) anos, massa corporal de 64,1 (8,8) kg e altura de 1,71 (0,08) m, os dados dos participantes de acordo com os níveis de imersão estão na Tabela 3.

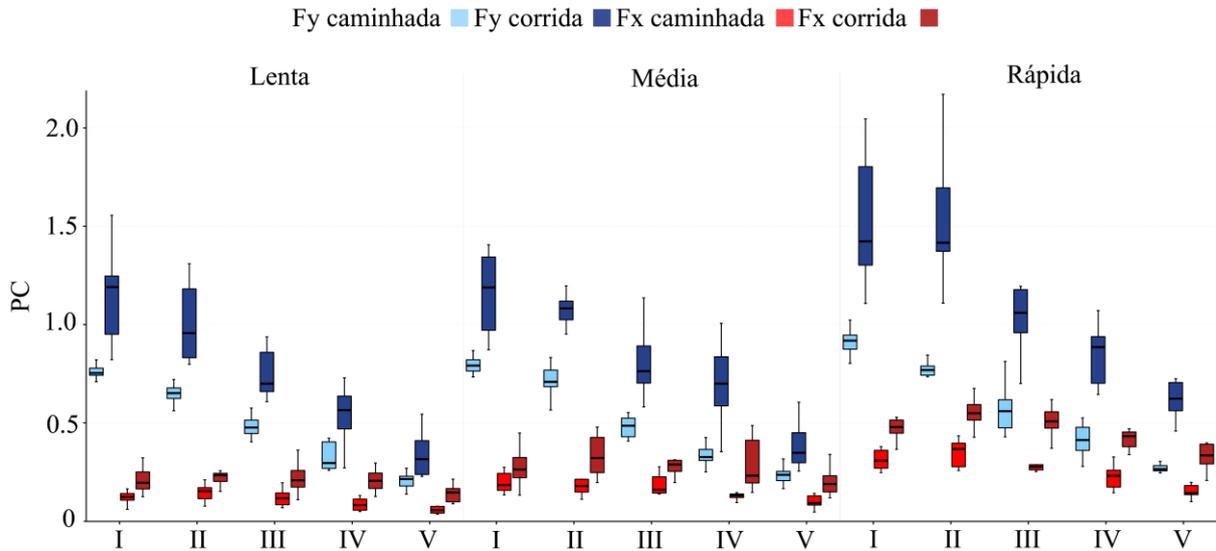
**Tabela 3** - Características dos participantes em média (desvio padrão) de acordo com os níveis de imersão (I-V)

Razão de imersão	IMC	Circunferência cintura (cm)	Circunferência quadril (cm)	Circunferência coxa (cm)
I) 35-45 % <sup>#</sup>	21,66 (1,42)	78,95 (5,16)	95,90 (3,09)	51,70 (1,61)
II) 45-55 % <sup>#</sup>	21,31 (1,32)	76,75 (4,15)	95,10 (4,28)	50,05 (3,02)
III) 55-65 % <sup>#</sup>	22,24 (1,55)	79,30 (5,47)	96,85 (3,61)	48,85 (3,76)
IV) 65-75 % <sup>#</sup>	22,05 (1,66)	80,20 (6,72)	100,05 (4,82)	51,20 (2,85)
V) 75-85 % <sup>#</sup>	21,63 (1,47)	75,65 (5,97)	96,45 (5,81)	48,70 (3,12)

# n=10.

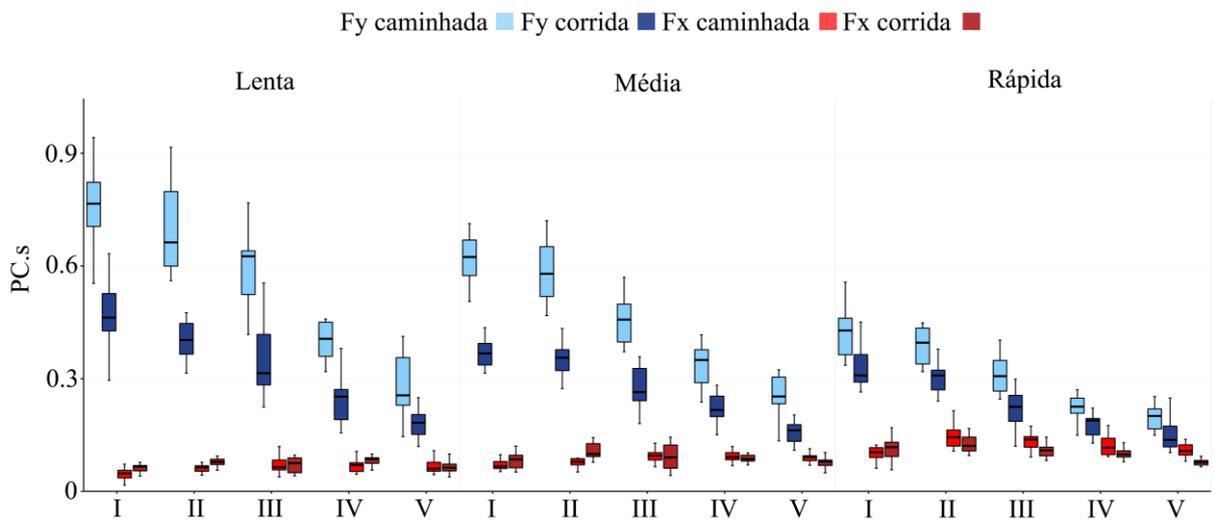
A distribuição dos dados para as componentes Fy e Fx pode ser observada na Figura 11 e seus respectivos impulsos na Figura 12, os valores estão tabulados no Apêndice A - Tabelas 1 a 4. A distribuição dos valores e dos resíduos de Fy e Fx pico não apresentaram normalidade; dessa forma, foi realizada transformação logarítmica na potência de 10, e como as variáveis incluíam valores menores que um, esses foram acrescidos de uma constante (no valor de um) previamente a transformação.

**Figura 11** - Distribuição dos dados sem transformação logarítmica para as componentes vertical (Fy) e ântero-posterior (Fx) em unidade de peso corporal (PC) para os diferentes níveis de imersão I) 35 a 45 %, II) 45 a 55 %, III) 55 a 65%, IV) 65 a 75% e V) 75 a 85% durante a caminhada e corrida na água.



Fonte: Próprio autor.

**Figura 12** - Distribuição dos dados para o impulso das componentes vertical (Fy) e ântero-posterior (Fx) em unidade de peso corporal (PC.s) para os diferentes níveis de imersão I) 35 a 45 %, II) 45 a 55 %, III) 55 a 65%, IV) 65 a 75% e V) 75 a 85% durante a caminhada e corrida na água.



Fonte: Próprio autor.

#### 4.1 ANOVA MISTA DE TRÊS FATORES

A ANOVA mista de três fatores não demonstrou interação entre o nível de imersão, tipo de exercício e velocidade para Fy ( $F[8,90] = 0,769$ ,  $p[GG] = 0,162$ ,  $np^2 = 0.063$ ), para Fx

( $F[8,90] = 0,633$ ,  $p[GG] = 0,135$ ,  $np^2 = 0,053$ ), para o impulso de  $F_y$  ( $F[8,90] = 1,469$ ,  $p = 0,557$ ,  $np^2 = 0,115$ ) e também de  $F_x$  ( $F[8,90] = 1,622$ ,  $p[GG] = 0,664$ ,  $np^2 = 0,126$ ), apêndice B – Figuras 1 a 4. Sugerindo que a interação entre os tipos de exercícios e velocidades não variam em relação aos níveis de imersão para  $F_y$ ,  $F_x$  e seus respectivos impulsos.

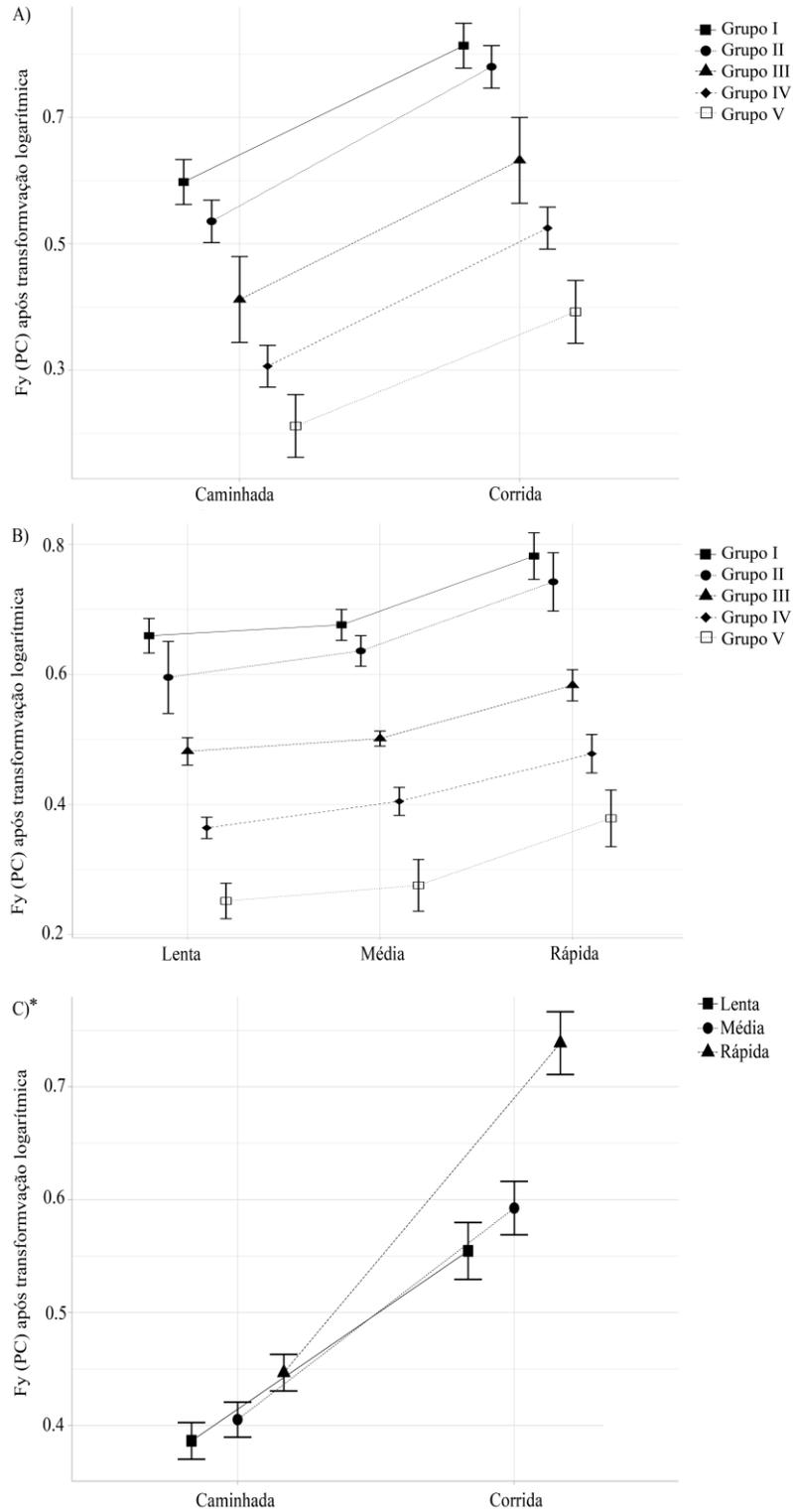
## 4.2 ANOVA MISTA DE DOIS FATORES

### 4.2.1 Componente vertical ( $F_y$ )

A ANOVA mista de dois fatores não demonstrou interação entre o nível de imersão e o tipo de exercício ( $F[4,45] = 0,629$ ,  $p = 0,155$ ,  $np^2 = 0,053$ , Figura 13A), e entre o nível de imersão e a velocidade ( $F[8,90] = 0,549$ ,  $p[GG] = 0,125$ ,  $np^2 = 0,046$ , Figura 13B). No entanto, foi possível observar uma interação estatisticamente significativa entre o tipo de exercício e a velocidade ( $F[2,90] = 25,230$ ,  $p[GG] = 0,001$ ,  $np^2 = 0,359$ , Figura 13C), indicando que o comportamento de  $F_y$  para caminhada e corrida depende da velocidade que o exercício é realizado. Com base na Figura 13C, é possível afirmar que em relação as outras velocidades, a rápida aumentou em maior magnitude os valores de  $F_y$  quando a corrida foi realizada. A análise post-hoc dos contrastes demonstrou que, desconsiderando o nível de imersão, não houve diferença estatisticamente significativa nos valores de  $F_y$  somente entre a corrida lenta 0,59 (0,19) e corrida média 0,55 (0,18) ( $t[45] = -2,730$ ,  $p = 0,135$ ).

**Figura 13** - Média e erro padrão da componente vertical ( $F_y$ ) para A) o tipo de exercício (caminhada e corrida) em função dos níveis de imersão (I 35 a 45 %, II 45 a 55 %, III 55 a 65%, IV 65 a 75% e V 75 a 85%), B) das velocidades (lenta, média e rápida) em função dos níveis de imersão (I 35 a 45 %, II 45 a 55 %, III 55 a 65%, IV 65 a 75% e V 75 a 85%) e C) do tipo de exercício (caminhada e corrida) em função das velocidades (lenta, média e rápida).

\* Representa interação significativa ( $p < 0,05$ ) entre os fatores.



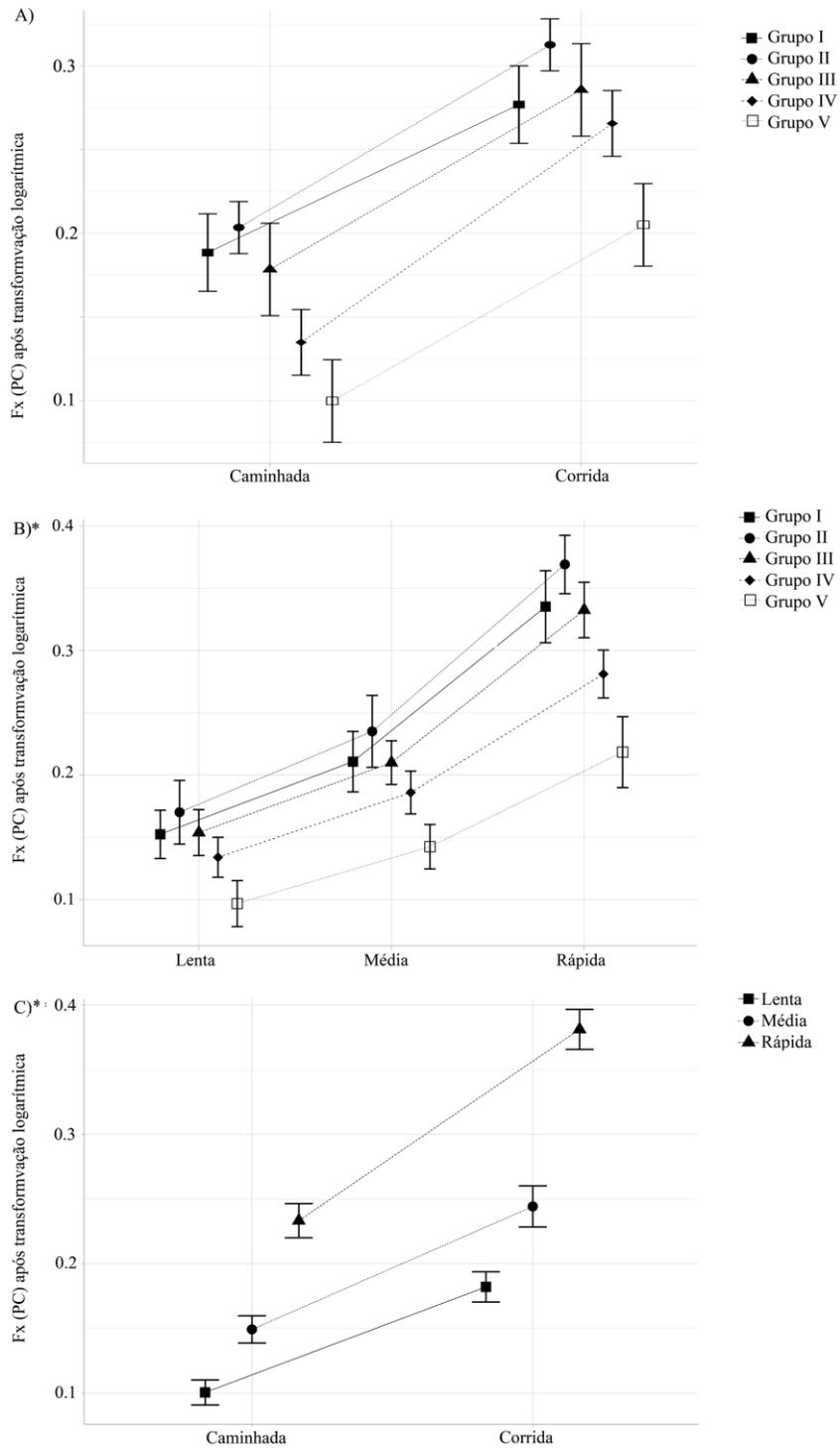
Fonte: Próprio autor.

## 4.2.2 Componente horizontal (Fx)

A ANOVA mista de dois fatores não demonstrou interação entre o nível de imersão e o tipo de exercício ( $F[4,45] = 0,152$ ,  $p = 0,289$ ,  $np^2 = 0,092$ , Figura 14A). Foi possível observar interação estatisticamente significativa entre o nível de imersão e a velocidade ( $F[8,90] = 2,767$ ,  $p = 0,001$ ,  $np^2 = 0,197$ , Figura 14B), indicando que os valores de Fx nos diferentes níveis de imersão dependem da velocidade que o exercício é realizado; e entre o tipo de exercício e a velocidade ( $F[2,90] = 19,721$ ,  $p < 0,001$ ,  $np^2 = 0,304$ , Figura 14C), indicando que os valores de Fx para caminhada e corrida também dependem da velocidade.

Com base na Figura 14B é possível observar que os valores de Fx aumentam em maior magnitude para os grupos I, II e III à medida que a velocidade do exercício aumenta. Os contrastes entre os níveis de imersão e velocidades que não apresentaram diferenças estão na tabela 4. Já a Figura 14C demonstra que em relação as outras velocidades, a rápida aumentou em maior magnitude os valores de Fx quando a corrida foi realizada. A análise post-hoc dos contrastes entre o tipo de exercício e a velocidade demonstrou que não houve diferença estatisticamente significativa nos valores médios de Fx somente entre a corrida na velocidade média 0,24 (0,08) e a caminhada rápida 0,10 (0,04) ( $t[45] = 0,967$ ,  $p = 1,000$ ).

**Figura 14** - Média e erro padrão da componente ântero-posterior (Fx) para A) o tipo de exercício (caminhada e corrida) em função dos níveis de imersão (I 35 a 45 %, II 45 a 55 %, III 55 a 65%, IV 65 a 75% e V 75 a 85%), B) das velocidades (lenta, média e rápida) em função dos níveis de imersão (I 35 a 45 %, II 45 a 55 %, III 55 a 65%, IV 65 a 75% e V 75 a 85%) e C) do tipo de exercício (caminhada e corrida) em função das velocidades (lenta, média e rápida). \* Representa interação significativa ( $p < 0,05$ ) entre os fatores.



Fonte: Próprio autor.

**Tabela 4** - Post-hoc dos contrastes para as médias (desvio padrão) da componente ântero-posterior (Fx) após transformação logarítmica entre os cinco níveis de imersão (I-V) e as velocidades lenta média e rápida.

	I) 35 a 45 %	II) 45 a 55 %	III) 55 a 65%	IV) 65 a 75%	V) 75 a 85%
<b>Lenta</b>	0,15 (0,05) a	0,17 (0,05) a,b	0,15 (0,06) a,b,c	0,13 (0,06) a,b,c,d	0,09 (0,04) a,c,d
<b>Média</b>	0,21 (0,06) e	0,23 (0,08) e,f	0,20 (0,06) e,f,a,b	0,18 (0,09) e,f,g,a,b,c	0,14 (0,07) e,g,a,b,c,d
<b>Rápida</b>	0,33 (0,08) h	0,36 (0,09) h,i	0,33 (0,09) h,i,j	0,28 (0,09) e,f,g,j	0,21 (0,09) e,f,g,b

As mesmas letras representam os contrastes que não apresentaram diferença estatisticamente significativa ( $p > 0.05$ ).

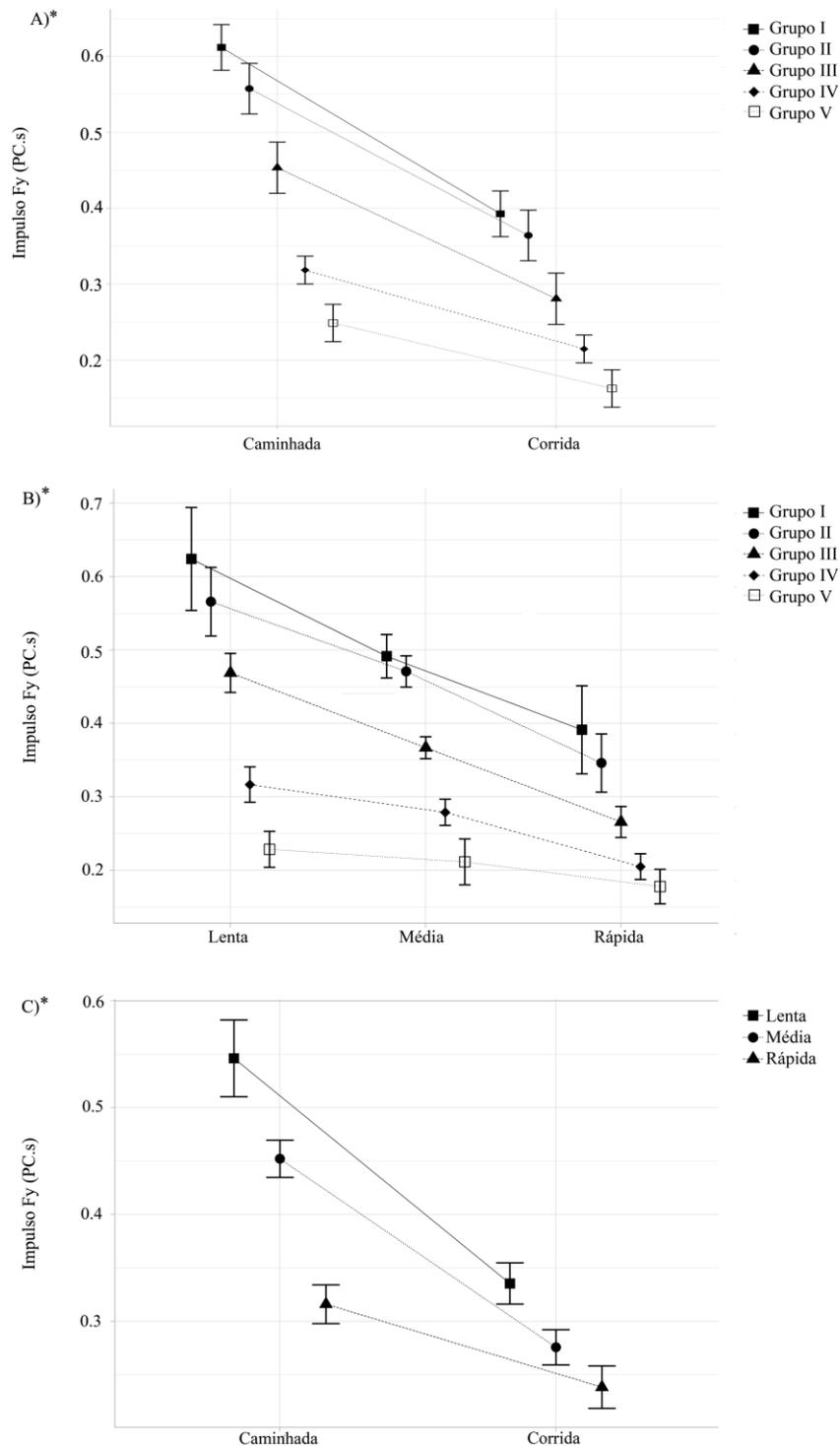
### 4.2.3 Impulso da componente vertical (Fy)

A ANOVA mista de dois fatores demonstrou interação estatisticamente significativa entre o tipo de exercício e o nível de imersão ( $F[4,45] = 10,317$ ,  $p < 0,001$ ,  $np^2 = 0,478$ , Figura 15A), entre a velocidade e o nível de imersão ( $F[8,90] = 6,804$ ,  $p[GG] < 0,001$ ,  $np^2 = 0,376$ , Figura 15B) e também entre o tipo de exercício e a velocidade que foi realizado ( $F[2,90] = 30,978$ ,  $p[GG] < 0,001$ ,  $np^2 = 0,407$ , Figura 15C). Indicando que os valores do impulso de Fy para caminhada e corrida dependem da velocidade e do nível de imersão, quando analisados separadamente. E ainda que independente do tipo de exercício, os valores do impulso de Fy nos diferentes níveis de imersão dependem da velocidade.

Com base na Figura 15A é possível observar uma redução mais expressiva para a corrida à medida que o nível de imersão diminui. Já a Figura 15B demonstra uma redução mais considerável para os menores níveis de imersão com o aumento da velocidade. Os contrastes entre os níveis de imersão, velocidades e tipo de exercício que não apresentaram diferenças estão disponíveis na Tabela 5. Por fim, na Figura 15C é possível observar que quando a corrida é realizada, os valores do impulso de Fy reduzem mais expressivamente para as velocidades lenta e média em relação a caminhada. A análise post-hoc dos contrastes demonstrou que não houve diferença estatisticamente significativa nos valores médios do impulso de Fy entre a corrida lenta 0,33 (0,14) e a caminhada rápida 0,13 (0,11) ( $t[45] = 1,490$ ,  $p = 1,000$ ).

**Figura 15** - Média e erro padrão do impulso da componente vertical (Fy) para A) o tipo de exercício (caminhada e corrida) em função dos níveis de imersão (I 35 a 45 %, II 45 a 55 %, III 55 a 65%, IV 65 a 75% e V 75 a 85%), B) das velocidades (lenta, média e rápida) em função dos níveis de imersão (I 35 a 45 %, II 45 a 55 %, III 55 a 65%, IV 65 a 75% e V 75 a

85%) e C) do tipo de exercício (caminhada e corrida) em função das velocidades (lenta, média e rápida). \* Representa interação significativa ( $p < 0.05$ ) entre os fatores.



Fonte: Próprio autor.

**Tabela 5** - Pos-hoc dos contrastes para as médias (desvio padrão) do impulso da componente vertical ( $F_y$ ) entre os cinco níveis de imersão (I-V) e as velocidades lenta média e rápida, e entre os exercícios.

	I) 35 a 45 %	II) 45 a 55 %	III) 55 a 65%	IV) 65 a 75%	V) 75 a 85%
<b>Lenta</b>	0,62 (0,20) a	0,56 (0,18) a,b	0,46 (0,16) c	0,31 (0,10) d	0,21 (0,08) e
<b>Média</b>	0,49 (0,13) b,f	0,47 (0,13) f,g	0,36 (0,11) d,h	0,27 (0,07) d,e,i	0,19 (0,06) d,e,j
<b>Rápida</b>	0,39 (0,10) c,d,e,g,h,k	0,34 (0,06) d,e,h,i,k,l	0,26 (0,06) d,e,i,j,l,m,	0,20 (0,04) e,j,m,n	0,18 (0,06) e,j,n
<b>Caminhada</b>	0,61 (0,18) A	0,55 (0,15) A	0,45 (0,13) B	0,31 (0,09) C	0,23 (0,07) D
<b>Corrida</b>	0,39 (0,09) B,C,E	0,36 (0,09) C,E	0,28 (0,08) C,D,F	0,21 (0,05) D,F	0,15 (0,03) C

As mesmas letras minúsculas representam os contrastes que não apresentaram diferença estatisticamente significativa ( $p > 0.05$ ) entre as velocidades, enquanto as mesmas letras maiúsculas entre os tipos de exercício.

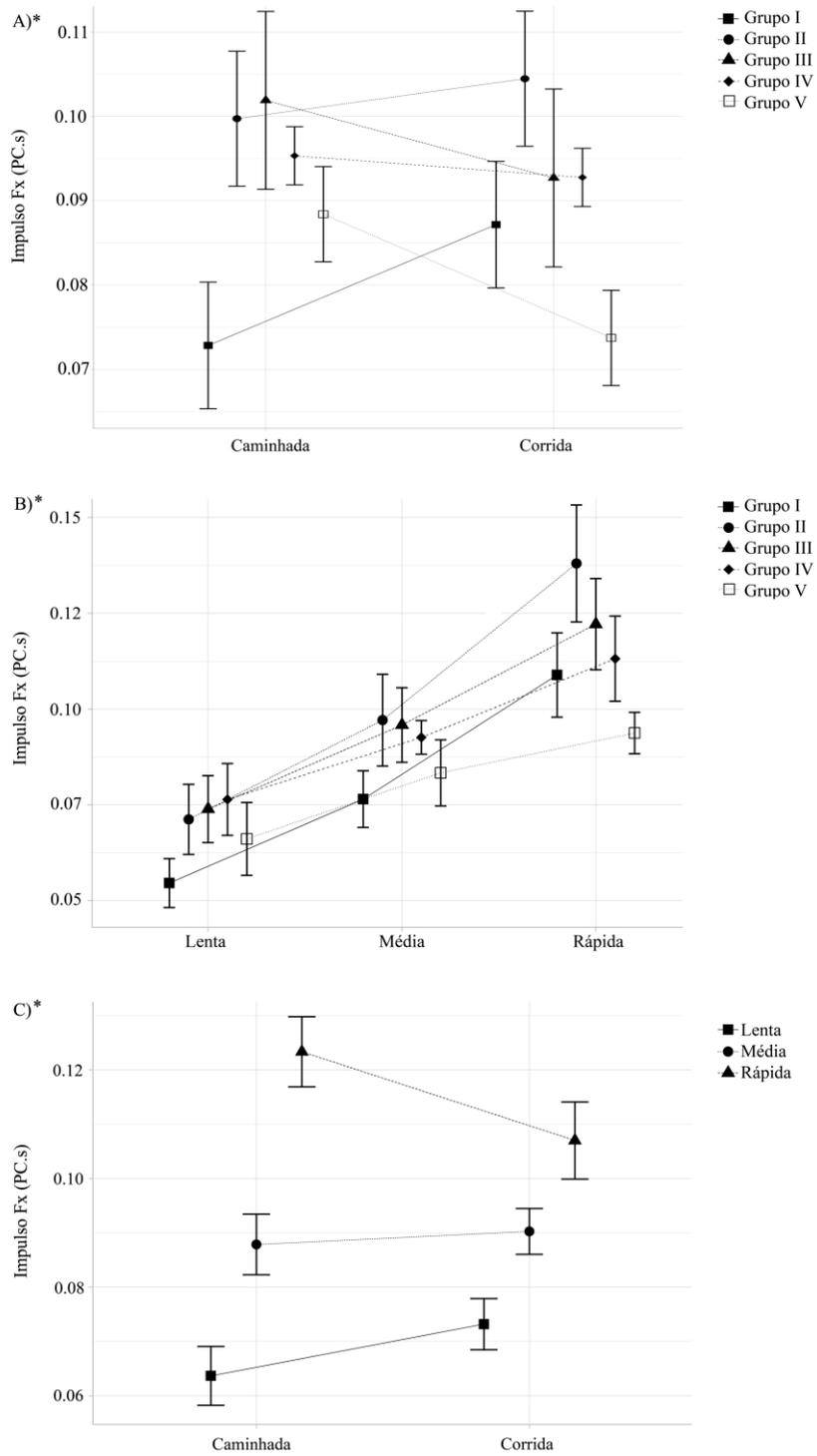
#### 4.2.4 Impulso da componente horizontal (Fx)

A ANOVA mista de dois fatores demonstrou interação estatisticamente significativa entre o tipo de exercício e o nível de imersão ( $F[4,45] = 6,074$ ,  $p = 0,001$ ,  $np^2 = 0,350$ , Figura 16A), entre a velocidade e o nível de imersão ( $F[8,90] = 3,449$ ,  $p[GG] = 0,043$ ,  $np^2 = 0,234$ , Figura 16B) e também entre o tipo de exercício e a velocidade que foi realizado ( $F[2,90] = 14,475$ ,  $p[GG] = 0,006$ ,  $np^2 = 0,243$ , Figura 16C). Indicando que os valores do impulso de Fx para caminhada e corrida dependem da velocidade e do nível de imersão, quando analisados separadamente. E ainda que independente do tipo de exercício, os valores do impulso de Fx nos diferentes níveis de imersão dependem da velocidade.

Com base na Figura 16A é possível observar para a corrida em relação a caminhada, um aumento nos valores dos grupos I e II, enquanto ocorre uma redução nos dos grupos III, IV e V. Já a Figura 16B demonstra um aumento mais acentuado do impulso de Fx com o aumento da velocidade no grupo I em relação aos demais. Os contrastes entre os níveis de imersão, velocidades e exercícios que não apresentaram diferenças estatisticamente significativas estão disponíveis na Tabela 6. Por fim, na Figura 16C é possível observar que quando a corrida foi realizada, o valor do impulso de Fx reduziu para a velocidade rápida, enquanto os valores da velocidade média e lenta aumentaram. A análise post-hoc dos contrastes demonstrou que não houve diferença estatisticamente significativa nos valores médios do impulso de Fx entre a caminhada 0,06 (0,02) e a corrida 0,07 (0,02) na velocidade

lenta ( $t[45] = -2,810$ ,  $p = 0,109$ ), e entre a caminhada  $0,08$  ( $0,02$ ) e a corrida  $0,08$  ( $0,02$ ) na velocidade média ( $t[45] = -0,774$ ,  $p = 1,000$ ).

**Figura 16** - Média e erro padrão do impulso da componente ântero-posterior ( $F_x$ ) para A) o tipo de exercício (caminhada e corrida) em função dos níveis de imersão (I 35 a 45 %, II 45 a 55 %, III 55 a 65%, IV 65 a 75% e V 75 a 85%), B) das velocidades (lenta, média e rápida) em função dos níveis de imersão (I 35 a 45 %, II 45 a 55 %, III 55 a 65%, IV 65 a 75% e V 75 a 85%) e C) do tipo de exercício (caminhada e corrida) em função das velocidades (lenta, média e rápida). \* Representa interação significativa ( $p < 0.05$ ) entre os fatores.



Fonte: Próprio autor.

**Tabela 6** - Post-hoc dos contrastes para as médias (desvio padrão) do impulso da componente ântero-posterior (Fx) entre os cinco níveis de imersão (I-V) e as velocidades lenta média e rápida, e entre os exercícios.

	I) 35 a 45 %	II) 45 a 55 %	III) 55 a 65%	IV) 65 a 75%	V) 75 a 85%
<b>Lenta</b>	0,05 (0,01)	0,07 (0,01)	0,07 (0,02)	0,07 (0,01)	0,06 (0,01)

	a	a,b	a,b,c	a,b,c	a,b,c
<b>Média</b>	0,07 (0,01)	0,09 (0,02)	0,09 (0,03)	0,09 (0,01)	0,08 (0,01)
	b,c	c,d	b,e	b,c,e	a,b,c,e,f
<b>Rápida</b>	0,10 (0,02)	0,13 (0,03)	0,12 (0,02)	0,11 (0,02)	0,09 (0,02)
	e,f,g	g,h	d,g,h,i	d,e,f,g,h,i,j	b,d,e,f,g,i,j
<b>Caminhada</b>	0,07 (0,02)	0,09 (0,04)	0,10 (0,03)	0,09 (0,03)	0,08 (0,02)
	A	B	B,C	A,B,C,D	A,B,C,D,E
<b>Corrida</b>	0,08 (0,03)	0,10 (0,02)	0,09 (0,03)	0,09 (0,01)	0,07 (0,01)
	A,B,C,D,F	B,C,D,E,F,G	A,B,C,D,E,F,G	A,B,C,D,E,F,G,H	A,B,D,E,H

As mesmas letras minúsculas representam os contrastes que não apresentaram diferença estatisticamente significativa ( $p > 0.05$ ) entre as velocidades, enquanto as mesmas letras maiúsculas entre os tipos de exercício

## 5 DISCUSSÃO

Este estudo analisou os efeitos da interação entre o tipo de exercício (caminhada e corrida), diferentes níveis de imersão (35-85%) e velocidades (lenta, média e rápida) no pico e impulsos das componentes  $F_y$  e  $F_x$  durante o exercício na água. Contrário à hipótese levantada, não foi possível encontrar interação tripla entre o tipo de exercício, níveis de imersão e velocidades. No entanto, ao analisá-los aos pares, se tornou clara a importância de considerar os efeitos particulares dessas interações nos valores de  $F_y$ ,  $F_x$  e seus respectivos impulsos para alcançar a especificidade na prescrição do exercício.

Nossos resultados demonstraram que os valores de  $F_y$  entre os diferentes níveis de imersão não são influenciados pela velocidade ou tipo de exercício, o que reforça a maior influência do nível de imersão sobre essa variável como previamente relatado na literatura (HAUPENTHAL et al., 2019). No entanto, independentemente do nível de imersão os valores de  $F_y$  se comportam de forma diferente para caminhada e corrida dependendo da velocidade, mais especificamente, ocorre um aumento com maior intensidade para corrida rápida em relação as outras combinações. Os valores de  $F_x$  entre os diferentes níveis de imersão também não são influenciados pelo tipo de exercício, apesar de a representação gráfica sugerir uma interação entre o grupo I e II (Figura 14A); mas quando a corrida é realizada na velocidade rápida sem considerar o nível de imersão, um aumento mais significativo da  $F_x$  é observado em relação as demais combinações, e ainda, o mesmo ocorre de 35 a 65% do corpo imerso à medida que a velocidade do movimento aumenta independentemente do tipo de exercício.

Com base nesses achados, podemos afirmar que ao incluir o nível de imersão na análise, os outros fatores não afetam a  $F_y$  ao ponto de alterar seu comportamento; no entanto, o mesmo não ocorre para  $F_x$  ao aumentar a velocidade, demonstrando que em menores níveis de imersão a  $F_x$  é mais sensível a alteração da velocidade que a  $F_y$ . De fato, a literatura demonstra que a  $F_x$  é mais influenciada pela velocidade (HAUPENTHAL et al., 2019), mas diferente do apontado por Roesler et al. 2006 (ROESLER et al., 2006), nossos resultados demonstram que a  $F_x$  também é influenciada pelo nível de imersão. Acreditamos que esse achado foi possível por analisarmos mais combinações entre níveis de imersão e velocidades, uma vez que incluímos além da caminhada a corrida, e este é o primeiro estudo com ambos exercícios na mesma análise.

Em 2013, Haupenthal et al. (HAUPENTHAL et al., 2013) ao comparar a corrida a 0.7 m.s com o paciente imerso ao nível do peito em relação a 0.9 m.s ao nível do quadril, observou maior  $F_x$  ao nível do quadril e hipotetizou que se o exercício fosse realizado na mesma velocidade a  $F_x$  seria superior ao nível do peito. Nossos resultados permitem essa análise (Tabela 2, Apêndice A – Tabela 2), e acrescentam que os valores de  $F_x$  são significativamente superiores nos níveis de imersão mais rasos, mas somente ao analisar a velocidade rápida. Ao comparar as diferentes velocidades nossos resultados corroboram com os do autor, e observamos ainda uma sobreposição dos valores de  $F_x$  entre os diferentes níveis de imersão na velocidade lenta e os maiores níveis de imersão (>55% do corpo imerso) na velocidade média, assim como entre os os diferentes níveis de imersão da velocidade média para com os maiores níveis de imersão (>65% do corpo imerso) na velocidade rápida.

Ao todo, 30 combinações foram analisadas neste estudo e através desse conjunto de dados educadores físicos e fisioterapeutas podem explorar as interações relevantes para a prescrição do exercício aquático. Por exemplo, a corrida na velocidade lenta e média não apresentaram diferença significativa para  $F_y$ , a aplicação desse achado consiste que durante a reabilitação a prescrição da corrida lenta seja realizada com cuidado, visto que a intensidade da carga vertical sobre as estruturas musculoesqueléticas se assemelha a da corrida na velocidade média; já visando a progressão do treino, esse achado pode implicar que a transição da velocidade lenta para média não repercuta na descarga de peso desejada. Em relação a variável  $F_x$ , não foi possível observar diferença entre a caminhada rápida e a corrida na velocidade média, logo evoluir da caminhada na velocidade média para a corrida lenta ao invés da caminhada rápida pode ser mais interessante como meio de progressão na clínica; outra aplicação seria o uso da caminhada rápida como uma alternativa para aumento da carga no treinamento.

O estudo da interação dos impulsos das componentes  $F_y$  e  $F_x$  revelou que os valores se comportam de forma diversa dependendo dos níveis das variáveis analisadas, uma vez que as três ANOVAS de dois fatores (níveis de imersão vs. tipos de exercício; níveis de imersão vs. velocidades; tipos de exercício vs. velocidades) demonstraram uma interação estaticamente significativa; no entanto, o mesmo não foi observado quando todas as variáveis foram incluídas na ANOVA de três fatores (níveis de imersão vs. tipos de exercício vs. velocidades), embora tamanhos de efeito médio terem sido obtidos. O que sugere que os resultados poderiam ser diferentes caso uma amostra maior fosse utilizada.

Ao analisar a Figura 12, é possível observar que os impulsos de  $F_y$  foram superiores para caminhada em relação a corrida e reduziram em magnitude à medida que a velocidade aumentou. O impulso informa sobre a força que é aplicada em uma janela de tempo (TONGEN; WUNDERLICH, 2010) e durante a caminhada há um maior tempo de contato do que para corrida, além disso a aceleração vertical é menor; então, a força exercida para manter o impulso de  $F_y$  necessário para menores velocidades é baixa. Quando o objetivo se torna aumentar a aceleração para correr, o impulso precisa ser maximizado, mas o tempo de contato é menor, o que é compensado pela aplicação de mais força para executar o movimento em velocidades rápidas (Figura 11). No entanto, ao aumentar o nível de imersão mantendo a mesma velocidade há uma redução na  $F_y$  e no seu impulso, o que pode ser em parte devido ao empuxo, visto que essa força exercida pela água facilita a aceleração vertical do corpo.

Para maiores velocidades, a aceleração vertical é importante, mas uma aceleração horizontal consideravelmente maior é necessária. Por exemplo, ao comparar ambos os exercícios nas velocidades lenta e rápida do segundo nível de imersão, o impulso horizontal duplica, enquanto o vertical reduz em magnitude (Apêndice A, Tabelas 3 e 4). É possível observar, no entanto, que a partir de 55% do corpo imerso os valores de impulso não aumentam na mesma proporção com o aumento da velocidade (Figura 16B), e isso é acompanhado por uma redução nos valores de  $F_x$ , uma possível justificativa para esse achado seria o aumento na frequência de passos para vencer a resistência da água enquanto a mesma velocidade é mantida, visto que um maior volume precisa ser deslocado.

Apesar das propriedades físicas da água apresentam um papel crucial para prescrição do exercício aquático outros fatores impactam as FRS, como a densidade do indivíduo (influenciada principalmente pelo percentual de gordura), sua área frontal e forma (EDLICH et al., 1987). A fim de amenizar as influências individuais, procuramos incluir uma amostra estratificada pelo sexo e homogênea quanto aos valores de IMC, circunferência de cintura, quadril e coxa. Uma sugestão para próximos estudos visando o aprofundamento do estudo da

biomecânica no movimento aquático seria a análise das FRS considerando o peso aparente dos participantes.

Outro fator que pode ser considerado como ponto forte deste estudo foi que os mesmos participantes foram analisados em diferentes velocidades e tipos de exercício. No entanto, participantes diferentes foram analisados em cada um dos níveis de imersão e apesar de termos calculamos a razão de imersão para melhor categorizá-los, pode ser considerado uma limitação não termos controlado a densidade dos mesmos, visto que essa influência o peso na água. Além disso, não houve cumprimento de algumas das suposições para realização dos testes estatísticos mesmo calculando o tamanho amostral a priori; o que pode ser consequência de termos realizado o cálculo com base em um piloto de somente cinco participantes por grupo, uma vez que a literatura sugere 12 (JULIOUS, 2005), número inviável dado o número de grupos analisados.

## **6 CONCLUSÃO**

Nossos resultados demonstram que o comportamento dos picos de  $F_y$  para caminhada e corrida na água independem da velocidade entre 35 a 85% do corpo imerso, e que os valores de impulso foram maiores para caminhada em relação a corrida, e reduziram com o aumento da velocidade e imersão, reforçando a influência preeminente do empuxo sobre  $F_y$ . A  $F_x$  é mais sensível a alteração da velocidade, no entanto essa componente também depende do nível de imersão durante a corrida na velocidade rápida. Contra intuitivamente, os valores de  $F_x$  reduziram com o aumento dos níveis de imersão inclusive na velocidade rápida e a análise dos impulsos sugere que esse achado reflita um aumento na frequência de passos. Os impulsos de  $F_x$  aumentaram em magnitude com o aumento da velocidade e foram maiores para caminhada em relação a corrida à medida que a velocidade e o nível de imersão aumentaram. Esse estudo corrobora que o uso de diferentes velocidades e níveis de imersão são ferramentas para o controle das FRS, e as combinações analisadas servirão como guia para a prescrição de programas efetivos, respeitando a especificidade para alcançar o objetivo terapêutico.

## REFERÊNCIAS

- ALBERTON, C. L. et al. Vertical ground reaction force during water exercises performed at different intensities. **International Journal of Sports Medicine**, v. 34, n. 10, p. 881–887, 2013.
- ALBERTON, C. L. et al. Horizontal ground reaction forces to stationary running performed in the water and on dry land at different physiological intensities. **European Journal of Sport Science**, v. 17, n. 8, p. 1013–1020, 14 set. 2017.
- 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, n. 3, p. 250–256, jun. 2006.
- BARRETO, M. S. T. et al. Reliability of ground reaction forces in the aquatic environment. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 30, p. 23–30, 2016.
- BARTELS, E. et al. Aquatic exercise for the treatment of knee and hip osteoarthritis (Review). **Cochrane Library**, n. 3, 2016.
- BATES, A.; HANSON, N. **Exercícios Aquáticos Terapêuticos**. [s.l.] Manole, 1998.
- BEGG, R. K.; SPARROW, W. A.; LYTHGO, N. D. Time-domain analysis of foot–ground reaction forces in negotiating obstacles. **Gait & Posture**, v. 7, n. 2, p. 99–109, 1998.
- BLAZEVIČH, A. J. **Sports Biomechanics: The Basics: Optimising Human Performance**. London: Bloomsbury Publishing, 2007.
- 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**. Congresso de Educação Física e Ciências do Esporte dos Países de Língua Portuguesa. **Anais...2000**
- BRITO, R. N. et al. Análise comparativa da marcha humana em solo e subaquática em dois níveis de imersão: joelho e quadril. / Comparative analysis of the human gait in the terrestrial and aquatic environment in two levels of immersion: hip and knee. **Brazilian Journal of Physical Therapy / Revista Brasileira de Fisioterapia**, v. 8, n. 1, p. 7–12, jan. 2004.
- BUCKTHORPE, M.; PIROTTI, E.; VILLA, F. DELLA. Benefits and use of aquatic therapy during rehabilitation after ACL reconstruction - A clinical commentary. **International Journal of Sports Physical Therapy**, v. 14, n. 6, p. 978–993, 2019.
- CAMPION, M. R. **Hidroterapia princípios e prática**. [s.l.] Manole, 2000.
- CARNEIRO, L. C. et al. Vertical reaction forces and kinematics of backward walking underwater. **Gait and Posture**, v. 35, n. 2, p. 225–230, 2012.
- CAVANAGH, P. R.; LAFORTUNE, M. A. Ground reaction forces in distance running. **Journal of Biomechanics**, v. 13, n. 5, p. 397–406, jan. 1980.
- CHEVUTSCHI, A. et al. Comparison of maximal and spontaneous speeds during walking on dry land and water. **Gait and Posture**, v. 29, n. 3, p. 403–407, 2009.
- COLE, A. J.; BECKER, B. E. **Comprehensive Aquatic Therapy**. 3rd. ed. [s.l.] Washington

State University Publishing, Pullman WA, 2011.

CROSSLEY, K. et al. Ground reaction forces, bone characteristics, and tibial stress fracture in male runners. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 31, n. 8, p. 1088–1093, ago. 1999.

CZERNIECKI, J. M. Foot and ankle biomechanics in walking and running. A review. **American journal of physical medicine & rehabilitation**, v. 67, n. 6, p. 246–52, dez. 1988.

DE BRITO FONTANA, H. et al. Effect of Gender, Cadence, and Water Immersion on Ground Reaction Forces During Stationary Running. **Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy**, v. 42, n. 5, p. 437–443, maio 2012.

DE BRITO FONTANA, H. et al. Vertical ground reaction force in stationary running in water and on land: A study with a wide range of cadences. **Human Movement Science**, v. 58, n. August 2017, p. 279–286, abr. 2018.

DICHARRY, J. Kinematics and kinetics of gait: From lab to clinic. **Clinics in Sports Medicine**, v. 29, n. 3, p. 347–364, 2010.

DIVERT, C. et al. Mechanical Comparison of Barefoot and Shod Running. **International Journal of Sports Medicine**, v. 26, n. 7, p. 593–598, set. 2005.

DOWZER, C. N. Effects of deep and shallow water running on spinal shrinkage. **British Journal of Sports Medicine**, v. 32, n. 1, p. 44–48, 1998.

DUFFEY, M. J. et al. Etiologic factors associated with anterior knee pain in distance runners. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 32, n. 11, p. 1825–1832, nov. 2000.

DZIUBA, A. K. et al. Biomechanical parameters in lower limbs during natural walking and nordic walking at different speeds. **Acta of Bioengineering and Biomechanics**, v. 17, n. 1, p. 95–101, 2015.

EDLICH, R. F. et al. Bioengineering principles of hydrotherapy. **The Journal of burn care & rehabilitation**, v. 8, n. 6, p. 580–584, 1987.

ENCARNACIÓN-MARTÍNEZ, A.; PÉREZ-SORIANO, P.; LLANA-BELLOCH, S. Differences in Ground Reaction Forces and Shock Impacts Between Nordic Walking and Walking. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v. 86, n. 1, p. 94–99, 2 jan. 2015.

ERDFELDER, E. et al. Statistical power analyses using G\*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. **Behavior Research Methods**, v. 41, n. 4, p. 1149–1160, nov. 2009.

FAUL, F. et al. A short tutorial of GPower. **Tutorials in Quantitative Methods for Psychology**, v. 3, n. 2, p. 51–59, 2007.

FREYCHAT, P. et al. Relationship between rearfoot and forefoot orientation and ground reaction forces during running. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 28, n. 2, p. 225–232, fev. 1996.

FRYZOWICZ, A. et al. Reference values of spatiotemporal parameters, joint angles, ground reaction forces, and plantar pressure distribution during normal gait in young women. **Acta of Bioengineering and Biomechanics**, v. 20, n. 1, p. 49–57, 2018.

GIAKAS, G.; BALTZOPOULOS, V. Time and frequency domain analysis of ground reaction

forces during walking: an investigation of variability and symmetry. **Gait & Posture**, v. 5, n. 3, p. 189–197, jun. 1997.

GIRARD, O. et al. Changes in Running Mechanics and Spring-Mass Behaviour during a 5-km Time Trial. **International Journal of Sports Medicine**, v. 34, n. 09, p. 832–840, 2 abr. 2013.

GOBLE, D. .; MARINO, G. .; POTVIN, J. . The influence of horizontal velocity on interlimb symmetry in normal walking. **Human Movement Science**, v. 22, n. 3, p. 271–283, ago. 2003.

HAMIL, J.; KNUTZEN, K. M.; DERRICK, T. R. **Biomechanical basis of human movement**. Fourth ed. [s.l.] LWW, 2013. v. 53

HAMILL, J. et al. Exercise moderation of foot function during walking with a re-usable semirigid ankle orthosis. **Clinical Biomechanics**, v. 3, n. 3, p. 153–158, ago. 1988.

HARRISON, R.; HILLMAN, M.; BULSTRODE, S. Loading of the Lower Limb when Walking Partially Immersed: Implications for Clinical Practice. **Physiotherapy (United Kingdom)**, v. 78, n. 3, p. 164–166, 1992.

HAUPENTHAL, A. et al. Loading forces in shallow water running at two levels of immersion. **Journal of Rehabilitation Medicine**, v. 42, n. 7, p. 664–669, 2010a.

HAUPENTHAL, A. et al. Ground reaction force as a subsidy for prescribing aquatic exercises: case study. **Fisioterapia em Movimento**, v. 23, n. 2, p. 303–310, 2010b.

HAUPENTHAL, A. et al. Prediction of ground reaction force during water immersion running. **Fisioterapia e Pesquisa**, v. 17, n. 3, p. 253–258, set. 2010c.

HAUPENTHAL, A. **Prediction model of ground reaction forces during water immersion walking and running**. [s.l.] Universidade Federal do Estado de Santa Catarina, 2013.

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, jul. 2013.

HAUPENTHAL, A. et al. Prediction of ground reaction forces while walking in water. **PLOS ONE**, v. 14, n. 7, p. e0219673, 18 jul. 2019.

HEYWOOD, S. et al. Spatiotemporal, kinematic, force and muscle activation outcomes during gait and functional exercise in water compared to on land: A systematic review. **Gait and Posture**, v. 48, p. 120–130, jul. 2016.

HEYWOOD, S. et al. The Effectiveness of Aquatic Exercise in Improving Lower Limb Strength in Musculoskeletal Conditions: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, v. 98, n. 1, p. 173–186, 2017.

HUTCHINSON, L. A. et al. A comparison of centre of pressure behaviour and ground reaction force magnitudes when individuals walk overground and on an instrumented treadmill. **Gait & Posture**, v. 83, n. October 2020, p. 174–176, jan. 2021.

JACQUELIN, P. **Gait analysis: normal and pathological function**. Thorofare, New Jersey: SLACK Incorporated, 1992.

KANEDA, K. et al. Lower extremity muscle activity during different types and speeds of

underwater movement. **Journal of Physiological Anthropology**, v. 26, n. 2, p. 197–200, 2007.

KELLY, B. T. et al. Shoulder Muscle Activation During Aquatic and Dry Land Exercises in on impaired subjects. **Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy**, v. 30, n. 4, p. 204–210, 2000.

KORHONEN, M. T. et al. Variability and Symmetry of Force Platform Variables in Maximum-Speed Running in Young and Older Athletes. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 26, n. 3, p. 357–366, ago. 2010.

KUITUNEN, S.; KOMI, P. V; KYRÖLÄINEN, H. Knee and ankle joint stiffness in sprint running. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 34, n. 1, p. 166–173, jan. 2002.

KUMAR, N. et al. Component analysis of ground reaction force with respect to variable walking speeds. **International Journal of Medical Engineering and Informatics**, v. 3, n. 4, p. 331, 2011.

LIU, W.; NIGG, B. M. A mechanical model to determine the influence of masses and mass distribution on the impact force during running. **Journal of Biomechanics**, v. 33, n. 2, p. 219–224, 2000.

LULIĆ, T. J. J. et al. Effects of arm swing on mechanical parameters of human gait. **Collegium Antropologicum**, v. 32, n. 3, p. 869–73, set. 2008.

MARINHO-BUZELLI, A. R. et al. The influence of the aquatic environment on the control of postural sway. **Gait & posture**, v. 51, p. 70–76, jan. 2017a.

MARINHO-BUZELLI, A. R. et al. The influence of the aquatic environment on the center of pressure, impulses and upper and lower trunk accelerations during gait initiation. **Gait and Posture**, v. 58, n. September, p. 469–475, out. 2017b.

MARTIN, P. E.; MARSH, A. P. Step length and frequency effects on ground reaction forces during walking. **Journal of Biomechanics**, v. 25, n. 10, p. 1237–1239, out. 1992.

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.

MATSUMURA, S. et al. Increase in transforming growth factor-beta in the brain during infection is related to fever, not depression of spontaneous motor activity. **Neuroscience**, v. 144, n. 3, p. 1133–1140, fev. 2007.

METHAJARUNON, P. et al. Systematic review of published studies on aquatic exercise for balance in patients with multiple sclerosis, Parkinson's disease, and hemiplegia. **Hong Kong Physiotherapy Journal**, v. 35, p. 12–20, 2016.

MIYOSHI, T. et al. Effect of the walking speed to the lower limb joint angular displacements, joint moments and ground reaction forces during walking in water. **Disability and Rehabilitation**, v. 26, n. 12, p. 724–732, 17 jun. 2004.

MORIN, J.-B. et al. Sprint Acceleration Mechanics: The Major Role of Hamstrings in Horizontal Force Production. **Frontiers in Physiology**, v. 6, n. DEC, p. 1–14, 24 dez. 2015.

- MUNIZ, T. B.; MORAES, R.; GUIRRO, R. R. J. Lower limb ice application alters ground reaction force during gait initiation. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, v. 19, n. 2, p. 114–121, abr. 2015.
- MUNRO, C. F.; MILLER, D. I.; FUGLEVAND, A. J. Ground reaction forces in running: A reexamination. **Journal of Biomechanics**, v. 20, n. 2, p. 147–155, jan. 1987.
- NIGG, B. M.; HERZOG, W. **Biomechanics of the Musculo-skeletal System**. [s.l.] Wiley, 1994.
- NILSSON, J.; THORSTENSSON, A. Ground reaction forces at different speeds of human walking and running. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 136, n. 2, p. 217–227, jun. 1989.
- NOVACHEK, T. F. The biomechanics of running. **Gait & Posture**, v. 7, n. 1, p. 77–95, 1998.
- ORSELLI, M. I. V.; DUARTE, M. Joint forces and torques when walking in shallow water. **Journal of Biomechanics**, v. 44, n. 6, p. 1170–1175, 2011.
- PETROSKI, E. L. **Antropometria: técnicas a padronizações**. 2. ed. Porto Alegre: Fontoura, 2003.
- PÖYHÖNEN, T. et al. Determination of hydrodynamic drag forces and drag coefficients on human leg/foot model during knee exercise. **Clinical Biomechanics**, v. 15, n. 4, p. 256–260, maio 2000.
- RAZEGHI, M. et al. Ground reaction force analysis for assessing the differences between normal and waddling gait patterns. **Biomedical Engineering: Applications, Basis and Communications**, v. 25, n. 02, p. 1350024, 11 abr. 2013.
- RICHARDS, J. et al. **Tidy's Physiotherapy**. Fifteenth ed. [s.l.] Elsevier Health Sciences, 2013.
- RICHARDSON, J. T. E. Eta squared and partial eta squared as measures of effect size in educational research. **Educational Research Review**, v. 6, n. 2, p. 135–147, 2011.
- RILEY, P. O. et al. A kinematic and kinetic comparison of overground and treadmill walking in healthy subjects. **Gait & Posture**, v. 26, n. 1, p. 17–24, jun. 2007.
- RILEY, P. O. et al. A kinematics and kinetic comparison of overground and treadmill running. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 40, n. 6, p. 1093–1100, 2008.
- ROESLER, H. et al. **Análise biomecânica subaquática da marcha humana em ambos os sexos e diferentes grupos etários em diferentes níveis de imersão**. XIII Seminário de Iniciação Científica da Universidade do Estado de Santa Catarina. **Anais...**2003
- ROESLER, H. et al. Dynamometric analysis of the maximum force applied in aquatic human gait at 1.3 m of immersion. **Gait and Posture**, v. 24, n. 4, p. 412–417, 2006.
- ROSE, J. G.; GAMBLE, J. **Marcha Humana**. [s.l.] Premier, 1998.
- RUOTI, R. G.; MORRIS, D. M.; COLE, A. J. **Reabilitação Aquática**. [s.l.] Manole, 2000.
- SCHOLTEN, S. D. et al. Foot strike patterns after obstacle clearance during running. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 34, n. 1, p. 123–129, jan. 2002.

- SCHUTZ, G. R. et al. **Determinação de protocolo para a aquisição de dados da marcha humana em ambiente aquático.** Anais XII Seminário de Iniciação Científica da Universidade do Estado de Santa Catarina. **Anais...**Joinville: 2002
- SEELEY, M. K.; UMBERGER, B. R.; SHAPIRO, R. A test of the functional asymmetry hypothesis in walking. **Gait & Posture**, v. 28, n. 1, p. 24–28, jul. 2008.
- SIMPSON, K. J.; JIANG, P. Foot landing position during gait influences ground reaction forces. **Clinical Biomechanics**, v. 14, n. 6, p. 396–402, 1999.
- SKUBICH, J.; PISZCZATOWSKI, S. Model of loadings acting on the femoral bone during gait. **Journal of Biomechanics**, v. 87, p. 54–63, abr. 2019.
- STEWART, T. O. A.; MARFELL-JONES, L. C. M. **International Standards for Anthropometric Assessment.** Australia: International Society for the Advancement of Kinanthropometry, 2011.
- SVENSSON, O. K.; WEIDENHIELM, L. Variability of knee moment arms in the frontal and sagittal planes during normal gait. **Clinical Biomechanics**, v. 8, n. 2, p. 59–65, mar. 1993.
- TONGEN, A.; WUNDERLICH, R. E. Biomechanics of Running and Walking. In: **Mathematics and Sports.** Providence, Rhode Island: American Mathematical Society, 2010. v. 5919p. 315–328.
- VAILE, J. et al. Effect of hydrotherapy on recovery from fatigue. **International journal of sports medicine**, v. 29, n. 7, p. 539–544, jul. 2008.
- VICÉN, J. A. et al. Ground reaction forces in high-arch and flat feet. **Archivos de Medicina del Deporte**, v. 22, n. 108, p. 285–292, 2005.
- VIEL, E. **A marcha humana, a corrida e o salto.** [s.l.] Manole, 2001.
- WANG, X. et al. Influence of Gait Speeds on Contact Forces of Lower Limbs. **Journal of Healthcare Engineering**, v. 2017, p. 1–6, 2017.
- WEARING, S. C.; URRY, S. R.; SMEATHERS, J. E. The effect of visual targeting on ground reaction force and temporospatial parameters of gait. **Clinical Biomechanics**, v. 15, n. 8, p. 583–591, out. 2000.
- WHITTLE, M. W. Clinical gait analysis: A review. **Human Movement Science**, v. 15, n. 3, p. 369–387, 1996.
- WILLIAMS, K. R.; CAVANAGH, P. R.; ZIFF, J. L. Biomechanical studies of elite female distance runners. **International Journal of Sports Medicine**, v. 8, n. SUPPL. 2, p. 107–118, 1987.
- WINTER, D. A. **The biomechanics and motor control of human gait: normal, elderly and pathological.** 2nd editio ed. [s.l.] Waterloo Biomechanics, 1991.
- YAGHOUBI, M. et al. Biomechanical Properties of Land Based and Shallow Water Wait: A Comparative Review of Literature. **International Journal of Aquatic Research and Education**, v. 13, n. 1, nov. 2020.
- ZATSIORSKY, V. M. **Biomecânica no Esporte: Performance do Desempenho e Prevenção de Lesão.** [s.l.] Guanabara Koogan, 2004.

## ANEXO A – Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa



UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA EM SERES HUMANOS

Florianópolis, 16 de maio de 2008

Nº. de Referência 52/2008

à Pesquisador **Prof. Helio Roesler**

Prezados Senhores,

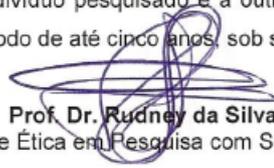
Analisamos o projeto de pesquisa intitulado “**Análise biomecânica como subsídio para a prescrição de exercícios aquáticos.**” enviado previamente por V. S.<sup>a</sup>. Desta forma, vimos por meio desta, comunicar que o Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos tem como resultado à **Aprovação** do referido projeto.

Este Comitê de Ética em Pesquisa segue as Normas e Diretrizes Regulamentadoras da Pesquisa Envolvendo Seres Humanos – Resolução CNS 196/96, criado para defender os interesses dos sujeitos da pesquisa em sua integridade e dignidade e para contribuir no desenvolvimento da pesquisa dentro de padrões éticos.

Gostaria de salientar que quaisquer alterações do procedimento e metodologia que houver durante a realização do projeto em questão e, que envolva os indivíduos participantes, deverão ser informadas imediatamente ao Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos.

Duas vias do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido deverão ser assinadas pelo indivíduo pesquisado ou seu representante legal. Uma cópia deverá ser entregue ao indivíduo pesquisado e a outra deverá ser mantida pelos pesquisadores por um período de até cinco anos, sob sigilo.

Atenciosamente,

  
**Prof. Dr. Rudney da Silva**

Presidente do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos – UDESC

**ANEXO B – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido****TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

Declaro que fui informado sobre todos os procedimentos da pesquisa e que recebi de forma clara e objetiva todas as explicações pertinentes ao projeto, sendo que todos os dados a meu respeito serão sigilosos.

Eu compreendo que neste estudo, as medições dos experimentos e/ou procedimentos de tratamento serão feitas em mim.

Declaro que fui informado que posso me retirar do estudo a qualquer momento.

**Nome****por****extenso**

Assinatura \_\_\_\_\_ Florianópolis, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

## APÊNDICE A

**Tabela 1.** Média e desvio padrão dos valores de  $F_y$  após transformação logarítmica e mediana e intervalos interquartis dos valores antes da transformação para os diferentes níveis de imersão em função das velocidades (lenta, media e rápida) durante a caminhada e corrida na água.

Razão de imersão	Primeiro		Segundo		Terceiro		Quarto		Quinto	
	Média (DP)*	Mediana (IQR)								
Caminhada lenta	0.56 (0.02)	0.75 (0.03)	0.49 (0.04)	0.65 (0.05)	0.39 (0.03)	0.47 (0.06)	0.28 (0.05)	0.29 (0.13)	0.18 (0.03)	0.21 (0.07)
Caminhada normal	0.58 (0.02)	0.79 (0.05)	0.53 (0.04)	0.70 (0.08)	0.40 (0.05)	0.48 (0.09)	0.29 (0.04)	0.32 (0.05)	0.21 (0.03)	0.23 (0.03)
Caminhada rápida	0.64 (0.04)	0.91 (0.07)	0.56 (0.04)	0.76 (0.04)	0.44 (0.07)	0.55 (0.14)	0.34 (0.06)	0.41 (0.11)	0.23 (0.02)	0.26 (0.02)
Corrida lenta	0.75 (0.1)	1.19 (0.29)	0.69 (0.09)	0.95 (0.34)	0.57 (0.19)	0.70 (0.19)	0.44 (0.11)	0.56 (0.16)	0.31 (0.13)	0.31 (0.13)
Corrida normal	0.76 (0.09)	1.18 (0.20)	0.73 (0.08)	1.08 (0.18)	0.60 (0.11)	0.76 (0.23)	0.51 (0.12)	0.70 (0.21)	0.34 (0.12)	0.34 (0.11)
Corrida rápida	0.92 (0.12)	1.42 (0.50)	0.91 (0.13)	1.41 (0.32)	0.72 (0.10)	1.06 (0.21)	0.61 (0.08)	0.88 (0.23)	0.52 (0.13)	0.62 (0.12)

\* Valores obtidos após transformação logarítmica.

**Tabela 2.** Média e desvio padrão dos valores de  $F_x$  após transformação logarítmica e mediana e intervalos interquartis dos valores antes da transformação para os diferentes níveis de imersão em função das velocidades (lenta, media e rápida) durante a caminhada e corrida na água.

Razão de imersão	Primeiro		Segundo		Terceiro		Quarto		Quinto	
	Média (DP)*	Mediana (IQR)								
Caminhada lenta	0.11 (0.02)	0.12 (0.03)	0.13 (0.03)	0.15 (0.05)	0.11 (0.03)	0.11 (0.05)	0.08 (0.02)	0.08 (0.05)	0.06 (0.03)	0.05 (0.03)
Caminhada normal	0.17 (0.04)	0.18 (0.08)	0.18 (0.06)	0.17 (0.06)	0.17 (0.04)	0.16 (0.08)	0.12 (0.02)	0.13 (0.01)	0.09 (0.02)	0.09 (0.04)
Caminhada rápida	0.27 (0.03)	0.30 (0.09)	0.29 (0.05)	0.36 (0.12)	0.25 (0.05)	0.27 (0.02)	0.20 (0.04)	0.23 (0.08)	0.14 (0.02)	0.14 (0.04)
Corrida lenta	0.18 (0.05)	0.19 (0.08)	0.20 (0.04)	0.23 (0.06)	0.19 (0.05)	0.20 (0.08)	0.18 (0.04)	0.20 (0.01)	0.13 (0.03)	0.14 (0.04)
Corrida normal	0.24 (0.07)	0.26 (0.10)	0.28 (0.07)	0.32 (0.17)	0.24 (0.06)	0.28 (0.05)	0.24 (0.06)	0.23 (0.21)	0.19 (0.06)	0.18 (0.07)
Corrida rápida	0.37 (0.07)	0.47 (0.06)	0.44 (0.06)	0.54 (0.07)	0.41 (0.06)	0.50 (0.08)	0.35 (0.05)	0.43 (0.07)	0.29 (0.07)	0.33 (0.12)

\* Valores obtidos após transformação logarítmica.

**Tabela 3.** Média e desvio padrão dos valores de impulso para componente horizontal ( $F_y$ ) para os diferentes níveis de imersão em função das velocidades (lenta, media e rápida) durante a caminhada e corrida na água.

Razão de imersão	Primeiro	Segundo	Terceiro	Quarto	Quinto
Caminhada lenta	0.77 (0.17)	0.69 (0.12)	0.59 (0.1)	0.38 (0.07)	0.27 (0.09)
Caminhada normal	0.61 (0.06)	0.58 (0.08)	0.45 (0.07)	0.33 (0.06)	0.26 (0.07)
Caminhada rápida	0.44 (0.10)	0.38 (0.05)	0.31 (0.05)	0.23 (0.04)	0.20 (0.04)
Corrida lenta	0.47 (0.10)	0.43 (0.11)	0.34 (0.10)	0.24 (0.06)	0.18 (0.03)
Corrida normal	0.36 (0.03)	0.35 (0.05)	0.27 (0.05)	0.22 (0.04)	0.15 (0.03)
Corrida rápida	0.33 (0.06)	0.30 (0.04)	0.22 (0.05)	0.17 (0.02)	0.15 (0.04)

Valores em média (desvio padrão).

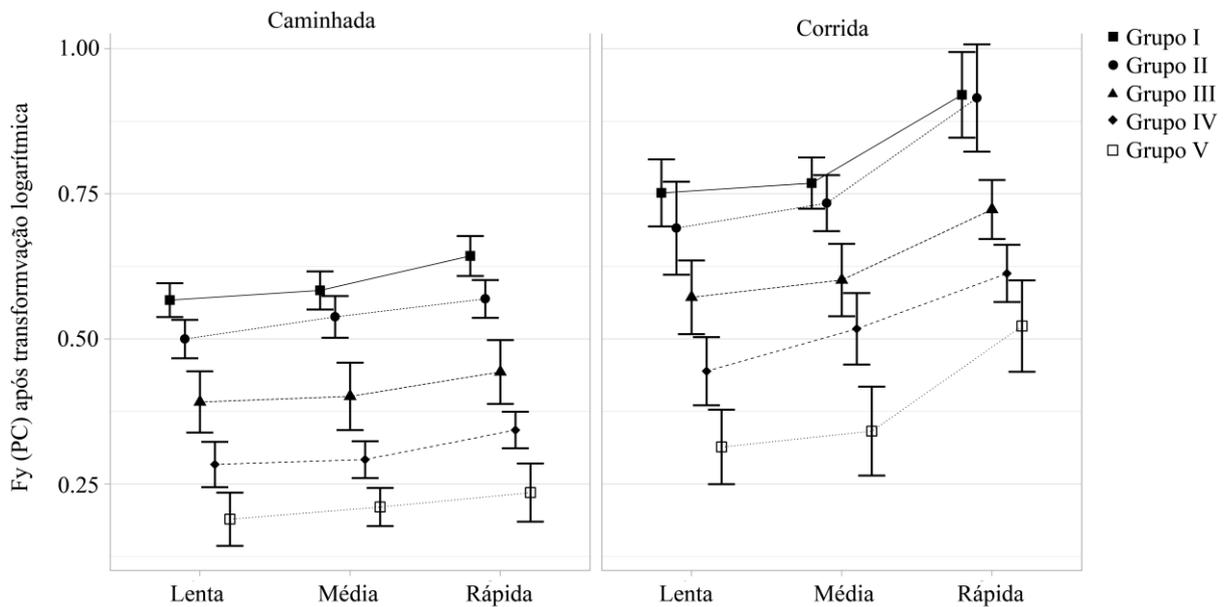
**Tabela 4.** Média e desvio padrão dos valores de impulso para componente horizontal ( $F_x$ ) para os diferentes níveis de imersão em função das velocidades (lenta, media e rápida) durante a caminhada e corrida na água.

Razão de imersão	Primeiro	Segundo	Terceiro	Quarto	Quinto
Caminhada lenta	0.04 (0.01)	0.06 (0.01)	0.07 (0.02)	0.06 (0.01)	0.06 (0.01)
Caminhada normal	0.07 (0.01)	0.08 (0.02)	0.10 (0.02)	0.09 (0.01)	0.08 (0.01)
Caminhada rápida	0.10 (0.01)	0.14 (0.03)	0.13 (0.02)	0.12 (0.02)	0.10 (0.01)
Corrida lenta	0.06 (0.01)	0.07 (0.01)	0.07 (0.03)	0.08 (0.01)	0.06 (0.01)
Corrida normal	0.08 (0.02)	0.10 (0.02)	0.09 (0.03)	0.09 (0.01)	0.07 (0.01)
Corrida rápida	0.11 (0.03)	0.12 (0.02)	0.10 (0.01)	0.10 (0.02)	0.07 (0.01)

Valores em média (desvio padrão).

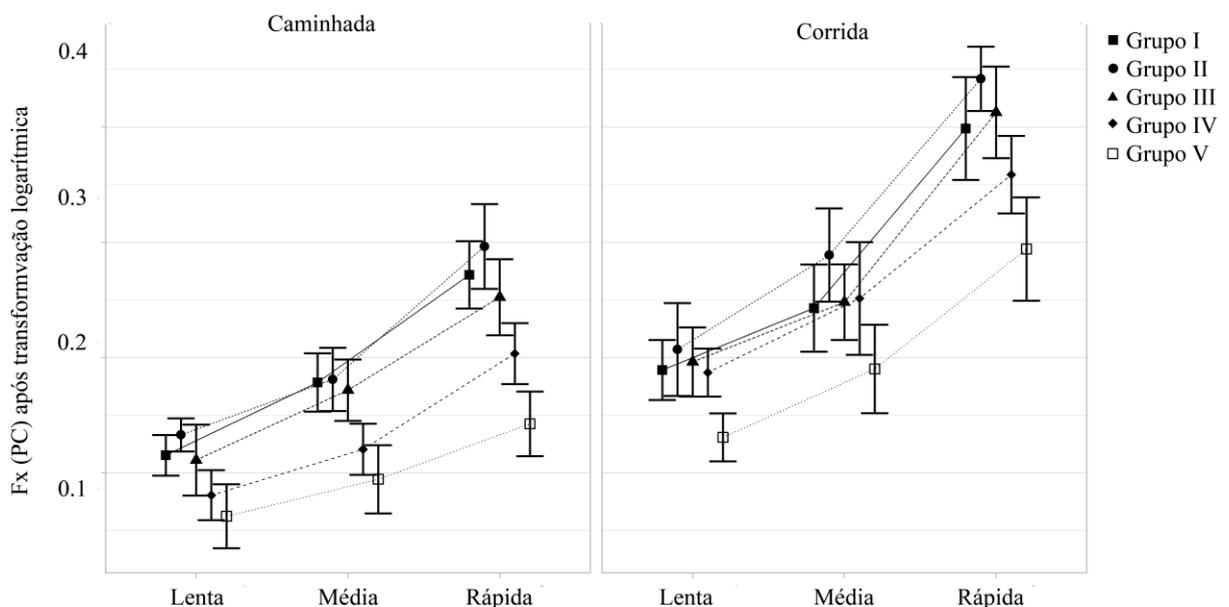
## APÊNDICE B

**Figura 1.** Média e erro padrão dos valores transformados da componente vertical ( $F_y$ ) para os diferentes níveis de imersão (I 35 a 45 %, II 45 a 55 %, III 55 a 65%, IV 65 a 75% e V 75 a 85%) em função das velocidades (lenta, media e rápida) para caminhada e corrida na água.



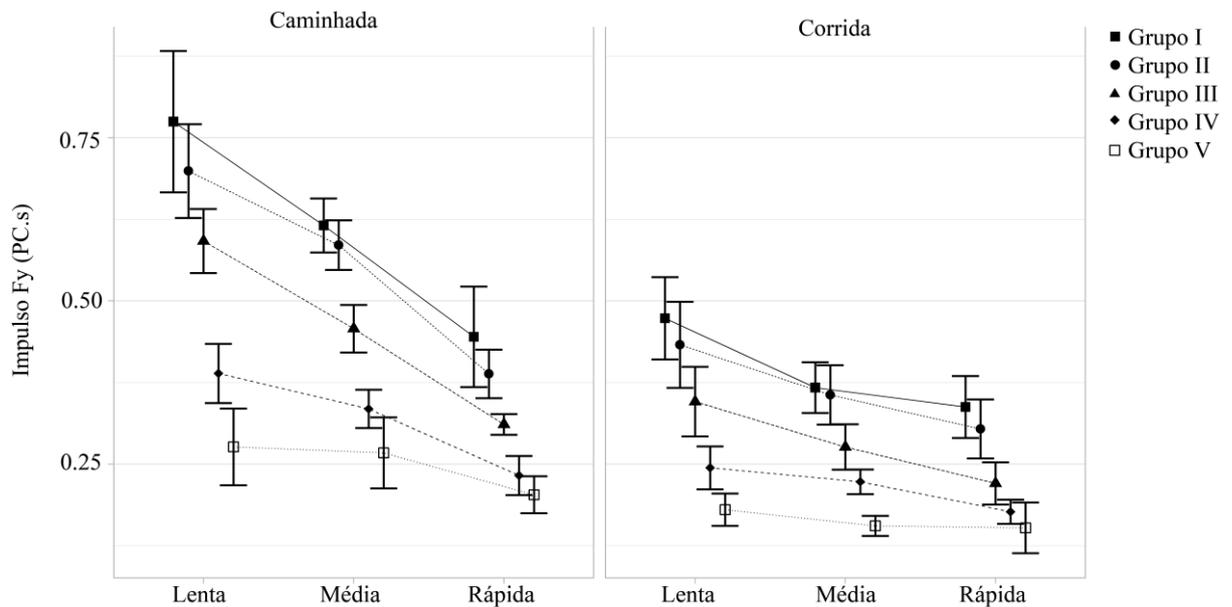
Fonte: Próprio autor.

**Figura 2.** Média e erro padrão dos valores transformados da componente horizontal ( $F_x$ ) para os diferentes níveis de imersão (I 35 a 45 %, II 45 a 55 %, III 55 a 65%, IV 65 a 75% e V 75 a 85%) em função das velocidades (lenta, media e rápida) para caminhada e corrida na água.



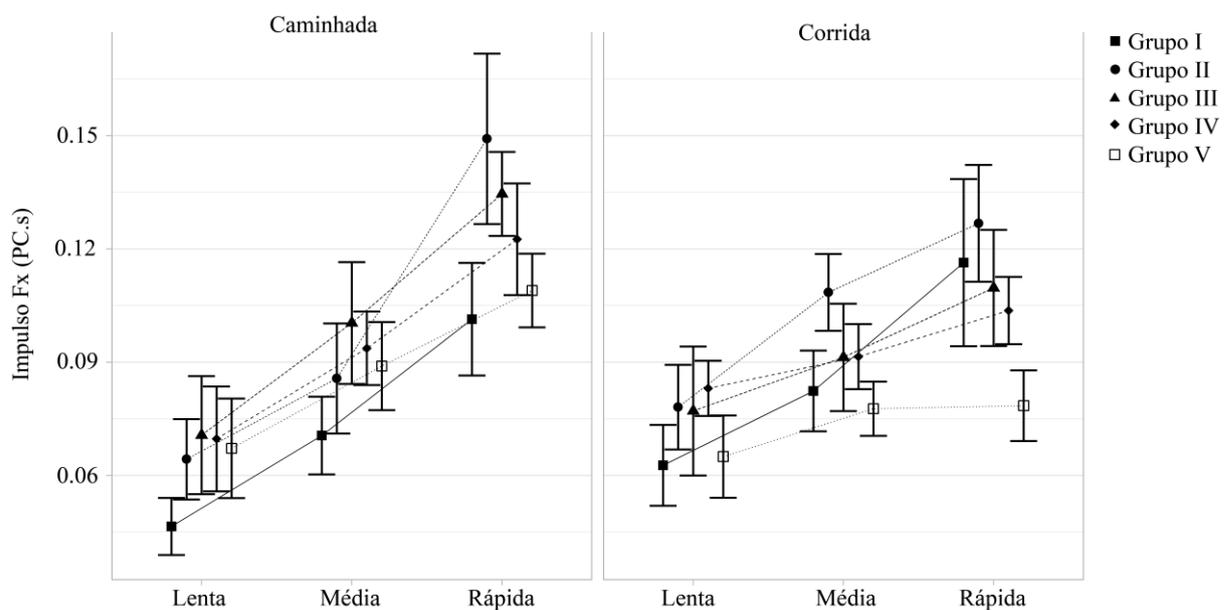
Fonte: Próprio autor.

**Figura 3.** Média e erro padrão dos valores de impulso da componente vertical ( $F_y$ ) para os diferentes níveis de imersão (I 35 a 45 %, II 45 a 55 %, III 55 a 65%, IV 65 a 75% e V 75 a 85%) em função das velocidades (lenta, média e rápida) para caminhada e corrida na água.



Fonte: Próprio autor.

**Figura 4.** Média e erro padrão dos valores de impulso da componente vertical ( $F_x$ ) para os diferentes níveis de imersão (I 35 a 45 %, II 45 a 55 %, III 55 a 65%, IV 65 a 75% e V 75 a 85%) em função das velocidades (lenta, média e rápida) para caminhada e corrida na água.



Fonte: Próprio autor.