



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO FÍSICA  
CENTRO DE DESPORTOS

Jader Sant' Ana

**Tecnologias *mobile*:** desenvolvimento, validade e aplicabilidade de novas soluções  
para o esporte e o exercício físico

Florianópolis

2023

Jader Sant' Ana

**Tecnologias *mobile***: desenvolvimento, validade e aplicabilidade de novas soluções  
para o esporte e o exercício físico

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação  
em Educação Física da Universidade Federal de  
Santa Catarina para a obtenção do título de  
Doutor em Biodinâmica do Desempenho Humano  
em Educação Física.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Diefenthaler.

Florianópolis

2023

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

Sant' Ana , Jader  
Tecnologias mobile: desenvolvimento, validade e aplicabilidade de novas soluções para o esporte e o exercício físico / Jader Sant' Ana ; orientador, Fernando Diefenthaler, 2024.  
129 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Desportos, Programa de Pós-Graduação em Educação Física, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Educação Física. 2. Novas tecnologias . 3. Aplicativos para Exercícios. 4. Teste incremental. 5. Aplicativos para Esportes. I. Diefenthaler, Fernando . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Educação Física. III. Título.

Jader Sant' Ana

**Tecnologias *mobile***: desenvolvimento, validade e aplicabilidade de novas soluções para o esporte e o exercício físico

O presente trabalho em nível de Doutorado foi avaliado e aprovado, 05 de dezembro de 2023, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Emerson Franchini, Dr.  
Universidade de São Paulo (USP)

Prof. Antônio Renato Pereira Moro, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Prof.<sup>a</sup> Daniele Detanico, Dr.<sup>a</sup>  
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Doutor em Educação Física.

---

Prof. Dr. Michel Milistetd  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Educação Física

---

Prof. Dr. Fernando Diefenthaler  
Orientador

Florianópolis, 2023.

Este trabalho é dedicado ao meu pai Jair (in memoriam), a minha mãe Valdete, a minha esposa Liliani, aos meus filhos Yasmim e Kauã e aos meus irmãos Cristofi e Daniel, vocês são os meus maiores e melhores orientadores na vida.

## AGRADECIMENTOS

Nesse momento tão importante da minha vida tenho muito a agradecer.

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus, que todos os dias, concede a mim serenidade, coragem e sabedoria.

Obrigado meu Deus, por conseguir concluir essa etapa.

Agradeço à minha família, que é a base de tudo que sou hoje, meus pais Jair José Sant' Ana (*in memoriam*) e Valdete Coelho Sant' Ana, meus irmãos Cristofi Sant' Ana e Daniel Sant' Ana, obrigado pelo carinho, amor, os ensinamentos e todas as contribuições ao longo da vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fernando Diefenthaler, pela competência, acessibilidade, dedicação, paciência, e por ter sido meu Mestre e guia na jornada acadêmica e científica.

Aos colegas de BIOMEC, Pesquisadores e Professores que contribuíram para o meu crescimento ao longo da jornada acadêmica e científica, Antonio Renato Pereira Moro, Daniele Detanico, Rafael Lima Kons, Raphael Luiz Sakugawa, Juliano Dal Pupo, Emerson Franchini, Victor Silveira Coswig, Lorival José Carminatti agradeço a todos vocês.

Em especial ao meu primo Maicon Nascimento Coelho, um irmão na jornada da vida, e, que tem fundamental importância no desenvolvimento das tecnologias objeto da presente tese, muito obrigado por fazer parte da minha vida desde a infância e por ser parte de mais este momento.

Ao Programa de Pós-Graduação em Educação Física da Universidade Federal de Santa Catarina, pela oportunidade de concluir um curso de qualidade e a todos seus professores que contribuíram para minha formação e aprimoramento profissional.

Ao Fundo de Apoio à Manutenção e Desenvolvimento do Ensino Superior (FUMDES), por meio do Programa de Bolsas Universitárias Catarinenses UNIEDU.

Aos professores da Banca Moro, Daniele e ao Emerson por toda a paciência, atenção e principalmente pelas contribuições que foram fundamentais para o desenvolvimento desta tese.

Aos muitos Mestres de artes marciais que tive ao longo da minha formação em especial ao Grão Mestre Joon Sik Kwak (*in memoriam*) por todos os seus ensinamentos.

Aos alunos e atletas que participaram das pesquisas e colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus atletas envolvidos com esportes de combate e a todos os meus alunos de treinamento físico, muito obrigado por confiarem em mim, sempre aprendo um pouco mais com cada um de vocês.

A San Corpore Academia e toda a equipe de profissionais e professores que trabalham nesta empresa, de alguma forma todos contribuíram para que eu conseguisse transpor mais essa etapa em minha vida.

O fato de algum nome não constar nesses agradecimentos não significa que não tenha importância, por esse motivo, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação e colaboraram para a realização de mais esse sonho.

Por fim, agradeço a minha esposa Liliani Roza Alves, e aos meus filhos Yasmim Alves Sant' Ana e Kauã Alves Sant' Ana que, vocês são o sentido do meu viver.

## RESUMO

As novas tecnologias advindas da indústria 4.0 surgem para suprir uma demanda de mercado, e, como solução prática para problemas que treinadores, atletas e praticantes de exercícios físicos enfrentam nas rotinas diárias. Porém, há necessidade de mais estudos que permitam a compreensão do delineamento prático do processo de desenvolvimento, validação e aplicabilidade de soluções voltadas à comunidade dos esportes e do exercício físico. Sendo assim, a presente tese tem como objetivo apresentar o delineamento e as pesquisas científicas necessárias ao processo de desenvolvimento de soluções em tecnologia *mobile*. Para tal, o presente trabalho tem como objetivo descrever o processo de desenvolvimento, validade e aplicabilidade prática dos aplicativos *ITStriker*, *TReaction* e *Safe Runner*, por meio da compreensão dos estudos científicos necessários para o desenvolvimento destas ferramentas, os artigos científicos de validade e os estudos resultantes que integram o uso dessas novas tecnologias. O tópico de resultados desta tese é composto por três artigos científicos relacionados à temática. O primeiro artigo é uma revisão de literatura, a respeito do uso de soluções móveis para avaliação biomecânica nos esportes de combate. Foram incluídos artigos publicados entre 2010 a 2022. A seleção final incluiu 49 artigos. A análise abrangeu especificamente a evolução temporal, periódicos mais relevantes e tipo de tecnologia utilizada. As análises de conteúdo exploraram a oportunidade do tema verificando se as soluções tecnológicas são validadas em estudo com pesquisas científicas. Adicionalmente, foi realizada pesquisa no buscador Google e diretamente na *PlayStore* para identificar aplicativos móveis com propostas para avaliação biomecânica em esportes de combate. Identificaram-se oportunidades para pesquisas futuras: 1) o que há de novo; 2) quais das tecnologias móveis voltadas aos esportes de combate apresentam referencial científico quanto à validade e confiabilidade dos métodos; 3) qual a aplicabilidade dos parâmetros (validade ecológica) identificados para técnicos, treinadores esportivos e atletas quanto à avaliação biomecânica em esportes de combate. O segundo artigo desta tese trata de pesquisa científica com aplicabilidade do App *ITStriker*. Estudo teve como objetivo verificar o efeito de uma sessão de treino de *pace* na intensidade correspondente à frequência de chute no limiar anaeróbio ( $FCh_{Lan}$ ) na resposta de carga interna e no desempenho da resposta motora do chute semicircular. Doze atletas faixa preta de taekwondo foram submetidos a duas sessões de avaliação: (1) realizaram o teste progressivo específico para taekwondo (TET); (2) realizaram uma sessão de treino *pace* com três rounds de 2 minutos por intervalo de 1 minuto na  $FCh_{Lan}$ . A frequência cardíaca (FC) foi mensurada ao longo de cada round e o desempenho da resposta motora antes e depois das sessões foram medidos. Durante o round 1, uma carga interna menor foi observada ( $167 \pm 10$  bpm) em comparação com o PDFC ( $179 \pm 8$  bpm;  $p = 0,035$ ). Durante os rounds 2 ( $178 \pm 10$  bpm;  $p = 0,745$ ) e 3 ( $179 \pm 8$  bpm;  $p = 1$ ), não foram observadas diferenças entre a carga interna e o PDFC. O desempenho das respostas motoras não apresentou diferenças. Uma potencialização no teste de salto com contra movimento pós-sessão de *pace* em comparação com os saltos pós round 1 ( $p = 0,012$ ) e 2 ( $p = 0,028$ ) foi observada. A carga interna (FC) observada na intensidade correspondente à  $FCh_{Lan}$  pode ser considerado na prescrição de treinamento, quando o objetivo for controlar a carga interna e obter respostas no desempenho motor sem induzir fadiga. O terceiro artigo desta tese teve relação com o processo de validade do App *Safe Runner*, por meio de estudo de confiabilidade da tecnologia. O estudo teve

como objetivo verificar a reprodutibilidade e confiabilidade dos parâmetros do treinamento aeróbio mensurados com aplicativo móvel durante o teste incremental máximo em esteira. Vinte sujeitos foram submetidos a teste e reteste incremental máximo em uma esteira ergométrica. Consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2MAX}$ ), frequência cardíaca máxima ( $FC_{MAX}$ ), velocidade máxima ( $V_{MAX}$ ), frequência cardíaca no limiar anaeróbio ( $FC_{Lan}$ ) e velocidade no limiar anaeróbio ( $V_{Lan}$ ) foram identificados com auxílio do App. ANOVA Two Way foi utilizada para amostras dependentes ou o teste de Friedman para dados não paramétricos, tamanho do efeito (d), coeficiente de correlação intraclasse (ICC) e Bland-Altman foram utilizados para verificar a confiabilidade. Não foram observadas diferenças significantes ( $p>0,05$ ) e os valores de ICC para  $VO_{2MAX}$  (0,996),  $FC_{MAX}$  (0,955),  $FC_{Lan}$  (0,939),  $V_{MAX}$  (0,996) e  $V_{Lan}$  (0,913) demonstraram confiabilidade. Os gráficos de Bland-Altman demonstraram a concordância das variáveis. Conclusão: O aplicativo *Safe Runner* é confiável para identificar parâmetros de treinamento aeróbio. Por fim, a presente tese destaca que há uma grande demanda para novas tecnologias, ressalta a necessidade de ampliar as abordagens voltadas ao modelo interativo de inovação, a fim de ampliar a integração entre as necessidades do mercado, o conhecimento científico já existente, e o desenvolvimento de novos métodos e soluções tecnológicas voltadas ao controle de parâmetros do treinamento e desempenho.

**Palavras-chave:** Novas Tecnologias; *Mobile APP*; Wearable; Teste Incremental; Esportes de Combate; Tempo de Reação.

## ABSTRACT

The new technologies arising from industry 4.0 arise as possible alternative to supply market demand and to present practical solutions to problems that coaches and athletes face in their daily routines. However, there is a need for further studies that allow understanding the process of development, validation and applicability of the *mobile* Apps that aim at solutions for sports and physical exercises community. Therefore, this thesis aims to present the design and scientific research necessary for the process of developing solutions in *mobile* technology and studies of validity and applicability of *mobile* technologies developed for physical exercise and sports. For this, the present work aims to outline the process to development, validity and practical applicability of the *ITStriker*, *TReaction* and *Safe Runner* applications, through the understanding of the scientific studies necessary for the development of these tools, the studies of scientific validity and the studies that integrate the use of these new technologies. The topic of the results this thesis consists of three scientific articles related to the theme. The first article is a literature review regarding the use of *mobile* solutions for biomechanical assessment in combat sports. Articles published between 2010 and 2022 were included. The final selection included 49 articles. The analysis specifically covered the temporal evolution, most relevant journals and type of technology used. The content analysis explored the opportunity of the theme, verifying if the technological solutions were validated in a study with scientific research. Additionally, a search was carried out on the Google search engine and directly on the *PlayStore* to identify technological solutions in *mobile* application software with proposals for biomechanical evaluation in combat sports. Opportunities for future research were identified: 1) what is new; 2) which of the *mobile* technologies that aim at solutions for combat sports have a scientific reference regarding the validity and reliability of the methods; 3) what is the applicability of the parameters (ecological validity) identified for coaches, sports coaches and athletes regarding the biomechanical assessment in combat sports. The second article of this thesis presented scientific research with the applicability of the *ITStriker* App. The aim of this study was to verify the effect of a pace training session on the intensity corresponding to the kick frequency at the anaerobic threshold ( $KF_{AT}$ ) on the internal load response and motor response performance of the roundhouse kick. Twelve black belt taekwondo athletes underwent two evaluation sessions: (1) performed the progressive specific test for taekwondo (PSTT); (2) performed a pace training session with three 2-min rounds with a 1-min interval at  $KF_{AT}$ . Heart rate (HR) throughout each round and motor response performance before and after the sessions was measured. During round 1, a lower internal load was observed ( $167 \pm 10$  bpm) compared with HRDP ( $179 \pm 8$  bpm;  $p = 0.035$ ). During rounds 2 ( $178 \pm 10$  bpm;  $p = 0.745$ ) and 3 ( $179 \pm 8$  bpm;  $p = 1$ ), no differences were observed for an internal load and HRDP. Motor response performance showed no differences. A potentiation in the post countermovement jump test compared with rounds 1 ( $p = 0.012$ ) and 2 ( $p = 0.028$ ) was observed. The internal load (HR) observed at the intensity corresponding to  $KF_{AT}$  can be considered in the prescription of training when the aim is to control the internal load responses without inducing fatigue. The third article in this thesis was related to process of the *Safe Runner* App validity, through a technology reliability study. The study aimed to verify the reproducibility and reliability of the aerobic training parameters measured with a *mobile* application during the maximum incremental test on a treadmill. Twenty subjects performed a maximum incremental test and retest. Maximum oxygen consumption ( $VO_{2MAX}$ ), maximum

heart rate ( $HR_{MAX}$ ), maximum velocity ( $V_{MAX}$ ), anaerobic threshold heart rate ( $HR_{AT}$ ), and anaerobic threshold velocity ( $V_{AT}$ ) were measured. The ANOVA Two Way was used for dependent samples or the Friedman test for non-parametric data, Effect Size (d), Intraclass Correlation Coefficient (ICC), and Bland-Altman were used to verify reliability. No significant differences were observed ( $p>0.05$ ). The ICC values for  $VO2_{MAX}$  (0.996),  $HR_{MAX}$  (0.955),  $HR_{AT}$  (0.939),  $V_{MAX}$  (0.996), and  $V_{AT}$  (0.913) demonstrated reliability. The Bland-Altman plots demonstrated the agreement of the variables. Conclusion: The *Safe Runner* App is reliable to identify aerobic training parameters. Finally, this thesis highlights that there is a great demand for new technologies; it emphasizes the need to expand the approaches aimed at the interactive model of innovation, in order to expand the integration between the needs of the market, the existing scientific knowledge, and the development of new methods and technological solutions aimed at controlling training parameters and performance.

**Keywords:** New Technologies; Mobile App; Wearable; Incremental Test; Combat Sports; Reaction Time.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma com a integração dos modelos focados na ciência, mercado e interativo para o desenvolvimento de uma cultura de inovação .....	29
Figura 2 – Representação do sistema do app <i>TReaction</i> .....	37
Figura 3 – Interface do App <i>ITStriker</i> com os seus recursos.....	40
Figura 4 – Interface do App <i>Safe Runner</i> com os seus recursos .....	42
Figura 5 – Número de publicações de novas tecnologias em biomecânica aplicadas aos esportes de combate por ano de 2010 até 2022 .....	51
Figura 6 – Número de publicações realizadas por periódico de 2010 até 2022 .....	62
Figura 7 – Número de estudos por modalidades de esportes de combate de 2010 até 2022 .....	63
Figura 8 – Número de estudos de 2010 até 2022 por país de origem dos autores...64	
Figura 9 – Fluxograma com orientações para o desenho metodológico de pesquisas visando novas tecnologias para avaliação biomecânica em esportes de combate...71	
Figura 10 – Desenho experimental do protocolo de avaliação antes, durante e após as sessões de <i>pace</i> .....	81
Figura 11 – Medida representativa dos parâmetros associados ao desempenho neuromuscular e motor do chute semicircular de um participante. A linha pontilhada (A) representa o estímulo visual; (B) representa o início da ativação eletromiográfica do músculo reto femoral; (C) representa a cinemática do início do maléolo lateral (movimento de 1 cm do marcador do maléolo lateral) e (D) representa o contato com o alvo (movimento de 1 cm do marcador do <i>punch ball</i> ).....	82
Figura 12 – Gráfico de <i>Bland-Altman</i> da concordância da FC <sub>MAX</sub> durante o teste incremental máximo em esteira e o reteste usando o aplicativo <i>Safe Runner</i> .....	103
Figura 13 – Gráfico de <i>Bland-Altman</i> da concordância da FC <sub>Lan</sub> durante o teste incremental máximo em esteira e o reteste usando o aplicativo <i>Safe Runner</i> .....	104
Figura 14 – - Gráfico de <i>Bland-Altman</i> da concordância da V <sub>MAX</sub> durante o teste incremental máximo em esteira e o reteste usando o aplicativo <i>Safe Runner</i> .....	105
Figura 15 – Gráfico de <i>Bland-Altman</i> da concordância da V <sub>Lan</sub> durante o teste incremental máximo em esteira e o reteste usando o aplicativo <i>Safe Runner</i> .....	106

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Título dos artigos que compõe a presente Tese e nome dos periódicos em que foram publicados os estudos relacionados ao desenvolvimento, validação e utilização das soluções <i>mobile</i> desenvolvidas .....	45
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estudos para fundamentar, desenvolver, validar e os que utilizam de novas soluções <i>mobile</i> na prática de exercício físico e os esportes .....	34
Tabela 2 – <i>Strings</i> de busca e total de artigos encontrados em cada base de dados .....	49
Tabela 3 – Estudos com novas tecnologias voltadas para avaliação biomecânica em esportes de combate .....	53
Tabela 4 – Novas soluções tecnológicas com softwares e soluções móveis com possibilidades de avaliação biomecânica em esportes de combate .....	65
Tabela 5 – Classificação de novas soluções tecnológicas para avaliação biomecânica em esportes de combate .....	68
Tabela 6 – Média e desvio padrão das variáveis obtidas durante o teste progressivo específico de Taekwondo (TET) (n = 12) .....	84
Tabela 7 – Média e desvio padrão das variáveis obtidas durante sessão de treino de <i>pace</i> em intensidade correspondente à intensidade do ponto de deflexão da frequência cardíaca (PDFC) (n = 12) .....	85
Tabela 8 - Média e desvio padrão do desempenho no teste de salto com contra movimento (CMJ) pré, pós e no intervalo dos <i>rounds</i> de <i>pace</i> realizados na intensidade correspondente à frequência do chute no limiar anaeróbio (n = 12) .....	85
Tabela 9 – Média e desvio padrão e tamanho do efeito (ES) dos parâmetros associados ao desempenho neuromuscular (CMJ) e motor do chute circular durante a avaliação pré e pós treino em <i>rounds</i> de <i>pace</i> em atletas de Taekwondo (n = 12)	87
Tabela 10 – Média e desvio padrão das variáveis de caracterização dos sujeitos que realizaram os testes (n = 20).....	98
Tabela 11 – Média e desvio padrão ou mediana e intervalo interquartil do consumo máximo de oxigênio estimado ( $VO_{2MAX}$ ), frequência cardíaca máxima ( $FC_{MAX}$ ), velocidade máxima ( $V_{MAX}$ ), frequência cardíaca no limiar anaeróbio ( $FC_{Lan}$ ) e velocidade do limiar anaeróbio ( $V_{Lan}$ ) em teste incremental máximo com aplicativo <i>Safe Runner</i> durante o teste e reteste (n = 20) .....	102
Tabela 12 – Média e desvio padrão do consumo máximo estimado de oxigênio ( $VO_{2MAX}$ ), frequência cardíaca no limiar anaeróbio ( $FC_{Lan}$ ) e velocidade no limiar anaeróbio ( $V_{Lan}$ ) determinado em teste incremental máximo com aplicativo <i>Safe Runner</i> e comparado com o determinado no software Excel (n = 20).....	106

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACSM	American College of Sports Medicine
App	Applications
DBA	Dynamic time warping barycenter averaging
DC	Densidade corporal
EMG	Eletromiografia
FC	Frequência cardíaca
FCh	Frequência de chute
FCh <sub>Lan</sub>	Frequência de chute de limiar anaeróbio
FCh <sub>MAX</sub>	Frequência de chute máximo
FC <sub>Lan</sub>	Frequência cardíaca de limiar anaeróbio
FC <sub>MAX</sub>	Frequência cardíaca máxima
FC <sub>MAXEST</sub>	Frequência cardíaca máxima estimada
ICC	Intraclass correlation coefficient
IMU	Inertial measurement unit
MEMS	Microelectromechanical systems
MG	Massa gorda
MM	Massa magra
MMA	Mixed martial arts
MMD	Mínima mudança detectável
PDFC	Ponto de deflexão da frequência cardíaca
TET	Teste progressivo específico para taekwondo
TI	Teste incremental máximo
V <sub>Lan</sub>	Velocidade de limiar anaeróbio
V <sub>MAX</sub>	Velocidade máxima
VO <sub>2MAX</sub>	Consumo máximo de oxigênio

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>19</b>
1.1	SITUAÇÃO PROBLEMA GERAL .....	22
1.2	SITUAÇÃO PROBLEMA (Estudo 1).....	22
1.3	SITUAÇÃO PROBLEMA (Estudo 2).....	22
1.4	SITUAÇÃO PROBLEMA (Estudo 3).....	22
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>22</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	23
<b>2.1.1</b>	<b>Objetivos específicos (Estudo 1)</b> .....	<b>23</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Objetivos específicos (Estudo 2)</b> .....	<b>23</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Objetivos específicos (Estudo 3)</b> .....	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>HIPÓTESES</b> .....	<b>24</b>
3.1	HIPÓTESES FORMULADAS PARA O ESTUDO 2.....	24
3.2	HIPÓTESE FORMULADA PARA O ESTUDO 3.....	24
<b>4</b>	<b>DEFINIÇÃO DE VARIÁVEIS</b> .....	<b>25</b>
<b>5</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>28</b>
5.1	MODELO SISTEMÁTICO DE INOVAÇÕES E DESENVOLVIMENTO DE NOVAS TECNOLOGIAS .....	28
5.2	NOVAS TECNOLÓGICAS PARA IDENTIFICAR PARÂMETROS FISIOLÓGICOS E BIOMECÂNICOS DURANTE O ESPORTE E O EXERCÍCIO.....	30
5.3	DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO CIENTÍFICA DE NOVAS TECNOLOGIAS <i>MOBILE</i> APLICADAS AO ESPORTE E O EXERCÍCIO	31
5.4	DESENVOLVIMENTO E ESTUDOS DE VALIDADE E APLICABILIDADE DOS APLICATIVOS <i>TREaction</i> , <i>ITStriker</i> E <i>SAFE RUNNER</i> .....	33
<b>5.4.1</b>	<b>Desenvolvimento do Aplicativo <i>TReaction</i></b> .....	<b>35</b>
<b>5.4.2</b>	<b>Desenvolvimento do Aplicativo <i>ITStriker</i></b> .....	<b>38</b>
<b>5.4.3</b>	<b>Desenvolvimento do App <i>Safe Runner</i></b> .....	<b>41</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>45</b>
6.1	ARTIGOS DA TESE RELACIONADOS À TECNOLOGIA <i>MOBILE</i> .....	45

**CAPÍTULO I – O USO DE SOLUÇÕES *MOBILE* PARA AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA NOS ESPORTES DE COMBATE: UMA REVISÃO NARRATIVA .46**

	<b>RESUMO.....</b>	<b>46</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>46</b>
<b>2</b>	<b>MÉTODOS .....</b>	<b>48</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>51</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>71</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>74</b>

**CAPÍTULO II – O EFEITO DE UMA SESSÃO DE TREINAMENTO DE *PACE* NA CARGA INTERNA E PARÂMETROS NEUROMUSCULARES EM ATLETAS DE TAEKWONDO .....**

	<b>RESUMO.....</b>	<b>76</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>76</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>79</b>
2.1	PARTICIPANTES .....	79
2.2	DESIGN EXPERIMENTAL .....	79
2.3	PROCEDIMENTOS.....	80
2.3.1	<b>Avaliação Antropométrica .....</b>	<b>80</b>
2.3.2	<b>Teste Progressivo Específico para Taekwondo - TET .....</b>	<b>80</b>
2.3.3	<b>Protocolo para Sessão de Treinamento de <i>Pace</i>.....</b>	<b>81</b>
2.3.4	<b>Determinação do Tempo de Reação Pré-Motor, Tempo de Reação Motor e Tempo de Resposta.....</b>	<b>82</b>
2.3.5	<b>Determinação do Tempo de Movimento, Tempo de Performance e o Retardo Eletromecânico .....</b>	<b>83</b>
2.3.6	<b>Teste de Salto Vertical .....</b>	<b>83</b>
2.4	ANALISES ESTATÍSTICA.....	84
<b>3</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>84</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>88</b>
<b>5</b>	<b>APLICAÇÕES PRÁTICAS.....</b>	<b>92</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>93</b>

<b>CAPÍTULO III – CONFIABILIDADE DOS PARÂMETROS DO TREINAMENTO AERÓBIO MENSURADOS COM APLICATIVO MÓVEL DURANTE O TESTE INCREMENTAL MÁXIMO EM ESTEIRA.....</b>		<b>94</b>
	<b>RESUMO.....</b>	<b>94</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>94</b>
<b>2</b>	<b>MÉTODOS .....</b>	<b>96</b>
2.1	DESIGN EXPERIMENTAL .....	96
2.2	SUJEITOS DO ESTUDO.....	97
2.3	COLETA DE DADOS .....	98
<b>2.3.1</b>	<b>Avaliação antropométrica.....</b>	<b>98</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Teste incremental máximo em esteira.....</b>	<b>99</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Identificação do VO<sub>2</sub>MAX por meio da Equação de Estimativa Proposta pelo ACSM .....</b>	<b>99</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Ponto de deflexão da frequência cardíaca (PDFC) usando o software Excel .....</b>	<b>100</b>
2.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	100
<b>3</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>101</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>107</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>110</b>
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>111</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>114</b>
	<b>APENDICE A – ARTIGO 1.....</b>	<b>127</b>
	<b>APENDICE B – ARTIGO 2.....</b>	<b>128</b>
	<b>APENDICE C – ARTIGO 3.....</b>	<b>129</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Inovação é compreendida como algo novo ou melhorado, com aplicabilidade para pequeno ou grande número de pessoas e com propósito de gerar retorno econômico, financeiro ou social (GRIZENDI, 2011). Além disso, no contexto esportivo e voltado para intervenções com programas de exercícios físicos, as propostas inovadoras têm por finalidade oportunizar maior controle do treinamento, dos indicadores do desempenho e para o rendimento esportivo (FERREIRA et al., 2020). Dessa forma, novas tecnologias com o uso de aplicativos móveis em *fitness*, saúde e ciência do esporte têm crescido exponencialmente (MUNTANER-MAS et al., 2019).

Estudo conduzido por mais de 15 anos sobre as tendências do mercado esportivo, *fitness* e saúde, aponta que os treinos com monitoramento remoto se encontram no primeiro lugar e que as tecnologias vestíveis, nos últimos 6 anos, figuram sempre entre as três primeiras posições. Além disso, aplicativos móveis têm despontado entre as 20 principais tendências do mercado na décima segunda posição (THOMPSON, 2021). Tal fato, demonstra a ascensão e consolidação do treinamento com o uso das novas tecnologias como soluções para a prática esportiva e de exercícios físicos.

Adicionalmente, o atual cenário da indústria 4.0 tem amplificado as possibilidades para novas tecnologias que facilitam a comunicação, o acesso à informação e o tratamento e incorporação de dados e métodos científicos em algoritmos por meio da integração do uso de tecnologia *mobile*. A grande variedade de *wearable* e sensores disponíveis permitem cada vez mais acesso à aquisição de métricas, dados biológicos, mecânicos e de rastreamento, em tempo real (SANT'ANA et al., 2023). O desenvolvimento destas novas tecnologias é resultante de propostas inovadoras com foco na necessidade de mercado e da utilização de métodos cientificamente válidos com aplicabilidade para solucionar problemas de treinadores, atletas e praticantes de exercícios físicos, com propósito de auxiliar na tomada de decisões de maneira eficiente, auxiliar na performance esportiva e nas intervenções de programas de treinamento (FUENTES et al., 2016; SEO et al., 2016; SESHADRI et al., 2019; SANT'ANA et al., 2021).

Na avaliação biomecânica voltada ao esporte e prática de exercícios, as tecnologias que mais predominam são o uso de câmeras e sistemas com

capacidade de aquisição de imagens de movimentos em alta velocidade (FALCO et al., 2013; HERMAM et al., 2008), e o uso de sensores inerciais contendo acelerômetros com sistemas micro eletromecânicos capazes de registrar os movimentos de rotação e aceleração dos segmentos corporais (SANT' ANA et al., 2014; 2017). Recentemente, estudos apontam para o aumento do uso de *wearable* compostos de um conjunto de sensores inerciais (WORSEY et al., 2019), além de novos métodos usando soluções com aplicativos para *smartphone* capazes de avaliar e fornecer informações de parâmetros acerca do desempenho neuromuscular e indicadores de capacidade física de atletas e praticantes de atividades físicas em tempo real (HAYNES et al., 2019; COSWIG et al., 2019; SANT' ANA et al., 2021).

Além de tecnologias envolvendo parâmetros biomecânicos, também tem sido observado o surgimento de ferramentas que se propõem ao controle da carga de treinamento em tempo real e que permitem a determinação de parâmetros e indicadores fisiológicos, tais como: variabilidade da frequência cardíaca (GAMBASSI et al., 2020), capacidade e potência aeróbios com testes que identificam indicadores de carga externa e interna, associados ao limiar anaeróbio e ao consumo máximo de oxigênio estimado. Essas ferramentas permitem determinar indicadores da carga interna máxima (frequência cardíaca máxima -  $FC_{MAX}$ ) e submáxima (i.e., frequência cardíaca referente ao limiar anaeróbio -  $FC_{Lan}$ ), por meio de protocolos validados cientificamente para auxiliar no diagnóstico individual e para prescrição e distribuição das cargas de treinamento (SANT' ANA et al., 2019; 2021; 2023; OLIVEIRA et al., 2022). Nesse sentido, os aplicativos *Safe Runner* e *ITStriker* foram desenvolvidos para auxiliar na identificação de parâmetros de carga interna e externa durante a realização de testes incrementais de corrida e durante protocolo incremental para esportes de combate, determinando-se indicadores de capacidade e potência aeróbios, além de auxiliar no controle e nas adaptações do treinamento (SANT' ANA; DIEFENTHAELER, 2019; SANT' ANA et al., 2021; 2023; OLIVEIRA et al., 2022). Esses aplicativos são exemplos de soluções recentes voltadas para o mercado do esporte, saúde e *fitness*.

Sendo assim, esse atual contexto que se apresenta, com diferentes propostas inovadoras na área das avaliações biomecânicas e fisiológicas e orientado aos exercícios físicos e os esportes, requer: (1) estudos capazes de apresentar e levantar informações sobre o processo de desenvolvimento, validade e

aplicabilidade destas novas tecnologias; (2) estudos capazes de apontar se as propostas inovadoras de fato apresentam técnicas e métodos que tenham aplicabilidade nas rotinas práticas e que apontem qual o nível de acessibilidade destas ferramentas aos treinadores e atletas; (3) estudos que verifiquem se essas ferramentas apresentam validade científica e ecológica que possam solucionar e auxiliar de forma efetiva os problemas vivenciados pela comunidade envolvidos com prática dos esportes e exercícios físico.

Então, diante deste novo contexto e da carência de um delineamento do processo de pesquisa científica voltada ao desenvolvimento de propostas inovadoras em avaliações e controle de parâmetros biomecânicos e fisiológicos direcionados à prática de exercícios físicos e dos esportes, bem como, da necessidade de conhecer melhor o processo de transformação entorno de novas tecnologias *mobile* e ampliar a compreensão do delineamento prático do processo de desenvolvimento, validação e aplicabilidade de novas soluções, foi desenvolvida a presente tese.

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo ampliar a compreensão do processo de desenvolvimento, validação e aplicabilidade de novas soluções que possam impactar de forma efetiva nos problemas vivenciados pela comunidade que atua com a prática dos esportes e do exercício físico. Com isto, essa tese tem como objetivo delinear o processo de desenvolvimento, validade e aplicabilidade prática de aplicativos *mobile*, mais especificamente dos APPs *ITStriker*, *TReaction* e *Safe Runner*, por meio da compreensão dos estudos científicos necessários para o desenvolvimento dessas ferramentas, os artigos científicos de validade e os estudos resultantes que integram o uso dessas novas tecnologias. Assim, a parte de resultados desta tese é composta pelo formato alternativo com três artigos científicos produzidos ao longo do doutoramento, e relacionado à presente temática, sendo cada um desses considerado um capítulo independente.

O primeiro artigo trata-se de uma revisão de literatura a respeito do uso de soluções móveis para avaliação biomecânica nos esportes de combate. Nesse, objetiva-se investigar a produção científica sobre a temática, considerando a frequência de estudos em periódicos por anos, publicações por países dos autores e publicações por modalidades de esportes de combate, bem como, explorar o tipo de tecnologia utilizada para avaliação biomecânica nos esportes de combate. O segundo artigo é um estudo original envolvendo a aplicabilidade do App *ITStriker*

com o objetivo de verificar o efeito de uma sessão de treinamento na intensidade correspondente à frequência de chute no limiar anaeróbio ( $FCh_{Lan}$ ) sobre a resposta de carga interna e no desempenho da resposta motora do chute semicircular. Por fim, o terceiro artigo da tese teve relação com o processo de validade do App *Safe Runner*, por meio de estudo de confiabilidade da tecnologia, com o objetivo de verificar a reprodutibilidade e confiabilidade dos parâmetros do treinamento aeróbio mensurados com aplicativo móvel durante o teste incremental máximo em esteira.

### 1.1 SITUAÇÃO PROBLEMA GERAL

Compreender o delineamento do processo de pesquisa científica voltada ao desenvolvimento de propostas inovadoras, tecnologias *mobile* com soluções voltadas para avaliação diagnóstica, controle de parâmetros biomecânicos e fisiológicos direcionados aos esportes e prática de exercícios físicos.

### 1.2 SITUAÇÃO PROBLEMA (ESTUDO 1)

Qual o cenário a respeito do desenvolvimento e da produção científica relacionada às soluções *mobile* para avaliação biomecânica nos esportes de combate.

### 1.3 SITUAÇÃO PROBLEMA (ESTUDO 2)

Compreender o efeito de uma sessão de treino em intensidade identificada com o App *ITStriker*, correspondente à intensidade da  $FCh_{Lan}$ , na resposta de carga interna e no desempenho da resposta motora do chute semicircular.

### 1.4 SITUAÇÃO PROBLEMA (ESTUDO 3)

Investigar se os parâmetros do treinamento aeróbio identificados com o App *Safe Runner* apresentam reprodutibilidade e confiabilidade.

## 2 OBJETIVOS

## 2.1 OBJETIVO GERAL

Apresentar o delineamento e as pesquisas científicas necessárias ao processo de desenvolvimento de soluções em tecnologia *mobile*, voltadas para auxiliar no diagnóstico, controle e intervenção durante a prática de exercícios físicos e apresentar estudos de validade e aplicabilidade das tecnologias *mobile* voltadas ao exercício físico e os esportes.

### 2.1.1 Objetivos específicos (Estudo 1)

Investigar e ampliar o conhecimento sobre o desenvolvimento e produção científica relacionada às soluções *mobile* para avaliação biomecânica nos esportes de combate.

### 2.1.2 Objetivos específicos (Estudo 2)

Verificar o efeito de uma sessão de treino em intensidade identificada com o App *ITStriker*, correspondente a  $FCh_{Lan}$ , na resposta de carga interna e no desempenho da resposta motora do chute semicircular.

### 2.1.3 Objetivos específicos (Estudo 3)

Verificar a reprodutibilidade e confiabilidade dos parâmetros do treinamento aeróbio mensurados com aplicativo móvel durante o teste incremental máximo em esteira.

### 3 HIPÓTESES

As hipóteses foram desenvolvidas para os estudos 2 (Capítulo 2) e 3 (Capítulo 3), de acordo com os objetivos estipulados.

#### 3.1 HIPÓTESES FORMULADAS PARA O ESTUDO 2

H0 – O treino de *pace* em intensidade correspondente a  $FCh_{Lan}$  não promoverá respostas de carga interna semelhantes as observadas na intensidade determinada pelo ponto de deflexão da frequência cardíaca (PDFC) durante o teste incremental e os três rounds na intensidade correspondente a  $FCh_{Lan}$  não causará uma queda no desempenho do salto contramovimento (CMJ) e prejudicará os parâmetros associados ao tempo de resposta motora do chute semicircular de atletas de taekwondo.

H1 - O treino de *pace* em intensidade correspondente a  $FCh_{Lan}$  promoverá respostas de carga interna semelhantes as observadas na intensidade determinada pelo PDFC durante o teste incremental.

H2 - Três *rounds* na intensidade correspondente a  $FCh_{Lan}$  causará uma queda no desempenho do CMJ e prejudicará os parâmetros associados ao tempo de resposta motora do chute semicircular de atletas de taekwondo.

#### 3.2 HIPÓTESE FORMULADA PARA O ESTUDO 3

H0 - O App *Safe Runner* não será uma ferramenta acurada, reprodutível e com confiabilidade para aquisição de parâmetros aeróbios.

H1 - O App *Safe Runner* será uma ferramenta acurada, reprodutível e com confiabilidade para aquisição de parâmetros aeróbios.

#### 4 DEFINIÇÃO DE VARIÁVEIS

**Frequência Cardíaca Máxima** ( $FC_{MAX}$ ) – Conceitual: é a maior frequência cardíaca atingida durante teste de esforço máximo (ARAÚJO et al., 1980). Operacional: os dados de FC, mensurados durante o teste progressivo específico para taekwondo - TET e o protocolo de teste incremental na esteira a partir de um cardiofrequencímetro serão reduzidos à média de 5 s e a  $FC_{MAX}$  será considerada como o maior valor obtido durante o teste.

**Velocidade Máxima** ( $V_{MAX}$ ) – Conceitual: velocidade máxima atingida em teste incremental na esteira. Operacional: a velocidade máxima foi identificada considerando a maior velocidade atingida no teste incremental de esteira. Para considerar que a  $V_{MAX}$  foi atingida, adotou-se como critério somente a velocidade máxima atingida caso o indivíduo ultrapasse mais do que 30 s do tempo do último estágio, caso contrário para determinar o PV foi adotada a velocidade do estágio anterior.

**Frequência de Chute máxima** ( $FCH_{MAX}$ ) – Conceitual: frequência de chute máxima atingida durante o TET, sendo o intervalo de execução entre um chute e outro determinado por um sinal sonoro com auxílio do App *ITStriker* (SANT' ANA et al., 2021). Operacional: para determinar que  $FCH_{MAX}$ , foram utilizados os seguintes critérios: (1) o praticante deixar de acompanhar a frequência de chutes (determinada por sinal sonoro); (2) não alcançar a altura previamente estipulada e demarcada com colete de taekwondo; (3) exaustão voluntária. Estes critérios foram observados por um avaliador durante a aplicação do protocolo do teste.

**Ponto de Deflexão da Frequência Cardíaca** (PDFC) – Conceitual: intensidade de esforço relativa durante teste incremental, na qual a frequência cardíaca tende a apresentar uma estagnação ou desaceleração (CONCONI et al., 1996). Operacional: o Ponto de Deflexão da Frequência Cardíaca foi determinado por meio do algoritmo presente nos aplicativos, ajustando os pontos da curva de frequência cardíaca *versus* as intensidades dos testes máximos por meio de uma função polinomial de terceira ordem. Então, ligando-se os dois extremos da curva com uma reta, o ponto mais distante entre as duas linhas foi considerado como PDFC (KARA et al., 1996).

**Velocidade de Limiar Anaeróbio ( $V_{Lan}$ )** – Conceitual: velocidade da esteira durante o teste incremental correspondente ao PDFC e determinada pelo método  $D_{MAX}$  (KARA et al., 1996). Operacional: a  $V_{Lan}$  foi determinada pelo algoritmo presente no aplicativo *Safe Runner*, ajustando os pontos da curva de frequência cardíaca *versus* as velocidades em  $km \cdot h^{-1}$  do teste incremental máximo em esteira por meio de uma função polinomial de terceira ordem, então, se ligando os dois extremos da curva com uma reta, o ponto mais distante entre as duas linhas foi considerado como  $V_{Lan}$ .

**Frequência de Chute do Ponto de Deflexão da Frequência Cardíaca ( $FCH_{Lan}$ )** – Conceitual: frequência de chute do estágio relativo do TET correspondente ao PDFC e determinada pelo método  $D_{MAX}$  (SANT' ANA et al., 2019). Operacional: foi determinada pelo algoritmo presente no aplicativo *ITStriker*, ajustando os pontos da curva de frequência cardíaca *versus* as FCH do TET por meio de uma função polinomial de terceira ordem, então, ao ligar os dois extremos da curva com uma reta, o ponto mais distante entre as duas linhas foi considerado como  $FCH_{Lan}$ .

**Tempo de Reação Pré-motor** – Conceitual: tempo de intervalo entre o estímulo visual e o início da ativação (eletromiografia) e o sinal de ativação do músculo (MAGILL, 2007). Operacional: foi determinado em cada chute executado como um critério para determinar o tempo de reação pré-motor, baseado na ativação muscular do reto femoral, usando eletromiografia de superfície (EMG). A atividade EMG de linha de base foi avaliada 150 ms antes de cada sinal de luz usado para determinar a execução do chute. Um aumento no sinal EMG igual a cinco vezes o desvio padrão deste valor de referência foi usado para determinar o tempo de reação pré-motor (HOPPER et al., 1998).

**Tempo de Reação Motor Cinemático** – Conceitual: definido como o tempo total entre a apresentação do estímulo visual até o momento que inicia o movimento (SCHMIDT; WRISBERG, 2000). Operacional: definido como o tempo total entre a apresentação do estímulo visual até o início do movimento do maléolo lateral (movimento de 1 cm do marcador do maléolo lateral).

**Tempo de Resposta** – Conceitual: definido como o tempo total entre a apresentação do estímulo visual até o momento em que o golpe atingiu o alvo

(SANT' ANA et al., 2017). Operacional: foi determinado pelos marcadores reflexivos (*punch ball*) e mostrando um movimento de 1 cm.

**Tempo de Movimento** – Conceitual: definido como o intervalo de tempo entre o tempo de resposta e o tempo de reação motor cinemático. Operacional: foi determinado pelos intervalos de tempo obtidos pelos marcadores reflexivos do maléolo lateral e *punch ball*.

**Tempo de Performance** – Conceitual: definido como o intervalo de tempo entre o tempo de reação pré-motor e o tempo de resposta. Operacional: foi determinado pelos intervalos de tempo obtidos pelo sinal de ativação muscular EMG e marcador reflexivo do *punch ball*.

**Retardo Eletromecânico** – Conceitual: definido como a diferença entre o tempo de reação pré-motora e o tempo de reação motor cinemática. Operacional: foi determinado pelos intervalos de tempo obtidos pelo sinal de ativação muscular EMG e marcador reflexivo do maléolo lateral.

## 5 REVISÃO DE LITERATURA

### 5.1 MODELO SISTEMÁTICO DE INOVAÇÕES E DESENVOLVIMENTO DE NOVAS TECNOLOGIAS

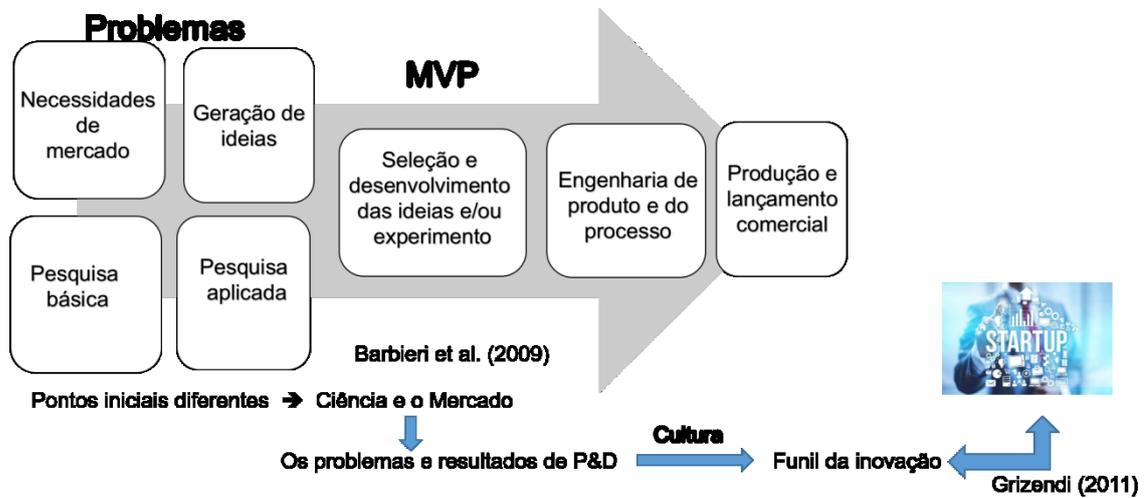
Inovação é compreendida como algo novo ou melhorado, com aplicabilidade para um pequeno ou grande número de pessoas e com propósito de gerar retorno econômico, financeiro ou social (GRIZENDI, 2011). Alguns dos modelos de inovação são: 1) modelo focado na ciência; 2) modelo focado no mercado; e 3) modelo interativo.

O modelo focado na ciência é conhecido como aquele, no qual os processos de inovações se originam na pesquisa básica ou aplicada desencadeando um fluxo de conhecimento (Figura 1). Neste modelo, são apresentados uma sucessão de estágios entre as atividades científicas de base até a introdução dos novos produtos no mercado (BARBIERI; ÁLVARES, 2014).

O modelo focado no mercado, parte do princípio de que a geração de ideias para inovações surge de manifestações do mercado e da viabilização do produto pelo processo de validação do mínimo produto viável (MVP), desenvolvido com base na demanda e procura (BARBIERI; ÁLVARES, 2014).

No modelo interativo, a inovação deriva de iniciativas que vão possibilitar inovações combinadas, a partir de interações, inter e entre empresas, agregando o sistema de ciência e tecnologia, partindo-se de necessidades do mercado, apoiando-se no conhecimento científico já existente ou buscando um novo (Figura 1). Esse modelo engloba atividades diferenciadas realizadas ao mesmo tempo, não havendo uma sequência, mas uma interação entre todas as atividades (GRIZENDI, 2011).

Figura 1 – Fluxograma com a integração dos modelos focados na ciência, mercado e interativo para o desenvolvimento de uma cultura de inovação



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

No esporte, as propostas inovadoras têm por finalidade oportunizar maior controle do treinamento e de indicadores de desempenho (FERREIRA et al., 2020). O cenário da indústria 4.0 que engloba inovações tecnológicas nos campos de automação, controle e tecnologia da informação, aplicadas aos processos de manufatura com sistemas cyber-físicos, internet das coisas e internet dos serviços (CULOT et al., 2020), tem amplificado as possibilidades para novas tecnologias que facilitam a comunicação, o acesso à informação, tratamento e incorporação de dados e métodos científicos em algoritmos por meio da integração do uso de *mobile technology* (aplicativos) e de uma grande variedade de *wearable* (sensores inerciais) e sensores que permitem cada vez mais acesso à aquisição de métricas, dados biológicos, mecânicos e de rastreamento em tempo real. O desenvolvimento destas novas tecnologias é o resultado de propostas inovadoras com foco na necessidade de mercado e com utilização de métodos cientificamente válidos com aplicabilidade para solucionar problemas de treinadores e atletas (FUENTES et al., 2016; SEO et al., 2016; SESHADRI et al., 2019).

Portanto, tendo em vista que há uma grande quantidade de demandas de soluções para o enfrentamento de problemas em diagnóstico, planejamento, controle e métricas de feedback e resultados necessários para dar suporte à treinadores, técnicos, atletas e todos que estejam envolvidos com programas de exercícios e intervenções, é fundamental desenvolver à cultura de pesquisa e desenvolvimento por meio da integração entre ciência e mercado e uma visão

interativa, a fim de fomentar a inovação (Figura 1), entre os diversos agentes que compõem o ecossistema esportivo e da Educação Física com intuito de auxiliar na tomada de decisões de maneira eficiente e na construção de estratégias relacionadas à prescrição do exercício, à performance esportiva e às intervenções com programas de treinamento.

## 5.2 NOVAS TECNOLÓGICAS PARA IDENTIFICAR PARÂMETROS FISIOLÓGICOS E BIOMECÂNICOS DURANTE O ESPORTE E O EXERCÍCIO

As tecnologias estão cada vez mais presentes nas práticas de atividade física e nas pesquisas com objetivo de avaliar e quantificar em tempo real, de forma não invasiva, parâmetros biomecânicos, fisiológicos e psicológico, que possam auxiliar na performance dos atletas e aumentar o controle de indicadores e nas intervenções com a prática de exercícios físico. A partir dessas informações, pode-se otimizar a recuperação dos atletas, reduzir o risco de lesões e aumentar o grau de segurança e precisão das cargas externas impostas e as cargas internas observadas (GABBETT et al., 2017; MÜLLER et al., 2018; SESHADRI et al., 2019). Segundo o Colégio Americano de Medicina do Esporte (ACSM), as novas tecnologias *wearable* têm configurado nos últimos 6 anos entre as primeiras posições das tendências esporte, *fitness* e *health* (THOMPSON, 2021). Associado a isso, dados apontam que o setor movimentava cerca de 4,2 trilhões de dólares a partir do mercado do bem-estar, esporte e *fitness* (GWI, 2018). Portanto, além de trazer grandes oportunidades para o ecossistema do mercado esportivo, saúde e *fitness*, tais informações apontam para a consolidação dessas novas tecnologias como ferramentas que agregam valor a todos que estejam envolvidos com as intervenções em programas de exercícios e esportivos.

Concomitante ao crescente mercado, há um aumento das investigações científicas sobre os avanços tecnológicos, principalmente em equipamentos *wearable*, cada vez mais utilizadas nas diferentes áreas relacionadas ao exercício físico e aos esportes (SAPONARA, 2017; MÜLLER et al., 2018; WORSEY et al., 2019). Nas avaliações biomecânicas voltadas ao esporte e à prática de exercícios, as tecnologias que mais predominam são o uso de câmeras e sistemas com capacidade de aquisição de imagens de movimentos em alta velocidade (FALCO et al., 2013; HERMAM et al., 2008) e o uso de sensores inerciais contendo

acelerômetros com sistemas micro eletromecânicos, que são capazes de registrar os movimentos de aceleração dos segmentos corporais (SANT' ANA et al., 2014; 2017). Mais recentemente, também registrou-se o uso de *wearable* compostos de um conjunto de sensores inerciais (WORSEY et al., 2019), bem como, novos métodos usando soluções com aplicativos para smartphone capazes de avaliar e fornecer informações de parâmetros do desempenho neuromuscular e indicadores de capacidade física de atletas e praticantes de atividades físicas em tempo real (HAYNES et al., 2019; COSWIG et al., 2019; SANT' ANA et al., 2021).

Adicionalmente, têm sido cada vez mais frequente o surgimento de ferramentas que se propõem ao controle da carga de treinamento em tempo real e que permitem a determinação de parâmetros e indicadores fisiológicos como variabilidade da frequência cardíaca (GAMBASSI et al., 2020), e de indicadores de capacidade e potência aeróbios com testes que identificam indicadores de carga externa e interna associados ao limiar anaeróbio ou consumo máximo de oxigênio estimado. Essas soluções se propõem à determinar indicadores da carga interna máximos ( $FC_{MAX}$ ) e submáximos, como o limiar anaeróbio ( $FC_{Lan}$ ), por meio de protocolos validados cientificamente para auxiliar no diagnóstico individual e para prescrição e distribuição das cargas de treinamento (SANT' ANA et al., 2019; 2021; 2023; OLIVEIRA et al., 2022;). Os Apps *Safe Runner* e *ITStriker* desenvolvidos e validados para identificar parâmetros de carga interna e externa durante a realização de testes incrementais de corrida e nos esportes de combate (SANT' ANA et al., 2019; 2021; 2023; OLIVEIRA et al., 2022) são exemplos destas soluções recentes voltadas para o mercado do esporte, saúde e *fitness*.

Porém, apesar do evidente crescimento do mercado e do surgimento e uso de novas tecnologias, ainda há necessidade de mais estudos sobre as atuais propostas inovadoras em avaliação fisiológica e biomecânica e suas aplicabilidades voltadas para o exercício físico e os esportes.

### 5.3 DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO CIENTÍFICA DE NOVAS TECNOLOGIAS MOBILE APLICADAS AO ESPORTE E O EXERCÍCIO

O mercado atual e as possibilidades que surgem, quando da interconexão, entre ciência e os recursos disponíveis por meio da indústria 4.0, requer pesquisas voltadas ao desenvolvimento de uma cultura voltada ao diagnóstico de problemas em avaliação e monitoramentos na área da biomecânica e fisiológica com propósito de apresentar novas tecnologias com soluções práticas, aplicáveis em tempo real para atletas, praticantes de atividades física e profissionais envolvidos com as intervenções esportivas e programas de exercícios (SAPONARA, 2017; COSWIG et al., 2019; HAYNES et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2022).

Sendo assim, é fundamental o desenvolvimento de um processo que facilite a compreensão dos problemas em diagnóstico, planejamento, controle das cargas e adaptações ao treinamento que necessitem de soluções aplicadas e práticas voltadas aos treinadores, atletas e pessoas engajadas em programas de exercícios físicos (SANT' ANA et al., 2021). Tais tecnologias quando bem aplicadas apresentam validade ecológica para auxiliar programas de exercícios e para verificação de adaptações advindas destas intervenções (SANT' ANA; DIEFENTHAELER, 2019; MIRANDA, 2022). Além disso, essas tecnologias têm grande aplicabilidade quando empregadas ao ciclo de monitoramento dos atletas. Com elas, facilita-se o controle das cargas do treinamento em tempo real e auxilia o diagnóstico quanto ao estado de bem-estar e prontidão dos atletas com intuito de potencializar as adaptações positivas, buscando a performance esportiva, minimizando as adaptações negativas e reduzindo a queda de desempenho esportivo, *overtraining* e lesões (GABBETT et al., 2017).

Portanto, diante deste novo contexto, é necessário conhecer melhor o processo de transformação que a tecnologia *mobile*, por meio da indústria 4.0, vem gerando para ampliar e aprofundar as informações sobre o desenvolvimento de propostas inovadoras em avaliações e controle de parâmetros biomecânicos e fisiológicos, voltadas à prática de exercício físico e dos esportes.

Então, cabe destacar a importância de se fazer um levantamento e análise a respeito das novas tecnologias voltadas para avaliação e intervenções de programas de exercícios físicos e esportes. Adicionalmente, é importante obter informações sobre evidências de validade e reprodutibilidade científica dos parâmetros que estas novas soluções propõem controlar. A validade é um dos critérios necessários para aplicabilidade prática de um protocolo ou instrumento que tem como objetivo a determinação de parâmetros específicos para o diagnóstico, a prescrição e controle

do treinamento (CURRELL; JEUKENDRUP, 2008), enquanto a reprodutibilidade da medida, é capaz de apontar à confiabilidade e demonstrar que a ferramenta utilizada é sensível e adequada para avaliar e monitorar os efeitos de uma determinada intervenção e/ou período de treinamento (SCHABORT; HOPKINS; HAWLEY, 1998). Portanto, tais critérios devem ser estabelecidos para essas propostas inovadoras, isto é, tecnologias *mobile*, a fim de se estabelecer o nível de acurácia, limitações e o erro que tais ferramentas possam apresentar.

#### 5.4 DESENVOLVIMENTO E ESTUDOS DE VALIDADE E APLICABILIDADE DOS APLICATIVOS TREACTION, ITSTRIKER E SAFE RUNNER

Neste tópico, a presente tese pretende por meio de um copilado de estudos relacionados ao desenvolvimento das novas soluções tecnológicas resultantes do período de envolvimento com a pesquisa no Programa de Pós-Graduação em Educação Física, na área de Biodinâmica do Desempenho Humano, da Universidade Federal de Santa Catarina, apresentar um delineamento dos estudos e artigos científicos que fundamentaram o desenvolvimento das soluções inovadoras, por meio da fundamentação dos aplicativos *TReaction*, *ITStriker* e *Safe Runner* e compreensão dos estudos científicos necessários para o desenvolvimento destas ferramentas, os artigos científicos de validade e os estudos resultantes que integram o uso dessas novas tecnologias.

Na Tabela 1 são apresentadas as tecnologias que foram empregadas nos estudos da presente tese, uma breve caracterização das tecnologias *mobile* desenvolvidas, os estudos que foram necessários para o desenvolvimento das tecnologias, estudos de validação científica das tecnologias, estudos que compõem métodos científicos válidos e incorporados nos algoritmos dos aplicativos e estudos que têm empregado essas novas soluções tecnológicas.

Tabela 1 – Estudos para fundamentar, desenvolver, validar e os que utilizam de novas soluções *mobile* na prática de exercício físico e os esportes

<b>Tecnologia</b>	<b>Caracterização</b>	<b>Estudos para o Desenvolvimento</b>	<b>Estudos de Validação Científica</b>	<b>Estudos que Empregam as Tecnologias</b>
<i>ITStriker</i>	Identifica Parâmetros Aeróbios em Teste Incremental para Esportes de Combate e Auxilia nas Intervenções	Kara et al. (1996); Sant' Ana, Silva e Guglielmo (2009); Sant' Ana et al. (2018; 2019)	Sant' Ana et al. (2019); Oliveira et al. (2022)	Sant' Ana et al. (2021); Rodrigues et al. (2022; 2023)
<i>TReaction</i>	Identifica o Tempo de Resposta de Chutes e Socos nos Esportes de Combate em Reação ao Estímulo Visual	Sant' Ana et al. (2017)	Coswig et al. (2019)	Rodrigues et al. (2022; 2023); Silva et al. (2022)
<i>Safe Runner</i>	Identifica Parâmetros Aeróbios de Corrida em Teste Incremental na Esteira e Auxilia nas Intervenções	Kara et al. (1996); Sant' Ana et al. (2012); FERGUSON (2014)	Sant' Ana e Diefenthaler (2019); Sant' Ana et al. (2023)	Oliveira et al. (2022); Miranda (2022)

#### 5.4.1 Desenvolvimento do Aplicativo *TReaction*

O sucesso nos esportes de combate geralmente é determinado por ações motoras rápidas em resposta a um determinado estímulo (BOUHLEL et al., 2006; ÖZDEMIR; KIRAZCI; UGRAS, 2010; LOTURCO et al., 2015). Assim, o tempo de resposta, varável definida pelo tempo necessário para realizar um movimento voluntário após um estímulo (BOTWINICK; THOMPSON, 1966; MAGILL, 2007), tem sido considerado um importante indicador que pode ser melhorado e monitorado em atletas de esportes de combate (KIM et al., 2010; FALCO; ESTEVAN; VIETEN, 2011; MACOVEI; LAMBU; LAMBU, 2013), podendo estar relacionado ao sucesso durante a competição (MORI; OHTANI; IMANAKA, 2002; DARBY et al., 2014).

No entanto, para medir o tempo de resposta de um determinado estímulo (visual ou audível) e determinar o tempo para realizar uma tarefa ou ação motora específica, frequentemente os sistemas mais utilizados são as câmeras com alta frequência de amostragem (HERMANN et al., 2008; FALCO et al., 2013) ou acelerômetros (SANT' ANA et al., 2014; 2017) para obter informações espaciais e temporais de um determinado gesto ou tarefa motora. Além disso, há sistemas que medem o tempo de resposta com base em estímulos visuais mostrados na tela do computador com o tempo de resposta ao estímulo visual, sendo medido a partir do momento em que o usuário pressiona o teclado do computador (SABINA; ELENA-ANDREEA; IOANA-SORINA, 2014; QUEL et al., 2015).

A experiência com pesquisas relacionadas à temática, o fato de ter sido atleta de taekwondo, além de ter trabalhado como técnico e preparador físico de atletas de esportes de combate, em conjunto ao desenvolvimento de um estudo relacionado ao efeito da fadiga em variáveis relacionadas ao tempo de reação da técnica de chute do taekwondo (SANT' ANA et al., 2017), conduziu à questão sobre limitações dos sistemas de medição do tempo de resposta e sobre a falta de ferramentas e soluções com aplicabilidade para mensurar essa importante variável em situações práticas, vivenciadas nas rotinas de treinamento dos atletas. Os resultados rápidos fornecidos por sistemas, nos quais, são utilizados teclados de computador, carecem de especificidade (especificamente gestos motores) e validade ecológica, pois as ações esportivas de combate não são contempladas durante a tarefa. Enquanto, os sistemas envolvendo cinemática (análise de movimento) ou acelerômetros para medir o tempo de resposta requerem mais tempo para preparar, coletar e analisar os

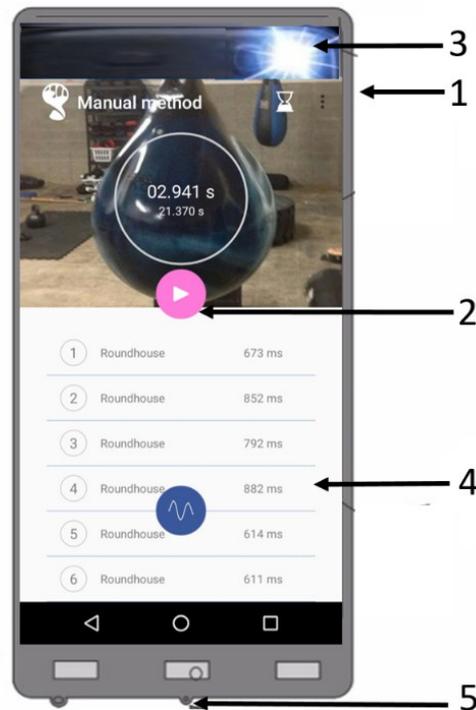
dados. Além disso, esses sistemas são caros e muitas vezes têm baixa aplicabilidade nas rotinas de treinamento de atletas.

Sendo assim, surgiu a necessidade de buscar uma alternativa para determinar o tempo de resposta de diferentes ações motoras (golpes) com baixo custo e alta aplicabilidade para os esportes de combate. Desta maneira, considerando o uso de aplicativos móveis para solucionar tais questões, e a partir do delineamento dos recursos presentes no *smarthphone*, bem como, do algoritmo necessário a ser desenvolvido em um aplicativo que poderia tornar possível mensurar o tempo de resposta motora de atletas de esportes de combate durante avaliação do gesto motor específico das modalidades. Então, foi idealizado e desenvolvido o App *TReaction*, capaz de medir o tempo entre o disparo do flash e as ondas sonoras produzidas a partir do contato com o alvo por meio do microfone do celular.

O *TReaction*, então, é o resultado da integração entre a tecnologia de aplicativos móveis e o acesso a sensores inerciais baseados em MEMS (por exemplo, microfone) embutidos no próprio smartphone, capazes de fornecer medições de tempo de contato em coletes, raquetes e almofadas de impacto para fornecer aos atletas de esportes de combate informações em tempo real sobre o tempo de resposta do gesto motor, chutes e socos em reação ao estímulo visual. Com essa tecnologia móvel é possível avaliar o desempenho dos atletas quanto ao tempo de reação e os efeitos da fadiga durante testes com técnicas de chutes e socos.

O tempo de resposta obtido com o aplicativo *TReaction* é fornecido conforme mostrado na Figura 2 e descrito a seguir:

Figura 2 – Representação do sistema do app *TReaction*



Fonte: Coswig et al. (2019).

Na Figura 2 é apresentada a interface do App, onde: o número 1 representa o celular; o número 2 representa um botão play via tecnologia *touchscreen* presente na interface do aplicativo móvel e que aciona o flash da câmera do celular por meio de um software algorítmico desenvolvido em linguagem de programação Java, utilizando o ambiente de desenvolvimento integrado Android Studio (Apache Software Foundation, Maryland, EUA), que permite adquirir e processar os dados; o número 3 representa o flash da câmera do celular, emitindo o estímulo visual para indicar o início da resposta para realizar um gesto motor com objetivo de atingir um alvo de contato (ou seja, alcançar uma almofada de impacto para chutes); o número 4 representa a ocorrência de contato com o alvo, na qual uma onda sonora é gerada e processada através do software desenvolvido para identificar e apontar com precisão os resultados do teste de tempo de resposta obtidos; o número 5 representa o microfone móvel para captação de áudio.

O App *TReaction* tem se revelado uma ferramenta válida e confiável para medir o tempo de resposta em esportes de combate (COSWIG et al., 2019). O aplicativo foi submetido a estudo de validade concorrente e apresenta uma diferença não significativa com média de 13 ms para o tempo de resposta, quando comparado com o tempo de resposta obtido com a câmera de alta velocidade (1000 quadros por

segundo), além disso, o limite de 95% de concordância para as diferenças entre a câmera de alta velocidade e *TReaction* foi de 27ms. Adicionalmente, o método de determinação do tempo de resposta utilizado no aplicativo foi verificado por meio de estudo de medidas repetidas e demonstrou confiabilidade com forte correlação ICC (0,998) estabelecida pela reprodutibilidade do método em determinar o tempo de resposta em reação ao estímulo visual. Sendo que, no presente estudo, ainda foi estabelecido o erro típico de medição (9ms), o qual deve ser considerado ao comparar os valores de tempo de resposta obtidos pelo aplicativo *TReaction* com outras medições cinemáticas (COSWIG et al., 2019).

Por fim, o aplicativo *TReaction* tem demonstrado sua aplicabilidade com recursos que permitem obter informações em tempo real do tempo de resposta para uma gama variada de técnicas utilizadas em diferentes modalidades de esportes de combate, bem como, quanto ao processo de armazenar e gerenciar banco de dados de cadastro dos atletas e os resultados das avaliações das técnicas desejadas. Sendo observado que o aplicativo tem sido usado como ferramenta para auxiliar estudos com propósito de verificar ou investigar o tempo de reação em modalidade de esportes de combate (RODRIGUES et al., 2022; 2023; SILVA et al., 2022).

#### **5.4.2 Desenvolvimento do Aplicativo *ITStriker***

As modalidades esportivas de combate de percussão são conhecidas pelo caráter intermitente, devido à ocorrência de esforços de alta intensidade, alternados com períodos de recuperação, isso, caracterizado pela presença de uma relação esforço/pausa (E:P), seja, em função de demandas específicas da modalidade ou das próprias exigências e especificidades advindas do combate entre os atletas. Tais características demandam das vias energéticas aeróbias predominantes, por exemplo, deslocamentos, ajustes de distância e saltitos, assim como, das vias energéticas anaeróbias, por exemplo, sequências e combinações de socos e chutes (KHANNA; MANNA, 2006; SLIMANI et al., 2017; CAMPOS et al., 2012; SANT'ANA et al., 2019).

Então, considerando a necessidade de acessibilidade de dados sobre avaliação do desempenho aeróbio nos esportes de combate e à especificidade das modalidades esportivas de combate, bem como, os estudos que permitiram desenvolver e validar protocolos que empregam o gesto motor característico aos

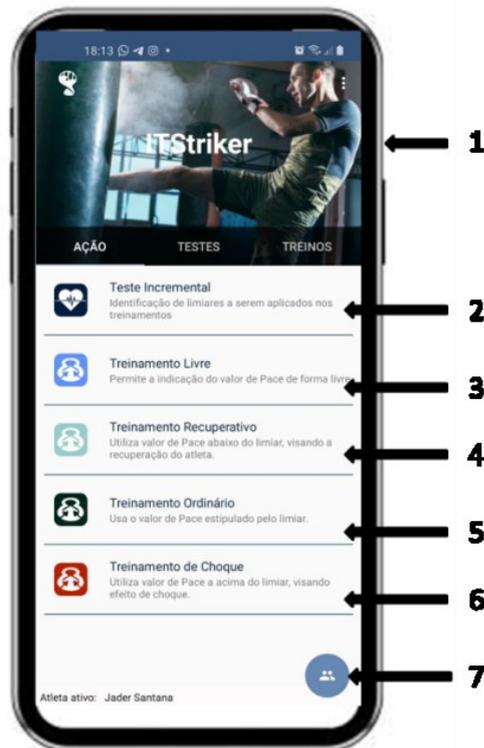
esportes de combate, bem como, estudos de métodos científicos e de equações voltadas a estimar parâmetros e variáveis associadas à capacidade e potência aeróbios (KARA et al., 1996; SANT' ANA; SILVA; GUGLIELMO, 2009; SANT' ANA et al., 2018; 2019; OLIVEIRA et al., 2022), foi idealizado e desenvolvido o App *ITStriker*.

*ITStriker* é a resultante do uso de tecnologia móvel e vestível de forma integrada, sendo uma solução inovadora para avaliações voltadas aos esportes de combate. O App utiliza um algoritmo que associa métodos científicos e protocolos incorporados às aplicações móveis, amplamente acessíveis e que podem ser usados para determinar parâmetros de carga interna e externa relacionados com a capacidade e potência aeróbia dos atletas durante teste incremental de taekwondo ou em protocolo incremental voltado para avaliações de atletas de boxe (SANT' ANA et al., 2021; OLIVEIRA et al., 2022).

Portanto, o *ITStriker*, por meio de sensores inerciais baseados em MEMS (por exemplo, frequencímetros), via comunicação *Bluetooth* é capaz de fornecer medições de dados biológicos (FC) em tempo real. Com um algoritmo inteligente, pode-se realizar a avaliação aeróbia com diagnóstico de parâmetros, a fim de auxiliar no treinamento de *pace* ou relação E:P individualizada dos atletas de esportes de combate.

Na Figura 3 é apresentada a interface do aplicativo *ITStriker* e uma caracterização de seus recursos.

Figura 3 – Interface do App *ITStriker* com os seus recursos



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na Figura 3 verifica-se na interface do App: o número 1 representa o celular; o número 2 representa a seleção via tecnologia *touchscreen* presente na interface do aplicativo móvel e que aciona o modo do teste incremental por meio de um software com algorítmico desenvolvido em linguagem de programação Java utilizando o ambiente de desenvolvimento integrado Android Studio (Apache Software Foundation, Maryland, EUA), que permite adquirir e processar os dados; o número 3 representa a seleção via tecnologia *touchscreen* presente na interface do aplicativo móvel e que aciona o modo de treino de *pace* (relação E:P) auto selecionada; o número 4 representa a seleção via tecnologia *touchscreen* presente na interface do aplicativo móvel e que aciona o modo de treino de *pace* recuperativo (relação E:P) determinada de forma individualizada pela frequência de chute abaixo da  $FCH_{Lan}$  com base no resultado do teste incremental do atleta; o número 5 representa a seleção via tecnologia *touchscreen* presente na interface do aplicativo móvel e que aciona o modo de treino de *pace* ordinário (relação E:P) determinada de forma individualizada pela  $FCH_{Lan}$  com base no resultado do teste incremental do atleta; o número 6 representa a seleção via tecnologia *touchscreen* presente na interface do aplicativo móvel e que aciona o modo de treino de *pace* Choque

(relação E:P) determinada de forma individualizada pela frequência de chute acima da  $FCH_{Lan}$  com base no resultado do teste incremental do atleta; o número 7 representa a seleção via tecnologia *touchscreen* presente na interface do aplicativo móvel e que aciona o cadastro e gerenciamento dos dados armazenados dos atletas.

Por fim, o aplicativo *ITStriker* tem demonstrado sua aplicabilidade com recursos que permitem armazenar e gerenciar em um banco de dados com cadastro dos atletas os resultados das avaliações aeróbias obtidas em tempo real. O App possibilita identificar parâmetros associados à capacidade e potência aeróbios, tanto indicadores de carga interna, como  $FC_{MAX}$  e  $FC_{Lan}$ , bem como, indicadores de carga externa como frequência de golpes máxima e de limiar anaeróbio, além do *pace* individualizado dos atletas. Adicionalmente, o aplicativo tem sido uma ferramenta para auxiliar estudos com propósito de verificar ou investigar indicadores aeróbios, determinar o *pace* individual e avaliar efeitos de fadiga nas modalidades de esportes de combate (SANT' ANA et al., 2021; RODRIGUES et al., 2022; 2023).

#### **5.4.3 Desenvolvimento do App *Safe Runner***

O diagnóstico de parâmetros aeróbios associados para saúde e à condição cardiorrespiratória (HASKELL et al., 2007) é constantemente objeto de intervenção dos programas de exercícios físicos (SANT' ANA et al., 2012; FERGUSON, 2014). Então, a aquisição de variáveis associadas à potência e capacidade aeróbias do indivíduo submetido a uma determinada intervenção é de suma importância, pois assim, é possível individualizar as cargas de treinamento, e, conseqüentemente, estimar com mais precisão as adaptações decorrentes de uma determinada intervenção (SANT' ANA et al., 2023).

O App *Safe Runner* foi desenvolvido para identificar parâmetros de carga interna e externa durante testes incrementais de corrida, para auxiliar nas avaliações da capacidade e potência aeróbias durante testes incrementais máximos e para auxiliar no controle das adaptações aeróbias (OLIVEIRA et al., 2022). O aplicativo é um exemplo de proposta inovadora, que aliada a um monitor cardíaco com cinta peitoral *Bluetooth*, gera dados instantâneos referentes aos parâmetros da aptidão aeróbia obtidos ao realizar o teste incremental máximo em esteira (SANT' ANA; DIEFENTHAELER, 2019).

O desenvolvimento do App considera a acessibilidade de dados sobre avaliações voltadas ao diagnóstico aeróbio e aplicada a intervenções do treinamento *indoor* realizados em uma esteira ergométrica. Por meio da integração entre tecnologia móvel, somado à incorporação de sensores inerciais baseados em Sistemas Micro-Eleto-Mecânicos (frequencímetros), ele é capaz de fornecer medidas de dados biológicos (FC) em tempo real, associado a um algoritmo inteligente com protocolos e métodos validos cientificamente para avaliação de indicadores da capacidade e potência aeróbios de corrida, auxiliando no treinamento de atletas e pessoas envolvidas com programas de exercícios físicos (KARA et al., 1996; SANT'ANA, et al., 2012; FERGUSON , 2014). Com o App é possível obter indicadores individualizados e propor uma adequada periodização e distribuição das cargas do treinamento com base nos domínios fisiológicos específicos identificados em cada indivíduo testado (SANT' ANA et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2022; MIRANDA, 2022).

Abaixo é apresenta a interface do App *Safe Runner* e uma caracterização de seus recursos.

Figura 4 – Interface do App *Safe Runner* com os seus recursos



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na Figura 4 é apresentada a interface do App onde: o número 1 representa o celular; o número 2 representa a seleção via tecnologia *touchscreen* presente na interface do aplicativo móvel e que aciona o modo do teste incremental por meio de um software com algorítmico desenvolvido em linguagem de programação Java utilizando o ambiente de desenvolvimento integrado Android Studio (Apache Software Foundation, Maryland, EUA), que permite adquirir e processar os dados; o número 3 representa a seleção via tecnologia *touchscreen* presente na interface do aplicativo móvel e que aciona o modo de treino livre, na qual, pode ser optado por uma velocidade de corrida auto selecionada; o número 4 representa a seleção via tecnologia *touchscreen* presente na interface do aplicativo móvel e que aciona o modo de treino na velocidade de corrida correspondente à intensidade recuperativa (75% da  $V_{Lan}$ ) determinada de forma individualizada com base no resultado do teste incremental realizado com indivíduo e considerando a intensidade relativa à velocidade de limiar anaeróbia identificada; o número 5 representa a seleção via tecnologia *touchscreen* presente na interface do aplicativo móvel e que aciona o modo de treino na velocidade de corrida correspondente à intensidade ordinária 1 (85% da  $V_{Lan}$ ) determinada de forma individualizada com base no resultado do teste incremental realizado com indivíduo e considerando a intensidade relativa à velocidade de limiar anaeróbia identificada; o número 6 representa a seleção via tecnologia *touchscreen* presente na interface do App que aciona o modo de treino na velocidade de corrida correspondente à intensidade ordinária 2 (95% da  $V_{Lan}$ ) determinada de forma individualizada com base no resultado do teste incremental realizado com indivíduo e considerando a intensidade relativa à velocidade de limiar anaeróbia identificada; o número 7 representa a seleção via tecnologia *touchscreen* presente na interface do aplicativo móvel e que aciona o modo de treino na velocidade de corrida correspondente à intensidade ordinária 3 (100% da  $V_{Lan}$ ) determinada de forma individualizada com base no resultado do teste incremental realizado com indivíduo e considerando a intensidade relativa à velocidade de limiar anaeróbia identificada; o número 8 representa a seleção via tecnologia *touchscreen* presente na interface do aplicativo móvel e que aciona o modo de treino na velocidade de corrida correspondente à intensidade de choque 1 (110% da  $V_{Lan}$ ) determinada de forma individualizada com base no resultado do teste incremental realizado com indivíduo e considerando a intensidade relativa à velocidade de limiar anaeróbia identificada; o número 9 representa a seleção via tecnologia *touchscreen*

presente na interface do aplicativo móvel e que aciona o modo de treino na velocidade de corrida correspondente à intensidade de choque 2 (120% da  $V_{Lan}$ ) determinada de forma individualizada com base no resultado do teste incremental realizado com indivíduo e considerando a intensidade relativa à velocidade de limiar anaeróbia identificada; o número 10 representa a seleção via tecnologia *touchscreen* presente na interface do aplicativo móvel e que aciona o cadastro e gerenciamento dos dados armazenados para cada indivíduo testado com a tecnologia.

Finalmente, o aplicativo *Safe Runner* tem demonstrado sua aplicabilidade com recursos que permitem armazenar e gerenciar os resultados das avaliações aeróbias obtidas em um banco de dados com cadastros individualizados e em tempo real. O App possibilita identificar com confiabilidade parâmetros associados à capacidade e potência aeróbios, tanto indicadores de carga interna, como  $FC_{MAX}$  e  $FC_{Lan}$ , bem como, indicadores de carga externa como  $V_{MAX}$  e  $V_{Lan}$ , além do  $VO2_{MAX}$  estimado do testado (SANT' ANA et al., 2023). Adicionalmente, o aplicativo tem sido uma ferramenta com indícios de validade ecológica em estudos com propósito de verificar ou investigar indicadores aeróbios e o efeito de intervenções de treinamento (SANT' ANA; DIEFENTHAELER, 2019; MIRANDA, 2022).

Por fim, este trabalho apresenta em seu tópico de resultados um levantamento, por meio de uma revisão de literatura de pesquisas científicas sobre novas tecnologias da indústria 4.0, aplicativos *mobile*, voltadas à avaliação biomecânica dos esportes de combate para identificar oportunidades para futuras pesquisas, o que há de novo e quais destas novas tecnologias apresentam referencial científico e validade para os métodos empregados. Além disso, a tese é composta por um artigo sobre aplicabilidade do App *ITStriker* e outro de estudo relacionado ao processo de validade do App *Safe Runner*, por meio de pesquisa para verificar a confiabilidade do aplicativo e a reprodutibilidade dos parâmetros identificados com o aplicativo.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 ARTIGOS DA TESE RELACIONADOS À TECNOLOGIA *MOBILE*

Os artigos resultantes e a discussão dos estudos do doutoramento que compõem o presente trabalho estão divididos em três partes para responder os objetivos estabelecidos na presente Tese. O Quadro 1 apresenta o título, a revista e o fator de impacto dos artigos publicados e resultantes da Tese.

Quadro 1 – Título dos artigos que compõe a presente Tese e nome dos periódicos em que foram publicados os estudos relacionados ao desenvolvimento, validação e utilização das soluções *mobile* desenvolvidas

<b>Título do Artigo</b>	<b>Periódico</b>
The Use of <i>Mobile</i> Solutions for Biomechanical Assessment in Combat Sports: A Narrative Review	Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology – 2023 Impact Factor – 1.5
The effect of a <i>pace</i> training session on internal load and neuromuscular parameters in Taekwondo athletes	Frontiers – 2021 Impact Factor – 4.566
Reliability of the <i>Mobile</i> App to Measure Aerobic Training Parameters During Maximum Incremental Treadmill Test	Sport Sciences for Health – 2023 Impact Factor – 1.5

## **CAPÍTULO I – O USO DE SOLUÇÕES *MOBILE* PARA AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA NOS ESPORTES DE COMBATE: UMA REVISÃO NARRATIVA**

### **Resumo**

As novas tecnologias têm amplificado as possibilidades de processamento e incorporação de dados e métodos científicos em algoritmos, por meio da integração do uso de tecnologia móvel e uma grande variedade de *wearables* que permitem a aquisição de métricas em tempo real. Essas tecnologias surgem como uma possível alternativa para suprir demandas do mercado e apresentar soluções práticas para problemas que treinadores e atletas enfrentam em seu dia a dia. No que diz respeito à avaliação biomecânica em esportes de combate, a literatura é escassa em estudos que tenham feito levantamentos de novas tecnologias de avaliação e monitoramento, com soluções para treinadores e atletas. Portanto, o presente estudo teve como objetivo investigar, por meio de uma revisão de literatura, as tecnologias móveis disponíveis no mercado para análises biomecânicas em modalidades esportivas de combate. Um significativo crescimento tem sido observado no número de estudos envolvendo tecnologias móveis utilizadas como ferramentas práticas para avaliação biomecânica em atletas de esportes de combate. No entanto, apenas sete propostas tecnológicas apresentaram estudos de confiabilidade científica e seis avaliaram a validade, mostrando a necessidade de mais artigos originais para investigar a validação científica destas ferramentas. Como sugestão, este estudo apresenta um fluxograma com diretrizes operacionais para o desenvolvimento de pesquisas e de novas tecnologias voltadas para avaliação e monitoramento em tempo real de parâmetros biomecânico em esportes de combate.

**Palavras-chave:** Artes marciais; Cinemática; Cinética; Aplicativo móvel; Tecnologia Vestível.

### **1 INTRODUÇÃO**

Inovação é entendida como algo novo ou aprimorado, com aplicabilidade para um pequeno ou grande número de pessoas e que objetiva gerar retorno econômico, financeiro ou social (GRIZENDI, 2020). No esporte, propostas inovadoras visam proporcionar maior controle dos indicadores de treinamento e desempenho (FERREIRA et al., 2020). Considerando as modalidades esportivas de combate, têm surgido novas tecnologias relacionadas à avaliação biomecânica com a finalidade de avaliar o gesto motor, contagem de golpes, tipo e diferenciação da técnica do soco, tempo de reação, potência, velocidade, força e efeitos da fadiga durante testes, combates simulados e competições (COSWIG et al., 2019; WORSEY et al., 2019; OMCIRK et al., 2021).

O cenário atual da Indústria 4.0, que engloba inovações tecnológicas na área de automação, controle, e tecnologia da informação, tem sido aplicado aos processos de manufatura com sistemas ciberfísicos e internet das coisas e serviços (CULOT et al., 2020). Essas novas tecnologias possibilitam conectar objetos à internet, formando uma rede de objetos físicos capazes de coletar e transmitir dados. Além disso, isto tem amplificado a possibilidade de novas tecnologias que facilitam a comunicação, o acesso à informação, o processamento e a incorporação de dados, métodos científicos em algoritmos por meio da integração do uso de tecnologia móvel (aplicativos – app) e uma ampla variedade de sensores e *wearables* (sensores inerciais). Nesse sentido, essas ferramentas facilitam cada vez mais a aquisição de dados métricos, biológicos, mecânicos e de rastreamento em tempo real, resultantes de propostas inovadoras, voltadas para as necessidades do mercado e que contam com utilização de métodos cientificamente válidos e com aplicabilidade na solução de problemas para treinadores e atletas (FUENTES et al., 2016; SEO et al., 2016; CULOT et al., 2020).

Essas tecnologias podem ser aplicadas na prática em ambientes relacionados a atividades físicas e exercícios, além de auxiliar na tomada de decisão eficiente na construção de estratégias relacionadas à prescrição de exercícios, análises de desempenho esportivo e intervenções em programas de treinamento.

Nas medidas de avaliações relacionadas ao desempenho físico, as tecnologias mais prevalentes são o uso de câmeras e sistemas capazes de adquirir imagens em movimento de alta velocidade (FALCO et al., 2013; HERMANN et al., 2008) e sensores inerciais contendo acelerômetros com sistemas microeletromecânicos (MEMS) capazes de registrar os movimentos de rotação e aceleração dos segmentos do corpo (ou seja, características relacionadas às tarefas específicas do esporte) (GENTLES et al., 2018; SESHADRI et al., 2019). Nos esportes de combate, por exemplo, com características intermitentes e de alta intensidade, o uso dessas tecnologias de avaliação ganhou destaque nos últimos anos por meio de acelerômetros (SANT'ANA et al., 2014; 2017; POITRAS et al., 2019) e o uso de *wearables* compostos por um conjunto de sensores inerciais (WORSEY et al., 2019), além de novos métodos utilizando soluções com aplicativos para smartphones capazes de avaliar e fornecer informações sobre os golpes em tempo real (COSWIG et al., 2019).

Embora existam diferentes propostas inovadoras no campo da avaliação biomecânica dos esportes em geral, a literatura ainda é escassa em relação a estudos que tenham feito um levantamento acerca das novas tecnologias na avaliação biomecânica em esportes de combate. Além disso, é importante avaliar se essas tecnologias apresentam técnicas e métodos que tenham aplicabilidade em rotinas práticas e se são acessíveis aos treinadores e atletas. Sendo ainda, importante avaliar se essas tecnologias apresentam validade científica e confiabilidade para solucionar efetivamente os problemas vivenciados pela comunidade envolvida com os atletas de esportes de combate.

Diante desse novo contexto, conhecer melhor a transformação que as tecnologias e a Indústria 4.0 têm gerado é fundamental para ampliar e aprofundar as informações sobre avaliações biomecânicas e obter maiores conhecimentos técnico e científico, principalmente no que diz respeito às novas soluções móveis e vestíveis voltadas para avaliação em modalidades esportivas de combate. Portanto, o presente estudo teve como objetivo investigar, por meio de uma revisão narrativa, considerando a frequência de publicações em diferentes periódicos, anos, países dos autores e grupos de modalidades de esportes de combate, acerca das novas tecnologias disponíveis e úteis no mercado para avaliação biomecânica em atletas de modalidades esportivas de combate. Além disso, buscou-se explorar o tipo de tecnologia utilizada para cada estudo. Deste modo, o presente estudo e as análises dessas ferramentas podem fornecer informações para identificar oportunidades para pesquisas futuras: 1) apontar o que há de novo; 2) qual dessas tecnologias possui referencial científico para a validade e confiabilidade dos métodos e; 3) quais indicadores apresentam aplicabilidade (validade ecológica) para técnicos, treinadores esportivos e atletas que buscam maior precisão na avaliação biomecânica em esportes de combate.

## **2 MÉTODOS**

Este estudo se caracteriza como uma revisão narrativa que visa explorar novas tecnologias disponíveis no mercado para acessar métricas biomecânicas em esportes de combate, seguindo os critérios propostos por Green, Johnson e Adams (2006). Sendo que, o estudo está relacionado às tecnologias móveis e suas aplicações para atletas de diversas modalidades esportivas de combate.

Inicialmente, foi realizada uma busca em fevereiro de 2023. Três bases de dados acadêmicas foram exploradas utilizando as palavras-chave identificadas na Tabela 2. O presente estudo caracteriza-se pelo emprego de método de análise quantitativa e qualitativa, por meio de uma revisão narrativa da literatura. A partir dos dados, que se baseiam no número de publicações por modalidade, periódicos de publicação, país dos autores e na contagem de artigos científicos ao longo dos anos, assim, é possível observar o estado da ciência e tecnologia por meio da produção científica registrada, permitindo externar a representação de tendências científicas atuais e pesquisas realizadas (SOARES et al., 2016).

Para complementar e aprofundar as análises, a metodologia de revisão de literatura da presente pesquisa foi baseada no modelo proposto por Moher et al. (2009), seguindo as etapas de busca e coleta de artigos, triagem e análise dos resultados. O processo de busca e seleção dos artigos foi realizado nas bases de dados PubMed, Web Of Science e Scopus, que foram avaliadas como os maiores repositórios de documentos científicos da área (GUERRERO-BOTE; MOYA-ANEGÓN, 2012). Para tanto, foi construída uma estratégia de busca baseada na definição de termos centrais relevantes para a área de biomecânica e esportes de combate. As versões finais das *strings* de busca utilizadas em cada base de dados são apresentadas na Tabela 2, assim como o número de resultados em relação ao número de publicações.

Tabela 2 – *Strings* de busca e total de artigos encontrados em cada base de dados

<b>Base de Dado</b>	<b>String de Busca</b>	<b>Resultados</b>
PubMed	(( <i>"Combat Sports"</i> [Title] OR <i>"Martial Arts"</i> [Title]) AND ( <i>"Biomechanics"</i> [Title]) AND ( <i>"Mobile Application"</i> OR <i>"Wearable"</i> OR <i>"Mobile Phone APP"</i> [Title]))	2
Web of Science	(( <i>"Combat Sports"</i> [Title] OR <i>"Martial Arts"</i> [Title]) AND ( <i>"Biomechanics"</i> [Title]) AND ( <i>"Mobile Application"</i> OR <i>"Wearable"</i> OR <i>"Mobile Phone APP"</i> [Title]))	3
Scopus	(( <i>"Combat Sports"</i> [Title] OR <i>"Martial Arts"</i> [Title]) AND ( <i>"Biomechanics"</i> [Title]) AND ( <i>"Mobile Application"</i> OR <i>"Wearable"</i> OR <i>"Mobile Phone APP"</i> [Title]))	130
<b>Total</b>		<b>135</b>

No total, foram encontrados 135 estudos nas três bases de dados. Os termos de busca aplicados aos títulos dos artigos para o primeiro constructo foram “*combat sports*” ou “*martial arts*”, o segundo “*biomechanics*”, e o terceiro “*mobile application*” ou “*wearable*” ou “*mobile phone app*”. Para a validação da *string* foi utilizada a identificação do estudo de Worsey et al. (2019), conforme sugerido por Kitchenham e Charters (2007), que destaca a inclusão de artigos primários conhecidos, incluídos na revisão e retornados em buscas experimentais, para avaliar a eficácia da sequência de pesquisa.

Foram definidos os seguintes critérios de inclusão: 1) artigos publicados no período de 2010 a 2022; 2) artigos em língua inglesa; 3) periódicos revisados por pares; 4) caracterizados como estudos transversais, longitudinais, pilotos e protocolos de estudos; e 5) envolvendo descritores no título [esportes de combate (ou seja, taekwondo, caratê, judô, boxe, etc.) artes marciais (ou seja, aikido, kendo, etc.), biomecânica, aplicativo móvel, aplicativo para celular e *wearable*. Os critérios de exclusão incluíram estudos caracterizados metodologicamente como dissertações, teses, capítulos de livros, suplementos ou comentários do editor.

A taxonomia de classificação, incluindo todas as etapas, foi composta da seguinte forma: (a) identificação do problema de pesquisa; (b) pesquisar as bases de dados de periódicos; (c) seleção dos artigos que atenderam aos critérios de inclusão supracitados; (d) remoção de artigos duplicados; e (e) ler títulos e resumos para identificar alinhamento com a questão de pesquisa.

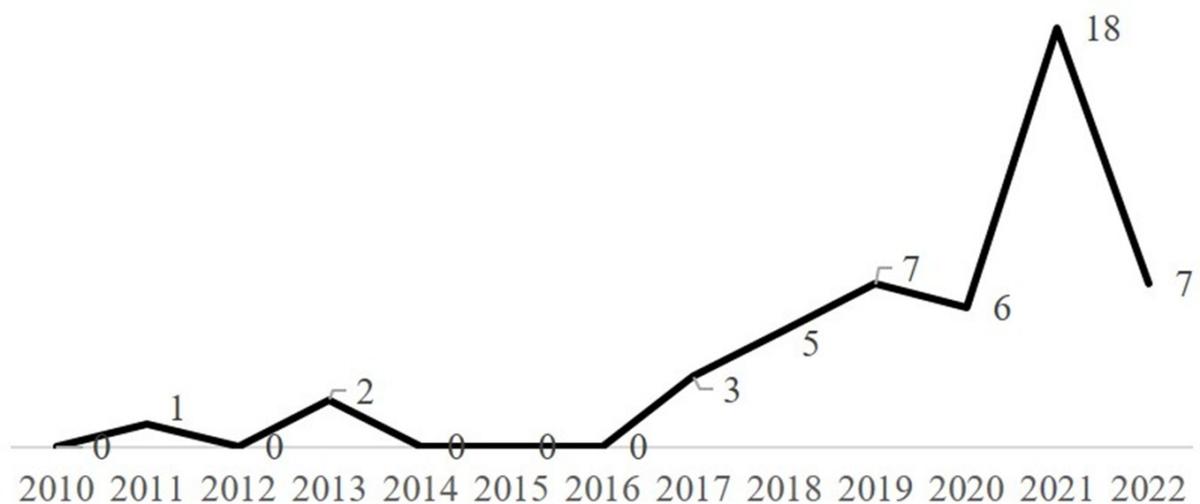
A seleção final incluiu 49 artigos (Tabela 3) publicados em periódicos com o alinhamento temático proposto, sendo aplicada a análise de conteúdo para exploração dos dados. A análise abrangeu especificamente os seguintes aspectos: identificação das publicações, evolução temporal, periódicos mais relevantes e tipo de tecnologia utilizada. Já as análises de conteúdo focaram na aplicação e identificação das oportunidades exploradas pelo tema considerado e na verificação por validação científica das soluções tecnológicas propostas encontradas na revisão da literatura. Na primeira etapa da pesquisa, realizou-se a análise e levantamento dos estudos nas bases de dados, seguida da identificação dos títulos e resumos, além de uma busca secundária na lista bibliográfica dos artigos. Após a exclusão dos artigos que não atenderam aos critérios de inclusão, foram registrados todos os artigos adequados para leitura na íntegra.

Em um segundo momento, em março de 2023, foi realizada pesquisa utilizando o buscador Google e diretamente na PlayStore (plataforma de aplicativos do Google) para identificar sites e soluções tecnológicas em software de aplicativos móveis ou soluções com propostas de novas tecnologias utilizadas na avaliação biomecânica em esportes de combate, conforme descrito na Tabela 4. A busca foi realizada para identificar os softwares para aplicativo móvel apresentados nos artigos do presente estudo. Os termos usados no Google e na PlayStore foram “esportes de combate” ou “artes marciais”, “biomecânica” e “aplicativo móvel” ou “tecnologia vestível” ou “aplicativo de celular” para identificar novas tecnologias que poderiam ser utilizadas na avaliação biomecânica em esportes de combate.

### 3 RESULTADOS

A evolução temporal da frequência de publicações sobre o tema investigado que incluiu o maior número de publicações é apresentada na Figura 5. O primeiro estudo foi publicado em 2011 e o ano com maior número de publicações foi 2021 (18 publicações), com crescimento significativo observado a partir de 2018.

Figura 5 – Número de publicações de novas tecnologias em biomecânica aplicadas aos esportes de combate por ano de 2010 até 2022



Ano  
Fonte: Sant' Ana et al. (2023).

Depois de retirados os artigos duplicados e os que não apresentavam propostas inovadoras utilizando tecnologias relacionadas à avaliação biomecânica em esportes de combate, as publicações que restaram e o tipo de tecnologias utilizadas para avaliação biomecânica em esportes de combate são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Estudos com novas tecnologias voltadas para avaliação biomecânica em esportes de combate

<b>Título</b>	<b>Autores e Ano</b>	<b>Objetivo do Estudo</b>	<b>Tecnologia Utilizada</b>	<b>Modalidade</b>	<b>País</b>
Energy absorbed by electronic body protectors from kicks in a taekwondo competition	Del Vecchio et al. (2011)	Comparar o impacto dos chutes entre atletas adultos e juniores	Wearable (Colete Protetor de Tórax )	Taekwondo	Brasil
Reliability & linearity of an electronic body protector employed in taekwondo games: A preliminary study	Tasika (2013)	Verificar a confiabilidade do impacto	Wearable (Colete Protetor de Tórax )	Taekwondo	Grécia
Development and evaluation of a novel taekwondo chest protector to improve mobility when performing axe kicks	Woo et al. (2013)	Estudo do efeito do Colete Protetor de Tórax funcional na performance do chute	Wearable (Colete Protetor de Tórax ) e Cinemática	Taekwondo	Coreia
Human actions analysis: Templates generation, matching and visualization applied to motion capture of highly-skilled karate athletes	Hachaj, Piekarczyk e Ogiela (2017)	Analisar as ações e a performance das habilidades técnicas (Média da oscilação temporal dinâmica do baricentro (DBA))	Wearable (Shadow 2.0 wireless sistema de captura de movimento)	Karate	Polônia
Wearable Biometric Performance Measurement System for Combat Sports	Saponara (2017)	Avaliação de diferentes socos e chutes (Deslocamento, aceleração, impacto e velocidade)	Wearable	Karate	Itália
Biomechanical head impact characteristics during sparring practice sessions in high school	O'Sullivan and Fife (2017)	Avaliação de impactos na cabeça (lesões por	Wearable (X-Patch) e App	Taekwondo	Coreia e EUA

taekwondo athletes		concussão)			
Quantification of boxing gloves damping: Method and apparatus	Chadli et al. (2018)	Avaliar e comparar o amortecimento de luvas	Plataforma de teste instrumentada (Dispositivo de Impacto)	Boxe	Argélia
Averaging of motion capture recordings for movements' templates generation	Hachaj, Koptyra e Ogiela (2018)	Analisar as ações e a performance das habilidades técnicas (Kalman Filter (KF) e DBA)	Wearable (Shadow 2.0 wireless sistema de captura de movimento)	Karate	Polônia
Effect of acute exposure to moderate altitude on kinematic variables of the ipponseoi-nage and its, relationship with the countermovement jump in elite judokas	Almeida et al. (2018)	Avaliar o desempenho do salto e a técnica ipponseoi-nage (Velocidade e aceleração)	Wearable (Wimu, Realtrack System), Transdutor de força (T-Force System) e Cinemática 250hz	Judô	Espanha
Recognition of action dynamics in fencing using multimodal cues	Malawski and Kwolek (2018)	Avaliar o footwork na esgrima e analisar o desempenho das habilidades (oscilação temporal dinâmica - DTW)	Kinect and x-IMU sensors	Esgrima	Polônia
Monitoring of bioelectrical and biomechanical signals in Taekwondo training: First insights	Amaro et al. (2018)	Protótipo para avaliação de impacto e sinais de frequência cardíaca	IMU and App	Taekwondo	Portugal
Intelligent framework for learning physics with aikido (martial art)	Corbi, Santos and Burgos (2019)	Analisar as ações e a performance das	IMUs, sensor óptico, Kinect, App SensorLog (Acelerometro e	Aikido	Espanha

and registered sensors		habilidades técnicas	giroscópio) integrado aos smartphones		
Analysis of movement quality in full-body physical activities	Niewiadomski et al. (2019)	Analisar as ações e a performance das habilidades técnicas (Captura de movimento, acelerômetros, sensores fisiológico e de áudio)	EyesWeb XMI	Karate	Itália
Can Aikido Help with the Comprehension of Physics? A First Step towards the Design of Intelligent Psychomotor Systems for STEAM Kinesthetic Learning Scenarios	Corbi, Santos and Burgos (2019)	Analisar as ações e a performance das habilidades técnicas	Acelerômetros 3-axial (Axivity) e App SensorLog (Acelerômetro e giroscópio) integrado aos smartphones	Aikido	Espanha
Quantification of motor abilities during the execution of judo techniques	Frassinelli et al. (2019)	Avaliar seoi-nage, osoto-gari and Kumi-Kata e/ou Randori	IMUs (triaxial Acelerômetro, giroscópio, e magnetômetro)	Judô	Itália
Development of a <i>mobile</i> phone app for measuring striking response time in combat sports: Cross-sectional validation study	Coswig et al. (2019)	Avaliar tempo de reação de chutes	MEMS integrado aos smartphones <i>TReaction</i> app	Taekwondo	Brasil
Application for <i>mobile</i> devices is a valid alternative for vertical jump height measurement in fighters	Azevedo et al. (2019)	Avaliar o desempenho do salto	Cinemática Jumpo app	Karate and JiuJitsu	Brasil

Kinematic quantification of straight-punch techniques using the preferred and non-preferred fist in taekwon-do	Wąsik et al. (2019)	Avaliar o soco (duração, velocidade e aceleração)	Cinemática (VICON Motion Systems)	Taekwondo	Polônia e Canada
Concussion and the severity of head impacts in mixed martial arts	Tiernan et al. (2020)	Avaliar aceleração, velocidade angular e impacto na cabeça (lesões de concussão)	Protetor bucal instrumentado (MiG2.0)	MMA	Irlanda, Coreia e EUA
Accuracy and repeatability of wrist joint angles in boxing using an electromagnetic tracking system	Gatt, Allen and Wheat (2020)	Verificar a validade de novo método cinemático para avaliação do soco	Sistema de rastreamento eletromagnético (Polhemus)	Boxe	Reino Unido
Differences in motion accuracy of Baduanjin between novice and senior students on inertial sensor measurement systems	Li, Khoo and Yap (2020)	Comparar as ações e desempenho de habilidades entre iniciantes e seniores	Wearable IMUs Perception Neuron 2.0 (Acelerômetro, giroscópio e magnetômetro)	Baduanjin (Qigong)	Malásia e China
Fusing accelerometry with videography to monitor the effect of fatigue on punching performance in elite boxers	Haralabidis et al. (2020)	Desenvolver um sistema para obter medidas espaço-temporal e avaliar efeitos da fadiga	Wearable IMUs SABEL Sense (Acelerômetro, giroscópio e magnetômetro)	Boxe	Reino Unido e Austrália
Assessing the effects of kata and kumite techniques on physical performance in elite karatekas	Molinaro et al. (2020)	Comparar a mobilidade articular, estabilidade corporal e capacidade de salto entre karatecas e não karatecas	Wearable IMUs GyKo (Acelerômetro, giroscópio e magnetômetro) e OPTOGait	Karate	Itália

Strike activity detection and recognition using inertial measurement unit towards kendo skill improvement support system	Torigoe et al. (2020)	Avaliação da atividade de ataque (Tempo e aceleração e DTW)	IMU MPU-9250 InvenSense, SenStick and <i>Mobile</i> App (Acelerômetro e giroscópio)	Kendo	Japão
Characterizing Head Impact Exposure in Men and Women During Boxing and Mixed Martial Arts	Jansen et al. (2021)	Avaliar a aceleração e comparar impactos na cabeça no MMA e no Boxe entre atletas masculinos e femininos (lesões por concussão)	Monitoramento do impacto protetor bucal instrumentado	Boxe e MMA	EUA
Fusion models for generalized classification of multiaxial human movement: Validation in sport performance	Amerineni et al. (2021)	Avaliação e validação da classificação do movimento de chutes e socos	Wearable sensor IMU SHADOW App (Acelerômetro e giroscópio)	Boxe and Taekwondo	EUA e Reino Unido
Validation of a novel boxing monitoring system to detect and analyse the centre of pressure movement on the boxer's fist	Menzel and Potthast (2021c)	Avaliação e validação de novo sistema de monitoramento da distribuição de força durante um soco de boxe	Wearable (luva de boxe instrumentada) IMU, sensor de força e plataforma de força Kistler	Boxe	Alemanha
Application of a validated innovative smart wearable for performance analysis by experienced and non-experienced athletes in boxing	Menzel and Potthast (2021b)	Avaliação da trajetória, força, velocidade e tempo do soco de atletas experientes e novatos	Wearable (luva de boxe instrumentada) IMU e sensor de força	Boxe	Alemanha
Using an artificial neural network to develop an optimal model of straight punch in boxing and	Khasanshin and Osipov (2021)	Avaliação da aceleração do soco, velocidades	Wearable sensor IMU (Acelerômetro e	Boxe	Rússia

training in punch techniques based on this model and real-time feedback		angulares, feedback de potência, força e eficiência	giroscópio) e LED		
Validation of a unique boxing monitoring system	Menzel and Potthast (2021a)	Avaliação e validação de uma luva de boxe instrumentada	Wearable (luva de boxe instrumentada sensor de força e plataforma de força Kistler e VICON MXF40, Vicon Motion Systems	Boxe	Alemanha
The influence of wearable resistance loading on taekwondo axe kick kinematics among elite taekwondo athletes	Nadzalan et al. (2021)	Avaliação dos efeitos agudos da carga de resistência na técnica de chute	Cinemática e Wearable	Taekwondo	Malásia
Motion classification and features recognition of a traditional chinese sport	Li, Yap and Khoo (2021)	Analisar as ações e a performance das habilidades técnicas	Wearable IMUs Perception Neuron 2.0 (Acelerômetro, giroscópio e magnetômetro)	Baduanjin (Qigong)	Malásia e China
Use of imu in differential analysis of the reverse punch temporal structure in relation to the achieved maximal hand velocity	Marković et al. (2021)	Avaliar a velocidade do soco reverso	Wearable IMUs (Acelerômetro e giroscópio) no corpo e mão	Karate	Eslovênia, Sérvia e Rússia
Metrical characteristics and the reliability of kinematic sensor devices applied in different modalities of reverse punch in karate athletes	Vuković et al. (2021)	Avaliar a confiabilidade da aceleração e tempo do soco reverso	Wearable IMUs (Acelerômetro e giroscópio) no corpo e mão	Karate	Eslovênia e Sérvia
Punch trackers: Correct recognition depends on punch	Omcirk et al. (2021)	Avaliação e estudo de validade para reconhecer tipos	Wearables IMUs (StrikeTec (SPT), Corner (CPT), Everlast (EPT), e	Boxe, MMA e Kickboxing	República Tcheca e

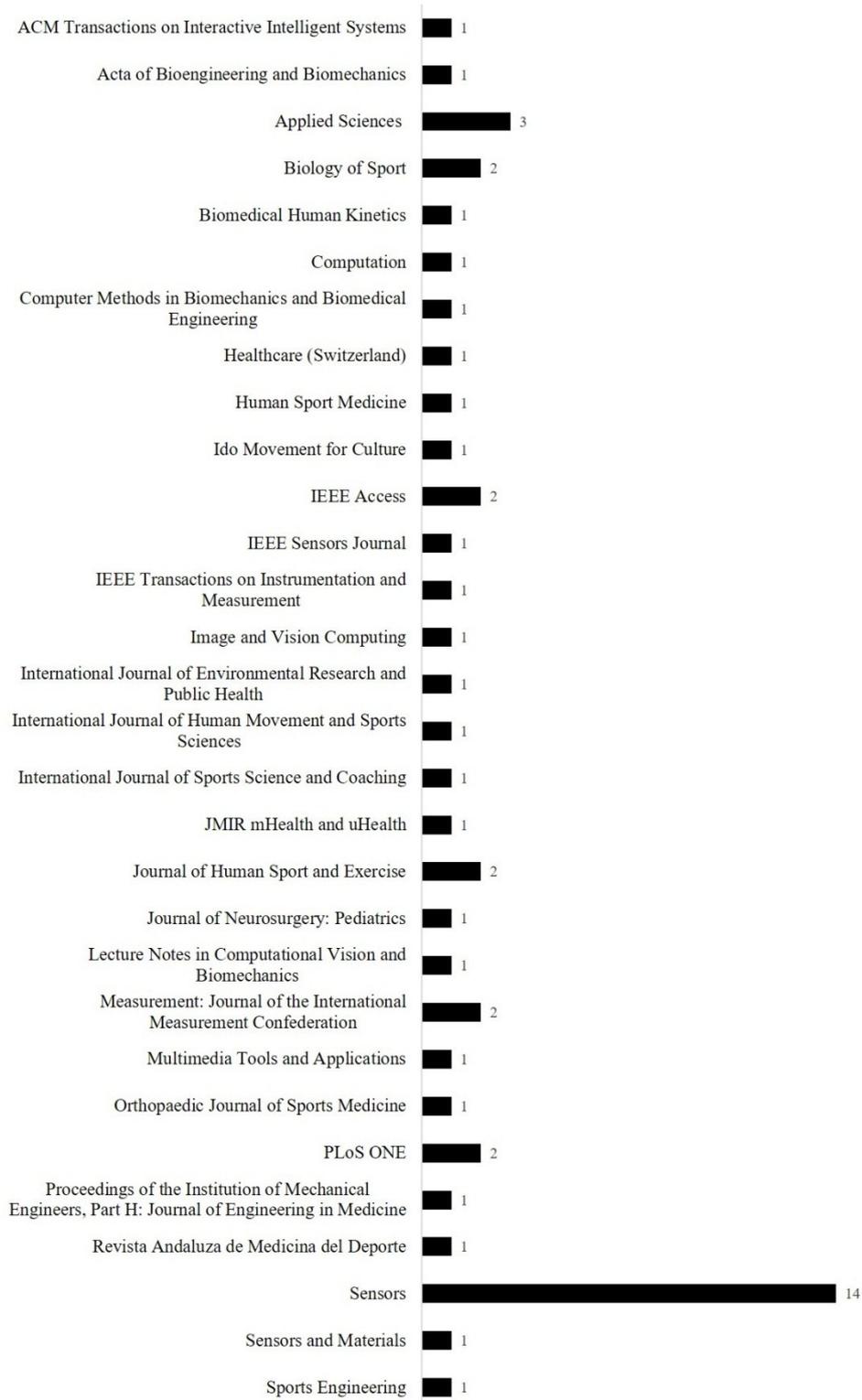
type and training experience		específicos de golpes em atletas treinados e não treinados	Hykso (HPT)) Apps e Cinemática		Holanda
Evaluating martial arts punching kinematics using a vision and inertial sensing system	Ishac and Eager (2021)	Avaliação da força de impacto do soco de onda senoidal e do soco reverso	IMU ICSensor Model 3140 (acelerômetro) e Kinovea	Taekwondo, Hapkido and Shaolin Wushu	Austrália
Depth Versus Inertial Sensors in Real-Time Sports Analysis: A Case Study on Fencing	Malawski (2021)	Avaliação de aceleração, velocidade, tempo e análise qualitativa da mão da esgrima	IMUs (Acelerômetro, giroscópio e magnetômetro)	Esgrima	Polônia
Application of an artificial neural network to automate the measurement of kinematic characteristics of punches in boxing	Khasanshin (2021)	Avaliação da aceleração e a velocidade angular para reconhecer tipos específicos de socos	IMUs (Acelerômetro e giroscópio) na mão e rede artificial neural (ANN)	Boxe	Rússia
The reliability of a linear position transducer and commercially available accelerometer to measure punching velocity in junior boxing athletes	Harris et al. (2021)	Avaliação da confiabilidade da velocidade do soco	IMUs transdutor de posição linear (GymAware) e acelerômetro (PUSH Band 2.0)	Boxe	Austrália, Índia e Reino Unido
Recognition Punches in Karate Using Acceleration Sensors and Convolution Neural Networks	Labintsev et al. (2021)	Avaliação da aceleração e a velocidade angular para reconhecer tipos específicos de socos	IMUs (Acelerômetro e giroscópio) na mão e rede artificial neural (ANN)	Karate	Rússia e Eslováquia
Definition of physical-dynamic parameters in circular kick in	Socci et al. (2021)	Avaliação da aceleração do chute e	IMU K-Track (Acelerômetro, giroscópio)	Muay Thai	Itália e Espanha

Muay Thai through latest generation inertial sensors with a critical review of the literature		qualidade da técnica	e 3D magnetômetro) e Cinemática		
Finite element simulation of head impacts in mixed martial arts	Tiernan et al. (2021)	Avaliação de aceleração, velocidade angular e impactos na cabeça (lesões por concussão)	Protetor bucal instrumentado (MiG2.0)	MMA	Irlanda e Coreia
Predicting Successful Throwing Technique in Judo from Factors of Kumite Posture Based on a Machine-Learning Approach	Kato and Yamagiwa (2022)	Propor o método de previsão em tempo real RT-XSM para prever qual técnica de arremesso tem maior probabilidade de ser bem-sucedida	Kinematic and RT-XSM (machine learning)	Judô	Japão
Specific Test Design for the In-Depth Technique Analysis of Elite Karate Competitors with the Application of Kinematic Sensors	Vuković et al. (2022)	Avaliação cinemática e temporal de um soco reverso	Sensor de cinemática (aceleração, velocidade e tempo)	Karate	Sérvia e Eslovênia
Functional Reaction Times of a Simulated Blocking Test among Para Taekwondo Athletes	O'sullivan, Jeong and Won (2022)	Avaliação do tempo de reação de defesas	ROXs Pro© and ROXs Pro training system App	Taekwondo	Coreia
Assessment of the Relevance and Reliability of Reaction Time Tests Performed in Immersive Virtual Reality by Mixed Martial Arts Fighters	Polechoński and Langer (2022)	Avaliação do tempo de reação	Realidade virtual imersiva	MMA	Polônia

Performance Alteration Induced by Weight Cutting in Mixed Martial Arts—A Biomechanical Pilot Investigation	Liu et al. (2022)	Avaliação do efeito da redução de peso na potência de golpe, precisão de golpe e tempo de reação	Cinemática VICON 3D e EMG (NORAXON)	MMA	China, Canada e Polônia
The Effects of Wearable Resistance Loading on Kinematic of Front Kick Among Elite Taekwondo Athletes	Nadzalan et al. (2022)	Avaliação dos efeitos agudos da carga de resistência na técnica de chute	Cinemática e Wearable	Taekwondo	Malásia
Effects of kiai on jumping performance and striking reaction time in Karate athletes	Rodrigues et al., (2022)	Avaliação do tempo de reação do chute e salto contra movimento	MEMS <i>TReaction</i> app e IMUs (tapete de contato)	Karate	Brasil

Os periódicos com maior concentração de publicações sobre o tema analisado, com destaque para o periódico 'Sensor' com maior número de publicações (n = 14), são apresentados na Figura 6.

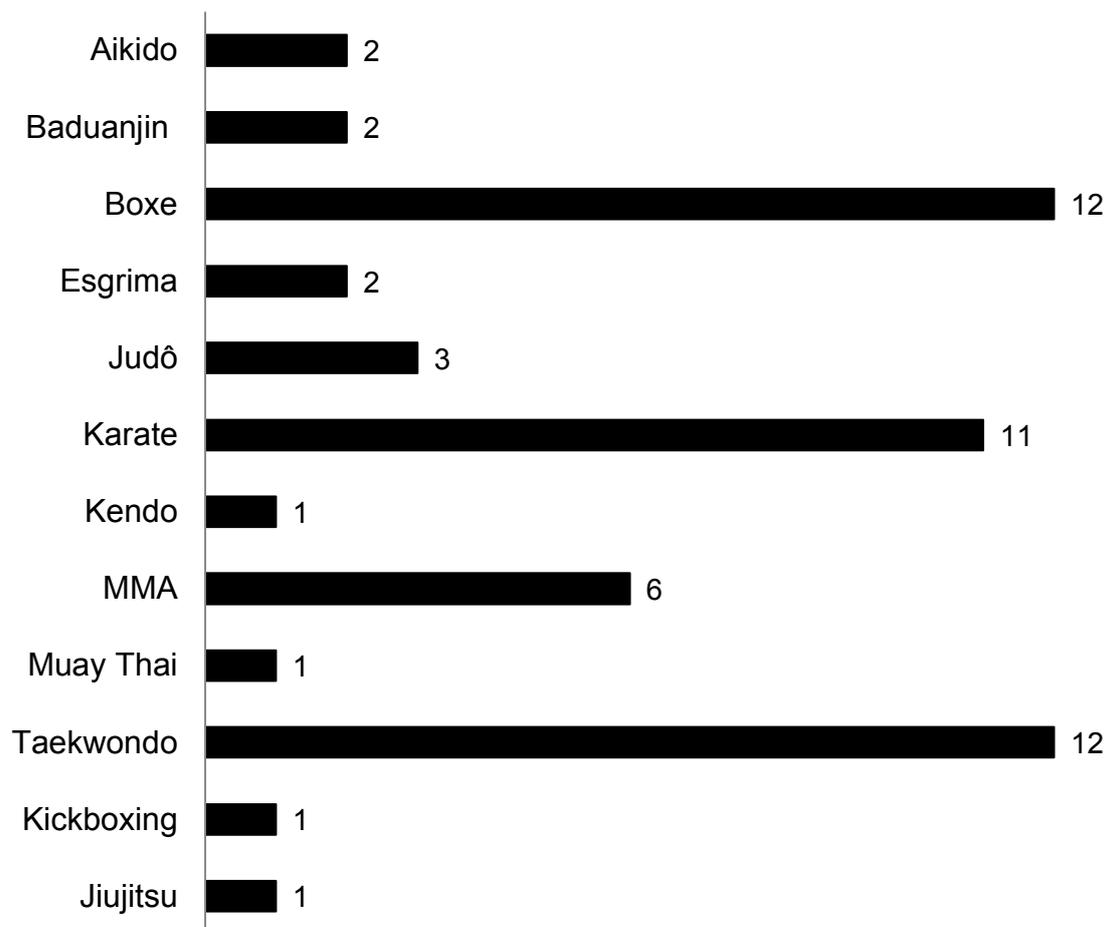
Figura 6 – Número de publicações realizadas por periódico de 2010 até 2022



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A Figura 7 apresenta as modalidades de esportes de combate com maior concentração de publicações sobre o tema investigado. De acordo com os resultados, boxe (n = 12), taekwondo (n = 12) e karatê (n = 11) foram as modalidades esportivas com maior número de publicações.

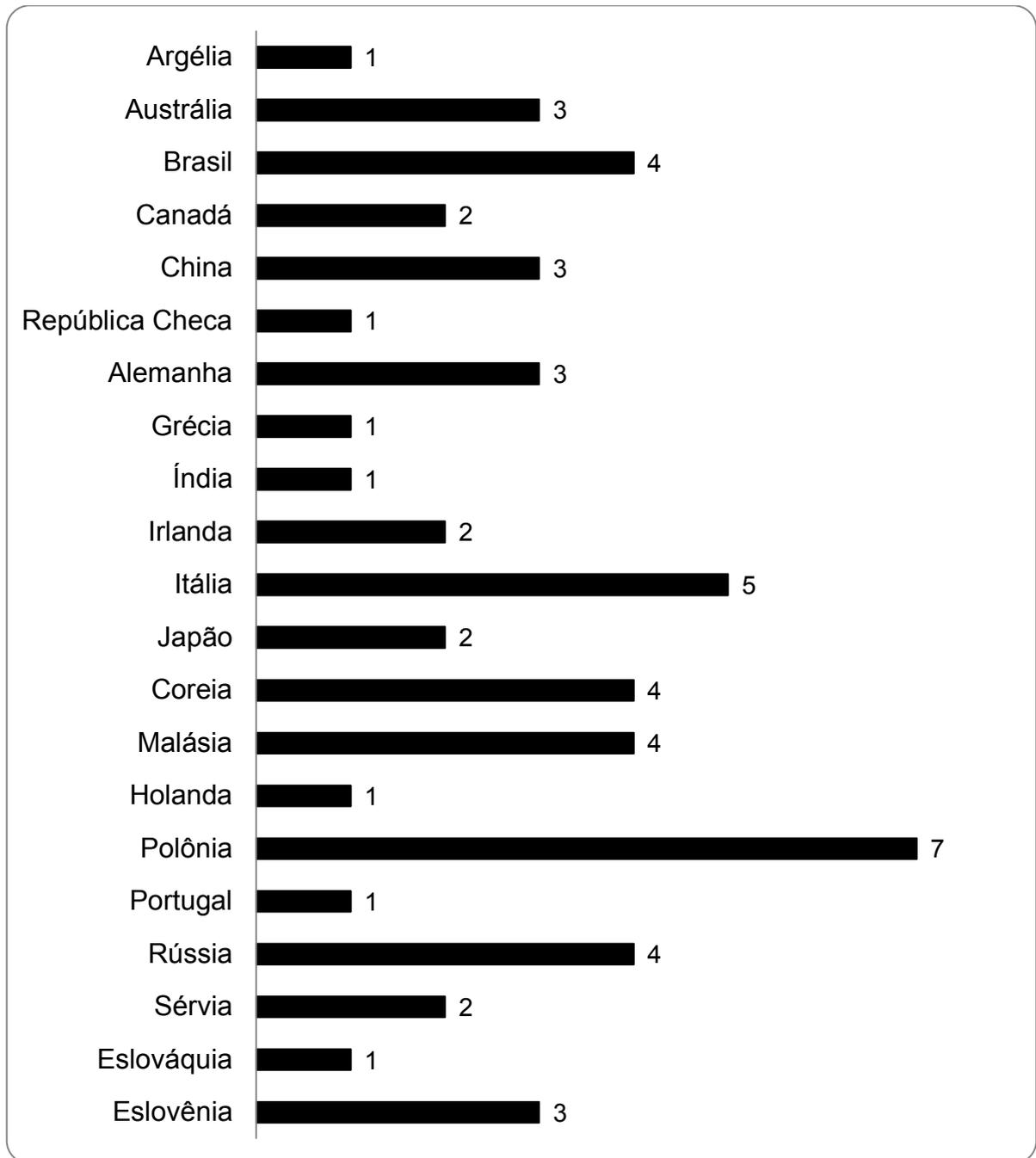
Figura 7 – Número de estudos por modalidades de esportes de combate de 2010 até 2022



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Os países com maior concentração de publicações sobre o tema investigado foram relatados na Figura 8. A Polônia (n = 7) e a Itália (n = 5) foram os países com o maior número de publicações relacionados a temática.

Figura 8 – Número de estudos de 2010 até 2022 por país de origem dos autores



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A Tabela 4 mostra as soluções de tecnologia em software de aplicativo móvel ou soluções com propostas de novas tecnologias que podem ser utilizadas na avaliação biomecânica em esportes de combate, além do seu potencial de aplicabilidade prática.

Tabela 4 – Novas soluções tecnológicas com softwares e soluções móveis com possibilidades de avaliação biomecânica em esportes de combate

<b>Tecnologia</b>	<b>Software Computador</b>	<b>Mobile app</b>	<b>Método de Análise</b>	<b>Variáveis</b>	<b>Aplicabilidade da Tecnologia</b>
<i>MyJump 2</i>	-	Sim	Cinemática	Deslocamento, aceleração, velocidade e potência	Avaliação do Desempenho do Salto
<i>Kinovea</i>	Sim	-	Cinemática	Deslocamento e tempo	Avaliação do Gesto Motor (Quedas, chutes e socos)
<i>Dartfish</i>	Sim	Sim	Cinemática	Deslocamento e tempo	Avaliação do Gesto Motor (Quedas, chutes e socos)
<i>HYKSO</i>	-	Sim	Sensor inercial (MEMS)	Deslocamento, aceleração, velocidade, potência e número de socos	Avaliação da aceleração, velocidade, potência e reconhece o tipo de técnica de soco
<i>StrikeTec (SPT)</i>		Sim	Sensor inercial (MEMS)	Deslocamento, aceleração, velocidade, potência e número de socos	Avaliação da aceleração, velocidade, potência e reconhece o tipo de técnica de soco
<i>Corner (CPT)</i>		Sim	Sensor inercial (MEMS)	Deslocamento, aceleração, velocidade, potência e número de socos	Avaliação da aceleração, velocidade, potência e reconhece o tipo de técnica de soco
<i>Everlast (EPT)</i>		Sim	Sensor inercial (MEMS)	Deslocamento, aceleração, velocidade, potência e número de socos	Avaliação da aceleração, velocidade, potência e reconhece o tipo de técnica de soco
<i>PunchLab</i>	-	Sim	Sensor inercial (MEMS)	Deslocamento, aceleração, velocidade, potência e número de socos	Avaliação da aceleração, velocidade, potência e reconhece o tipo de técnica de soco
<i>20/20 ARMOR</i>	-	Sim	Sensor de contato (MEMS)	Tempo de reação	Avaliação do tempo de reação de socos e chutes
<i>FitLight</i>	-	Sim	Sensor de Presença (Laser)	Tempo de reação	Avaliação do tempo de reação e testes de agilidade (Deslocamento, quedas, chutes e socos)
<i>TReaction</i>	-	Sim	Captação do Contato (MEMS)	Tempo de reação	Avaliação do tempo de reação de socos e chutes

Em relação às tecnologias utilizadas nas publicações sobre o tema investigado, cabe descrever como funcionam e seu potencial de aplicabilidade prática.

*My Jump 2* é uma ferramenta móvel de análise cinemática com recursos de anotação de vídeo projetada para análise de desempenho de salto. Possibilita a captura de imagens, desacelerar, cortar quadros e anotar quadros e seus tempos correspondentes em milissegundos. A partir desta variável de tempo e com base na equação do tempo de voo, o algoritmo informa os valores de deslocamento e, conseqüentemente, velocidade, força e potência com base nos dados de entrada da massa corporal do avaliado. Com esta tecnologia móvel é possível avaliar o desempenho do atleta em diferentes tipos de saltos e protocolos de testes de saltos.

*Kinovea* e *Dartfish* são ferramentas de análise cinemática com recursos de anotação de vídeo projetados para análise esportiva. Ambas possibilitam capturar imagens, desacelerar, comparar, anotar e medir o movimento humano. Entre os principais recursos destes softwares, estão as medições de ângulos, distâncias e tempos manualmente ou por meio de rastreamento semiautomático para obter as trajetórias dos pontos marcados no vídeo. Nos esportes de combate, essas ferramentas podem ser utilizadas para corrigir o padrão da técnica e estudar a associação entre a técnica e sua eficácia nos gestos motores em competições.

*HYKSO*, *StrikeTec*, *Corner* e *Everlast* são o resultado da integração entre a tecnologia de aplicativos móveis e um periférico instrumentado com acelerômetro e giroscópio capaz de fornecer medições de deslocamento, aceleração e velocidade. Além disso, esses aplicativos permitem contar golpes executados por atletas de esportes de combate com informações e medidas de desempenho do soco em tempo real, durante a rotina de treinamento. Com essas tecnologias é possível avaliar o desempenho do atleta em diferentes tipos de golpes, com a possibilidade de realizar estudos que associem a identificação de parâmetros de capacidade e potência (aeróbia e anaeróbia), fadiga e performance de indicadores importantes nos esportes de combate.

O *Punchlab* é o resultado da integração entre a tecnologia de aplicativos móveis e o acesso a sensores inerciais baseados em MEMS (por exemplo, acelerômetro e giroscópio) embutidos no próprio smartphone. Este aplicativo é capaz de fornecer medições de deslocamento, aceleração e velocidade. Além disso, permite contar golpes executados por atletas de esportes de combate com

informações em tempo real durante a rotina de treinamento com socos. Com esta tecnologia móvel é possível avaliar a performance do atleta em diferentes tipos de socos, com possibilidade de realizar estudos para avaliar indicadores de capacidade e potência (aeróbia e anaeróbia), fadiga e performance de importantes indicadores em esportes de combate.

O 20/20 ARMOR é o resultado da integração entre a tecnologia de aplicativo móvel e um colete instrumentado com estímulos visuais, por meio de sinais luminosos, somados à incorporação de sensores inerciais baseados em MEMS. Este aplicativo é capaz de fornecer medições do tempo de contato com o colete para fornecer aos atletas de esportes de combate informações em tempo real sobre o tempo de reação do gesto motor, chutes e socos. Com essa tecnologia móvel é possível avaliar o efeito no desempenho dos atletas quanto ao tempo de reação e os efeitos da fadiga durante testes com técnicas de chutes e socos, combates simulados e competições.

O *Fitlight* é o resultado da integração entre a tecnologia de aplicativos móveis e um periférico instrumentado com sinais luminosos, além da incorporação de sensores inerciais de proximidade ou contato, baseados em MEMS. Este aplicativo é capaz de fornecer medidas de tempo de resposta e reação para atletas e praticantes de atividade física em diferentes testes envolvendo exercícios de agilidade e coordenação. Com essa tecnologia móvel é possível avaliar o efeito no desempenho dos atletas quanto ao tempo de reação e os efeitos da fadiga durante testes com técnicas de deslocamento, quedas, chutes e socos.

*TReaction* é o resultado da integração entre a tecnologia de aplicativos móveis e o acesso a sensores inerciais baseados em MEMS (por exemplo, microfone) embutidos no próprio smartphone, capazes de fornecer medições de tempo de contato em coletes, raquetes e almofadas de impacto para fornecer aos atletas de esportes de combate informações em tempo real sobre o tempo de reação do gesto motor, chutes e socos. Com esta tecnologia móvel é possível avaliar o efeito de uma determinada intervenção no desempenho dos atletas quanto ao tempo de reação e os efeitos da fadiga sobre parâmetros de reação motora durante testes com técnicas de chutes e socos.

Conforme apresentado na Tabela 5, as tecnologias são classificadas quanto à aquisição, aplicabilidade como solução em tempo real para entrega dos parâmetros

propostos, além da especificidade e estudos encontrados que validam cientificamente os parâmetros apresentados.

Tabela 5 – Classificação de novas soluções tecnológicas para avaliação biomecânica em esportes de combate

<b>Tecnologia</b>	<b>Aplicabilidade em tempo real</b>	<b>Especificidade</b>	<b>Estudo de confiabilidade</b>	<b>Estudo de Validade</b>	<b>Variável mensurada</b>
<i>MyJump 2</i>	Sim	Não	Sim	Sim	Altura do salto, velocidade, força e potência
<i>Kinovea</i>	Não	Sim/Não	Sim	Sim	Ângulos, distância e testes de salto
<i>Dartfish</i>	Não	Sim/Não	Sim	Sim	Ângulos, distância e testes de salto
HYKSO	Sim	Sim	Sim	Sim	Tipo e diferenciação da técnica de soco
<i>PunchLab</i>	Sim	Sim	Não	Não	Não foram encontrados estudos (Deslocamento, velocidade, potência e número de socos)
<i>StrikeTec (SPT)</i>	Sim	Sim	Não	Não	Tipo e diferenciação da técnica de soco
<i>Corner (CPT)</i>	Sim	Sim	Sim	Sim	Tipo e diferenciação da técnica de soco
<i>Everlast (EPT)</i>	Sim	Sim	Não	Não	Tipo e diferenciação da técnica de soco
20/20 ARMOR	Sim	Sim	Não	Não	Tempo de reação. Não foi encontrado estudos
<i>FitLight</i>	Sim	Sim/Não	Sim	Não	Tempo de reação
<i>TReaction</i>	Sim	Sim	Sim	Sim	Tempo de reação

As evidências demonstraram que o *My Jump 2* é uma ferramenta válida e confiável para avaliar o desempenho do salto e medir o índice de força reativa (RSI) com saltos de profundidade de 20 cm e 40 cm quando comparado com medidas de

referência da plataforma de força. Em comparação com a plataforma de força o App *My Jump 2* mostrou boa validade para RSI (20 cm:  $r=0,94$ ; 40 cm;  $r=0,97$ ), altura do salto (20 cm:  $r=0,80$ ; 40 cm;  $r=0,96$ ) e tempo de contato (20 cm= $0,96$ ; 40 cm;  $r=0,98$ ) (HAYNES et al., 2019).

Tanto o *software Kinovea* quanto o *Dartfish* demonstraram ser ferramentas confiáveis e válidas para avaliar ângulos, distâncias e testes de salto (ORTIZ et al., 2016; PUIG-DIVÍ et al., 2019; PUEO; PENICHET-TOMAS; JIMENEZ-OLMEDO, 2020). O *Kinovea* mostrou um alto coeficiente de correlação intraclasse (ICC = 0,985) para a avaliação do teste de salto. Os resultados indicaram concordância muito alta para a altura e apresentaram como mínima variação detectável (1,34 cm) e o erro típico de medição (0,81 cm) para o teste de salto (PUEO; PENICHET-TOMAS; JIMENEZ-OLMEDO, 2020). O *Dartfish* demonstrou uma excelente correlação inter-avaliador (ICC > 0,96;) e entre avaliadores (ICC > 0,96) para a avaliação da relação de separação joelho-tornozelo, além de uma excelente correlação (ICC =0,96) com medidas 3D. Além disso, durante a distância de separação do joelho, o software mostrou confiabilidade entre avaliadores de boa para excelente (ICC > 0,89), confiabilidade intra-avaliadores (ICC > 0,97) e correlação (ICC = 0,94) com medidas 3D (ORTIZ et al., 2016).

Em relação aos aplicativos HYKSO, *PunchLab*, *StrikeTec*, *Corner* e *Everlast*, encontramos apenas um estudo sobre a validade e confiabilidade da contagem de golpes e o tipo e diferenciação da técnica do soco. O estudo verificou a precisão por erros percentuais entre o registrado (pelo sensor) e o verdadeiro (conforme determinado pela gravação de vídeo). Não encontramos estudos sobre a precisão e validade das medidas de deslocamento, aceleração e velocidade. O *Corner*, *Everlast* e HYKSO mostraram detectar golpes e tipo de técnica de soco com mais precisão em sujeitos treinados, em comparação aos não treinados, evidenciado por um menor percentual de erro ( $p=0,007$ ). O *Corner*, *Everlast* e HYKSO detectaram socos retos melhor do que ganchos e cruzados, com uma porcentagem de erro menor para socos retos ( $p<0,001$ ). O *Everlast* não permitiu a exportação de dados e dificultou as análises. Tanto *Corner*, quanto HYKSO, parecem ser opções viáveis para rastrear a contagem de socos e o tipo de técnica de socos (OMCIRK et al., 2021).

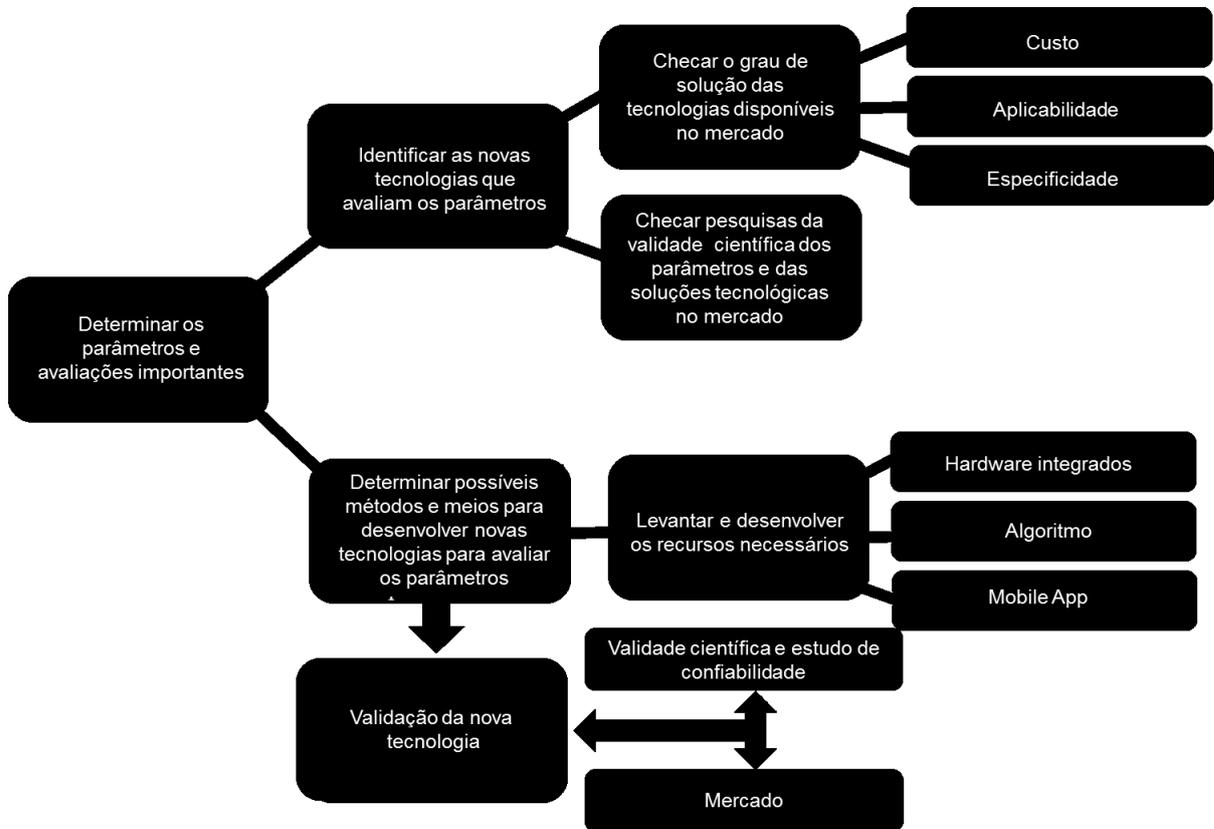
O 20/20 ARMOR, *FitLight* e *TReaction* são aplicativos usados para medir o tempo de reação. Não encontramos estudos sobre a precisão do colete 20/20 para determinar o tempo de reação. O *FitLight* mostrou boa confiabilidade teste-reteste

para tempo de reação de escolha ( $ICC = 0,80$ ,  $p = 0,000$ ) e apresentou valores de mínima variação detectável registrados para a sessão 1 (80 ms) e a sessão 2 (79 ms) (MYERS; TOONSTRA; CRIPPS, 2023). A alteração mínima detectável pode ser importante para verificar o efeito e confirmar os resultados de determinada intervenção, assim como, se de fato o uso de algum recurso ergogênico ou intervenção de potencialização é realmente efetiva na melhora da variável.

O aplicativo *TReaction* revelou-se uma ferramenta válida e confiável para medir o tempo de resposta em esportes de combate (COSWIG et al., 2019). Segundo os autores, o aplicativo apresenta uma diferença média de 13 ms para o tempo de resposta em comparação com a câmera de alta velocidade e o limite de 95% de concordância para as diferenças entre a câmera de alta velocidade e *TReaction* foi de 27 ms. Além disso, o erro típico de medição observado (9 ms) deve ser considerado ao comparar os valores de tempo de resposta obtidos pelo aplicativo *TReaction* com outras medições cinemáticas (COSWIG et al., 2019). É importante destacar a falta de informações sobre a reprodutibilidade intraindividual do tempo de reação e a mudança mínima detectável para verificar o efeito e confirmar os resultados de uma determinada intervenção usando o *TReaction*.

O presente trabalho apresenta algumas recomendações para atletas e treinadores na escolha de tecnologias para avaliação biomecânica de esportes de combate, por meio de um guia operacional apresentado na Figura 9. Essas sugestões também podem ajudar os pesquisadores a desenvolverem novas metodologias de avaliação focadas em problemas e soluções com aplicabilidade prática ao contexto desportivo.

Figura 9 – Fluxograma com orientações para o desenho metodológico de pesquisas visando novas tecnologias para avaliação biomecânica em esportes de combate



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

## 4 DISCUSSÃO

O presente estudo é o primeiro a apresentar, por meio de uma revisão de literatura, informações quantitativas e qualitativas sobre o cenário atual de novas tecnologias para avaliação biomecânica com aplicabilidade em esportes de combate. Os principais resultados desta pesquisa foram: 1) há um número crescente de novas tecnologias disponíveis para avaliação e monitoramento biomecânico no esporte em geral e que têm aplicabilidade em modalidades esportivas de combate; 2) a maioria das tecnologias é desenvolvida usando sensores inerciais e através de MEMS; 3) a revista ‘Sensor’ teve o maior número de publicações com pesquisas relacionadas ao tema “novas tecnologias para avaliação biomecânica em esportes de combate”; 4) apesar do aumento desde 2018, o número de estudos envolvendo essa temática ainda é baixo; 5) a maioria das novas soluções tem aplicabilidade com soluções em tempo real, exceto os sistemas cinemáticos *Kinovea* e *Dartfish*; 6) considerando todos os sistemas de aquisição de dados, apenas o *Kinovea* é gratuito

e os demais são cobrados e apresentam uma variação de preço aos valores de aquisição; e 7) apenas sete propostas tecnológicas apresentam estudos de confiabilidade científica e seis estudos de validade para os parâmetros fornecidos.

As tecnologias estão cada vez mais presentes nas práticas de atividade física, principalmente na área das ciências do esporte. Nesse sentido, tem sido observado um aumento de pesquisas em ciências do esporte que avaliam e quantificam em tempo real parâmetros biomecânicos, fisiológicos e psicológicos com uso de dispositivos não invasivos e que podem auxiliar na melhoria do desempenho e aumentar o controle de indicadores e intervenções na área. Com base nessas informações, é possível otimizar a recuperação dos atletas, reduzir o risco de lesões e aumentar o grau de segurança, controle e precisão das cargas externas impostas e as consequentes respostas das cargas internas (MÜLLER et al., 2018; WANG; FANG, 2019). Segundo o Colégio Americano de Medicina dos Esportes, as novas tecnologias vestíveis têm aparecido no topo das tendências de mercado nos setores de esportes, *fitness* e saúde (THOMPSON, 2021). Ademais, segundo a Global Wellness Institute (GWI, 2018), dados mostram que o mercado de bem-estar e tecnologias em esportes movimentou cerca de 4,2 trilhões de dólares em 2017.

Concomitantemente, com o crescimento do mercado, há um aumento das investigações científicas sobre os avanços tecnológicos, principalmente em equipamentos vestíveis, cada vez mais utilizados em diversas áreas (OLIVEIRA et al., 2022) e também na avaliação específica de atletas de esportes de combate (SAPONARA, 2017). No que diz respeito à avaliação biomecânica, como apresentados neste estudo, houve um aumento significativo de estudos, principalmente nos últimos dois anos. Apesar do evidente crescimento do mercado de tecnologias esportivas e do aumento de sua utilização, há uma demanda por mais pesquisas sobre essas novas tecnologias para facilitar a avaliação biomecânica, principalmente em esportes de combate.

Além disso, como mostrado na Tabela 5, os aplicativos *MyJump 2*, *Kinovea*, *Dartfish*, *TReaction*, *FitLight*, *HYSKO* e *Corner* demonstraram índices de confiabilidade para apenas alguns dos parâmetros que se propõem a medir (FUENTES et al., 2016; ORTIZ et al., 2016; COSWIG et al., 2019; HAYNES et al., 2019; PUIG-DIVÍ et al., 2019; PUEO; PENICHET-TOMAS; JIMENEZ-OLMEDO, 2020; OMCIRK et al., 2021; MYERS; TOONSTRA; CRIPPS, 2023). Ademais, apenas *MyJump 2*, *Kinovea*, *Dartfish*, *TReaction*, *HYSKO* e *Corner* têm evidências

mostrando índices de validade (ou seja, validade e confiabilidade) para estas medidas (FUENTES et al., 2016; ORTIZ et al., 2016; COSWIG et al., 2019; HAYNES et al., 2019; PUIG-DIVÍ et al., 2019; PUEO; PENICHET-TOMAS; JIMENEZ-OLMEDO, 2020; OMCIRK et al., 2021). *MyJump 2* foi desenvolvido para avaliar o desempenho do salto vertical e obter uma estimativa de potência dos membros inferiores. Essa ferramenta pode ser considerada uma alternativa para que o atleta monitore o ciclo de treinamento e mensure por meio de uma medida objetiva do desempenho do salto o estado de prontidão para treinar/competir (GABBETT et al., 2017), enquanto o *FitLight* foi desenvolvido para avaliar a resposta do tempo de reação em diferentes situações esportivas. Os Apps *TReaction*, *HYSKO* e *Corner* foram desenvolvidos especificamente para avaliar os golpes executados por atletas em esportes de combate de percussão (COSWIG et al., 2019; OMCIRK et al., 2021). Tais indicadores e suas referências de validade científica são importantes, para técnicos, treinadores esportivos e atletas, uma vez que a confiabilidade, validade e sensibilidade de um instrumento, permitem uma melhor tomada de decisão sobre qual protocolo de desempenho usar, com garantia de medições confiáveis (CURRELL; JEUKENDRUP, 2008).

Diante dos resultados encontrados no presente estudo, vale destacar as grandes oportunidades que surgem com o advento da Indústria 4.0 e as possibilidades de desenvolvimento de novas tecnologias que integram o uso de dispositivos móveis e/ou vestíveis que permitem maior acesso às métricas de aquisição para dados biológicos, mecânico e de rastreamento de dados em tempo real. No entanto, é importante chamar a atenção ao considerar essas ferramentas na prática clínica e voltada ao cenário do esporte de alto rendimento. Recomenda-se fortemente que sejam utilizadas com cautela e que as variáveis mensuradas apresentem indicadores de validade e confiabilidade, com estudos mais aprofundados para avaliar a precisão dos parâmetros biomecânicos identificados em atletas de esportes de combate. É importante mencionar que os profissionais envolvidos com esportes de combate estão mais interessados nas respostas individuais e se essas mudanças são significativas na prática. Portanto, o erro típico apresentado por cada aplicativo durante os testes de desempenho, bem como, o conhecimento do coeficiente de variação da variável identificada com essas ferramentas também é uma estatística necessária a ser considerada ao identificar a mudança de desempenho em atletas após a medição dos resultados do efeito (ou

seja, intervenção de treinamento). Assim, o objetivo dos atletas pode ser definido com base em uma combinação que considere a mudança mínima detectável e o coeficiente de variação, para fornecer de forma confiável um indicador de ocorrência de mudança de desempenho (CURRELL; JEUKENDRUP, 2008; GABBETT et al., 2017).

Adicionalmente, a presente pesquisa possibilitou aos leitores, pesquisadores e profissionais envolvidos com esportes de combate, determinar os parâmetros biomecânicos que as novas tecnologias propostas podem avaliar, os métodos utilizados para determinar esses parâmetros e quais dessas tecnologias apresentam confiabilidade e métodos validados. Com base nisso, foi apresentado um fluxograma (Figura 9) com diretrizes operacionais para a pesquisa e voltado para o desenvolvimento de novas tecnologias para avaliação biomecânica para auxiliar os leitores acerca de uma metodologia direcionada para pesquisas futuras.

Algumas limitações do presente estudo devem ser consideradas, como o baixo número de bases de dados investigadas e a ausência de métodos sistemáticos para a busca de artigos científicos, impossibilitando a realização de uma revisão sistemática da literatura. No entanto, este estudo também apresenta pontos fortes, como o uso de parâmetros bem definidos para mapear o que há de novo na avaliação biomecânica em esportes de combate; uma avaliação do custo operacional de novas tecnologias; o levantamento da especificidade e aplicabilidade de novas tecnologias; e uma referência à validade científica das novas tecnologias apresentadas.

Pesquisas futuras devem focar na expansão do assunto, visando desenvolver uma cultura de diagnóstico de problemas em avaliação e monitoramento da biomecânica, propondo novas tecnologias com soluções práticas, aplicáveis em tempo real e voltadas aos atletas e profissionais envolvidos com esportes de combate. Por fim, considerando que apenas sete propostas tecnológicas apresentam estudos de confiabilidade científica e seis estudos de validade para os parâmetros fornecidos, é possível inferir que o mercado de novas tecnologias esportivas úteis em esportes de combate ainda é emergente e precisa ser explorado em estudos futuros por meio de pesquisas com análise dos critérios científicos (ou seja, confiabilidade, validade e sensibilidade).

## **5 CONCLUSÕES**

Pode-se concluir que há um número crescente de novas tecnologias com ferramentas práticas para avaliar a biomecânica em esportes de combate e um número crescente de estudos nessa área, principalmente nos últimos dois anos. Por fim, a maioria das soluções tecnológicas apresentadas nesta revisão permite avaliar a qualidade do golpe com resultados que classificam automaticamente os golpes e fornecem valores de pontuação automática, tempo de reação e valores de impacto e potência da técnica em tempo real.

## CAPÍTULO II – O EFEITO DE UMA SESSÃO DE TREINAMENTO DE *PACE* NA CARGA INTERNA E PARÂMETROS NEUROMUSCULARES EM ATLETAS DE TAEKWONDO

### Resumo

Este estudo teve como objetivo verificar o efeito de uma sessão de treinamento na intensidade correspondente à frequência de chute de limiar anaeróbio ( $FCh_{Lan}$ ) na resposta de carga interna e no desempenho da resposta motora do chute semicircular. Doze atletas faixa preta de taekwondo foram submetidos a duas sessões de avaliação: (1) realizaram o teste progressivo específico para taekwondo (TET) para identificar o ponto de deflexão da frequência cardíaca (PDFC) e a  $FCh_{Lan}$ ; (2) realizaram uma sessão de treino de três *rounds* de 2 min na  $FCh_{Lan}$  com intervalo de 1 min. A frequência cardíaca (FC) ao longo de cada *round* e o desempenho da resposta motora antes e depois das sessões foram medidos. Foi utilizado o teste t de Student ou teste de Wilcoxon, adotando-se  $p < 0,05$ . Durante o *round* 1, uma carga interna menor foi observada ( $167 \pm 10$  bpm) em comparação com o PDFC ( $179 \pm 8$  bpm;  $p = 0,035$ ). Durante os *rounds* 2 ( $178 \pm 10$  bpm;  $p = 0,745$ ) e 3 ( $179 \pm 8$  bpm;  $p = 1$ ), não foram observadas diferenças entre a carga interna e o PDFC. O desempenho das respostas motoras não apresentou diferenças. No entanto, uma potencialização no teste de salto com contra movimento pós a sessão de *pace* em comparação com os saltos pós-*round* 1 ( $p = 0,012$ ) e 2 ( $p = 0,028$ ) foi observado. A carga interna (FC) observada na intensidade correspondente à  $FCh_{Lan}$  pode ser considerada na prescrição de treinamento quando o objetivo for controlar a carga interna e obter respostas no desempenho motor sem induzir fadiga.

**Palavras-chave:** Artes Marciais; Ponto de Deflexão da Frequência Cardíaca; Preparação Física; Tecnologia Móvel; Limiar Anaeróbio.

### 1 INTRODUÇÃO

O taekwondo é caracterizado como um esporte intermitente, com alternância entre ataques envolvendo movimentos de alta intensidade e períodos de baixa intensidade, ou mesmo períodos de inatividade (MATSUSHIGUE; HARTMANN; FRANCHINI, 2009). Essas características refletem em uma relação esforço:pausa (E:P) durante o combate de 1:4 a 1:9 (MATSUSHIGUE; HARTMANN; FRANCHINI, 2009; SANTOS; FRANCHINI; LIMA-SILVA, 2011; CAMPOS et al., 2012; DEL VECCHIO; ANTUNES; BARTEL, 2016). Durante as competições de taekwondo de nível internacional, os atletas realizam  $8 \pm 3$  ataques de alta intensidade, durando cerca de  $1,3 \pm 0,4$  s cada, alternados com  $9,2 \pm 3,9$  s de movimentos de saltitos e  $6,0 \pm 3,9$  s de interrupções do árbitro, resultando em uma relação de 1:9 para ações

de ataque e movimentos de *step* e 1:15 entre ações de alta intensidade para as de baixa intensidade e pausa (SANTOS; FRANCHINI; LIMA-SILVA, 2011).

Com isto, as ações motoras no taekwondo, que são características da modalidade, impõem uma relação E:P que geram alternâncias energéticas entre os momentos de predominância aeróbia e aqueles momentos determinantes em que a demanda anaeróbia é aumentada (CAMPOS et al., 2012). Ademais, é importante observar que o sucesso em esportes, como o taekwondo, é frequentemente associado a ações em resposta a um determinado estímulo (BOUHLEL et al., 2006; LOTURCO et al., 2017), como, por exemplo, os tempos de reação e resposta dos chutes (VIETEN et al., 2007; HERMANN et al., 2008).

Nos esportes de combate, as ações determinantes são resultantes de potência anaeróbia (ex. chute) e supridas pelo sistema de energia anaeróbia, em particular o sistema anaeróbico alático (ATP-CP) (BRIDGE; JONES; DRUST, 2009; OBMÍNSKI et al., 2011). Essas ações exigem alta produção de força em pequenos intervalos de tempo, o que é conhecido como “a taxa de desenvolvimento de força” (ANDERSEN; AAGAARD, 2006), e resultam de um maior recrutamento de fibras musculares, principalmente aquelas com contração rápida (MAFFIULETTI et al., 2016). Portanto, atletas de taekwondo devem manter a capacidade de sustentar essas ações decisivas, com alta potência anaeróbia e o desempenho neuromuscular ao longo da luta, sem comprometer o tempo de reação pré-motora e o tempo de resposta dos músculos associados às ações determinantes, como os chutes (SANT’ANA et al., 2017).

Sendo assim, a avaliação da potência muscular em atletas de esportes de combate é importante. Embora seja questionado o uso de testes com salto vertical para esse fim (MORIN et al., 2019), o teste de salto com contra movimento (CMJ) é frequentemente usado (LOTURCO et al., 2017). Além disso, há evidências de fortes correlações entre a potência média no teste CMJ e tempos de ciclo de chute mais curtos ( $r = -0,89$ ) e tempos médios de ciclo de chute ( $r = -0,79$ ) em teste específico para avaliar a potência e capacidade anaeróbica de atletas de taekwondo (SANT’ANA et al., 2014). O teste CMJ também tem sido capaz de discriminar o nível competitivo de atletas de esportes de combate (RAVIE; GRAPPE; ROUILLON, 2004).

Além disso, as ações determinantes de alta intensidade associados com as ações predominantemente de baixa intensidade, refletem a carga externa (ou seja,

ritmo ou relação E:P) e, conseqüentemente, geram respostas fisiológicas (uma carga interna) específicas (KIRK; HURST; ATKINS, 2015), que precisam ser controladas. Alguns estudos mostram diferentes valores de carga externa (relação E:P) e respostas de carga interna (por exemplo, lactato sanguíneo e frequência cardíaca - FC) em situações de combate simulado (CAMPOS et al., 2012), competições simuladas (BOUHLEL et al., 2006; BUTIOS; TASIKA, 2007), combates em situações de jogos reduzidos com cada atleta enfrentando um ou dois adversários em diferentes tamanhos de área (ou seja, 4 × 4 m, 6 × 6 m e 8 × 8 m) e relação imposta para E:P de 1:2 ou combate livre (OUERGUI et al., 2021a; 2021b), competições com um único round (MATSUSHIGUE; HARTMANN; FRANCHINI, 2009) e competições oficiais (BRIDGE; JONES; DRUST, 2009; OBMÍŃSKI et al., 2011). Esses estudos observacionais, baseados em médias, dificultam a compreensão da relação entre os parâmetros de carga externa e interna individualmente, e os efeitos destes sobre desempenho neuromuscular e ações determinantes (chutes) realizadas pelo atleta durante o combate.

Atualmente, no taekwondo, a carga interna (por exemplo, FC) pode ser estimada a partir de parâmetros de carga externa (por exemplo, frequência de chute - FCh) ou o *pace* obtido durante o teste progressivo específico para taekwondo (TET) (SANT' ANA et al., 2019). Durante esses testes, é possível obter uma frequência de chute no limiar anaeróbio (FCh<sub>Lan</sub>) individualizada, *pace* ou frequência de golpes que pode ser usado para modular a intensidade das sessões de treinamento e, também, verificar os efeitos em parâmetros específicos através da intensidade relativa do teste (SANT' ANA et al., 2017). No entanto, a literatura carece de estudos que tenham verificado o efeito do uso da carga externa específica (ex. FCh<sub>Lan</sub>), identificada no TET, na resposta de carga interna, no desempenho neuromuscular e na técnica específica de atletas de taekwondo (por exemplo, chute). Com isto, o presente estudo teve como objetivo verificar o efeito de uma sessão de treino de *pace* realizada na intensidade correspondente a FCh<sub>Lan</sub> na resposta de carga interna, no desempenho durante o teste CMJ, e nos parâmetros associados ao sistema neuromuscular e motor do desempenho do chute semicircular por meio da avaliação do tempo de reação pré-motora, tempo de reação motora e tempo de resposta do chute, em atletas de taekwondo. Nossa primeira hipótese foi que o treino de *pace* em intensidade correspondente a FCh<sub>Lan</sub> promoveria respostas de carga interna semelhantes às observadas na intensidade

determinada pelo PDFC, durante o teste incremental. Nossa segunda hipótese foi que três *rounds*, na intensidade relacionada, causaria uma queda no desempenho do CMJ e piora dos parâmetros associados ao tempo de resposta motora do chute semicircular de atletas de taekwondo.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 PARTICIPANTES

A amostra foi do tipo não probabilístico intencional composto de um grupo de 12 atletas, todos do gênero masculino e faixa preta de Taekwondo ( $20,7 \pm 4$  anos;  $177 \pm 6$  cm;  $73,6 \pm 7,9$  kg,  $12,1 \pm 3,5\%$  de gordura corporal, e  $8,4 \pm 5,0$  anos de prática). Os atletas que participaram do estudo estavam envolvidos em pelo menos 1 h de treino três vezes por semana. Os atletas participavam regularmente de campeonatos regionais e competições estaduais, e alguns dos atletas (três atletas) eram competidores de nível nacional e internacional. Considerando a classificação olímpica da divisão de peso, os participantes eram classificados como peso-mosca (um atleta), pluma (cinco atletas), meio-médio (quatro atletas) e peso-pesado (dois atletas).

### 2.2 DESIGN EXPERIMENTAL

A coleta de dados foi realizada em duas sessões na seguinte ordem: (1) TET e (2) treinamento em intensidade relacionada ao *pace*. O intervalo entre cada sessão foi superior a 48 h. Na primeira sessão, os atletas realizaram o TET para identificar o ponto de deflexão da frequência cardíaca - PDFC,  $FCh_{Lan}$ , e a intensidade relacionada ao *pace* de treinamento através do aplicativo móvel *ITStriker* (ETS4ME, São José, SC, Brasil). Na segunda sessão, os atletas realizaram três *rounds* de 2 min com um intervalo de 1 minuto, a FC foi medida ao longo de cada *round*, o desempenho de salto CMJ e as variáveis associadas com tempo de reação pré-motor, tempo de reação motor e tempo de resposta do chute semicircular foram mensuradas antes e depois das sessões de treino de *pace* na intensidade da  $FCh_{Lan}$  (Figura 1). Os atletas foram instruídos a não realizar nenhum outro tipo de esforço físico nas 24h anteriores à coleta de dados. Cada indivíduo foi informado sobre os

riscos e benefícios associados ao protocolo de teste. Todos os procedimentos de pesquisa foram previamente aprovados pelo Comitê de Ética e Pesquisa sobre Seres Humanos (protocolo nº 145882).

## 2.3 PROCEDIMENTOS

### 2.3.1 Avaliação Antropométrica

Para caracterizar o grupo de atletas, as seguintes variáveis antropométricas foram medidas: estatura usando um estadiômetro (Sanny, São Paulo, Brasil), massa corporal com balança eletrônica (Toledo, São Paulo, Brasil), com resoluções de 0,1 cm e 0,1 kg, respectivamente, e espessura das dobras cutâneas foram mensuradas usando um compasso científico (Cescorf, Porto Alegre, Brasil), com resolução de 0,1 mm. A porcentagem de gordura foi calculada a partir da equação de Siri (SIRI, 1961), com a densidade corporal estabelecida para homens (JACKSON; POLLOCK, 1978) e obtidas por meio das seguintes dobras cutâneas: subescapular, axilar média, tríceps, coxa, suprailíaca, abdome e tórax. Três medições foram feitas em cada ponto, todas no lado direito do corpo, e o valor médio ou valor que se repetiu duas vezes foi registrado. Todas as medidas foram realizadas por um único avaliador experiente.

### 2.3.2 Teste Progressivo Específico para Taekwondo - TET

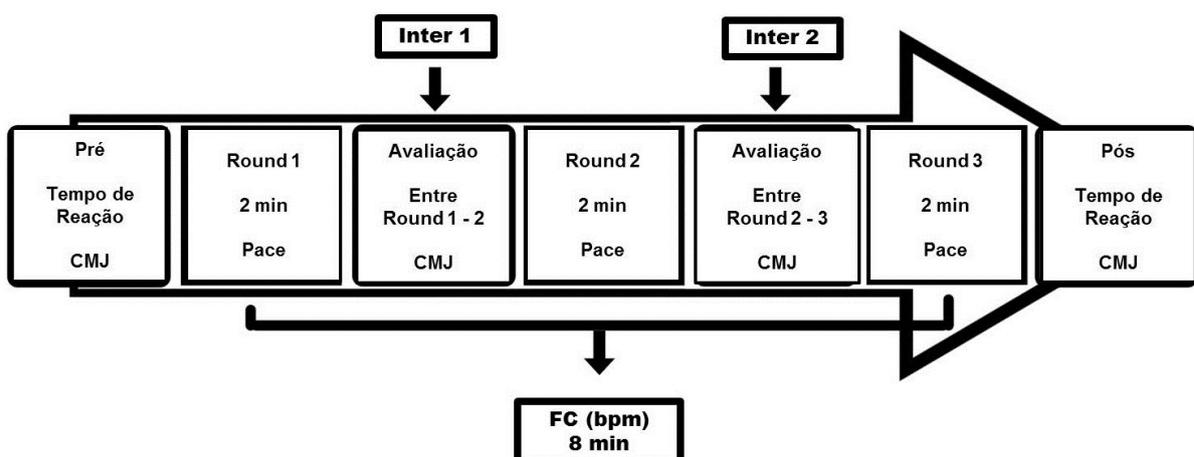
Para executar o TET e identificar a frequência máxima de chutes ( $FCh_{MAX}$ ), frequência cardíaca máxima ( $FC_{MAX}$ ), PDFC,  $FCh_{Lan}$  e o *pace* de treino pelo método  $D_{MAX}$  (KARA et al., 1996), foi utilizado o aplicativo *ITStriker* e uma cinta cardíaca *Bluetooth* para gravar as FC (Polar H7<sup>®</sup> Kempele, Finlândia), emparelhado com o aplicativo. O TET foi realizado em uma área de 2 × 2 m demarcada por Tatame. Um saco de “pancadas” foi usado para realizar os chutes, que eram realizados na altura entre a cicatriz umbilical e mamilos do atleta. Os sujeitos iniciaram o TET com a perna direita, e a primeiro estágio do teste iniciou com uma frequência de seis chutes, alternando as pernas, com acréscimo de quatro chutes a cada nova estágio. Durante o teste, os atletas sempre mantiveram o trabalho de *step* (saltitos) e o

protocolo foi realizado até a exaustão. Para mais informações sobre o teste, ver Sant' Ana et al. (2019).

### 2.3.3 Protocolo para Sessão de Treinamento de *Pace*

Antes de iniciar o protocolo, os atletas realizaram um aquecimento de 5 minutos, consistindo em alongamentos, *step*, elevação de joelho e 10 chutes semicircular executados com cada perna. O protocolo de treino de *pace* começou 3 min após o aquecimento, e os atletas realizaram três *rounds* de 2 min com intervalo de 1 minuto, a FC foi medida ao longo de cada *round*, usando uma cinta cardíaca *Bluetooth* emparelhado com o aplicativo *ITStriker*. Para manutenção da  $FCh_{Lan}$  e o *pace* correspondente ao obtido no TET, o aplicativo *ITStriker* foi usado no modo de treinamento para garantir que a intensidade do *pace* individual relacionada ao PDFC de cada atleta fosse mantida durante todos os *rounds*. Além disso, para reproduzir as ações técnico-táticas mais próximas daquelas realizadas em combate, chutes foram usados com variações nas técnicas e combinando até três chutes para cada ação, sempre alternando *steps*, saltitos, e movimentos característicos do Taekwondo (Figura 10).

Figura 10 – Desenho experimental do protocolo de avaliação antes, durante e após as sessões de *pace*

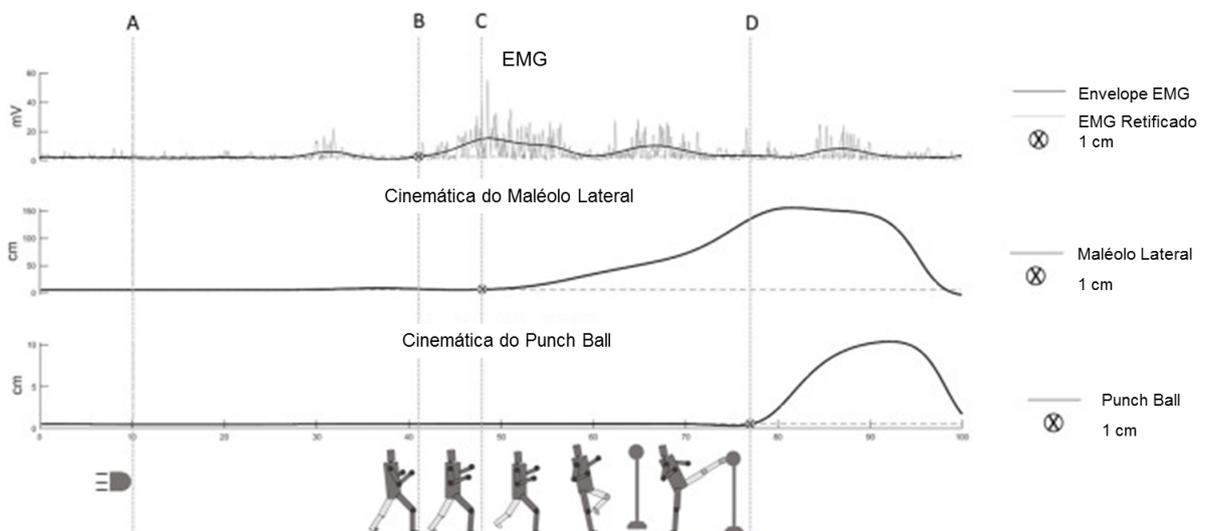


Fonte: Sant' Ana et al. (2021).

### 2.3.4 Determinação do Tempo de Reação Pré-Motor, Tempo de Reação Motor e Tempo de Resposta

Para determinar o tempo de reação pré-motor e o tempo de resposta, a sincronização foi realizada entre um sinal de luz, a eletromiografia (Delsys, Inc., Natick, MA, EUA) e sistema cinemático (Vicon, Oxford Metrics, Oxford, Reino Unido). O tempo de reação motor foi determinado com cinemática, usando marcadores reflexivos na articulação de interesse. Os atletas usaram uma meia com marcadores refletivos (tornozelo e maléolo lateral). Todos os atletas realizaram três chutes pré e dois chutes pós o protocolo de *pace*, e os melhores chutes pré e pós foram utilizados para análise (Figura 11).

Figura 11 – Medida representativa dos parâmetros associados ao desempenho neuromuscular e motor do chute semicircular de um participante. A linha pontilhada (A) representa o estímulo visual; (B) representa o início da ativação eletromiográfica do músculo reto femoral; (C) representa a cinemática do início do maléolo lateral (movimento de 1 cm do marcador do maléolo lateral) e (D) representa o contato com o alvo (movimento de 1 cm do marcador do *punch ball*)



Fonte: Sant' Ana et al. (2021).

Para identificar o tempo de reação pré-motor, definido como o tempo de intervalo entre o estímulo visual e o início da ativação (eletromiografia), o sinal de ativação do músculo reto femoral gerado em cada chute executado foi identificado. Como um critério para determinar o tempo de reação pré-motor, baseado na

ativação muscular, usando eletromiografia de superfície (EMG), os sinais foram amplificados e registrados em uma taxa de amostragem de 2.000 Hz, e os sinais brutos de EMG foram suavizados com um filtro recursivo digital *Butterworth* de quarta ordem (20–500 Hz). A atividade EMG de linha de base foi avaliada 150 ms antes de cada sinal de luz usado para determinar a execução do chute. Um aumento no sinal EMG igual a cinco vezes o desvio padrão deste valor de referência foi usado para determinar o tempo de reação pré-motor (HOPPER et al., 1998).

O tempo de resposta foi definido como o tempo total entre a apresentação do estímulo visual até o momento em que o golpe atingiu o alvo (*punch ball*) demarcado com marcadores reflexivos e mostrando um movimento de 1 cm. Ambos os tempos de resposta e tempos de reação motora foram medidos, usando a análise de movimento do sistema com uma frequência de amostragem de 400 Hz. A técnica utilizada foi o chute semicircular realizado na altura da cabeça do atleta, e a distância do alvo foi padronizada, garantindo que o pé de apoio no pré e momentos pós-treino de *pace* mantivessem a posição demarcada no chão.

### **2.3.5 Determinação do Tempo de Movimento, Tempo de Performance e o Retardo Eletromecânico**

O tempo de movimento foi determinado como o intervalo de tempo entre o tempo de resposta e o tempo de reação motor cinemático; o tempo de performance como o intervalo de tempo entre o tempo de reação pré-motor e o tempo de resposta; e o retardo eletromecânico como a diferença entre o tempo de reação pré-motora e o tempo de reação motor cinemática.

### **2.3.6 Teste de Salto Vertical**

O desempenho do salto vertical foi avaliado por meio do teste CMJ. Todos os atletas estavam familiarizados com o tipo de salto. O protocolo consistiu de três tentativas, realizadas pré e pós o protocolo de *pace* e a cada intervalo dos *rounds* de 2 min. O teste consiste em adotar a posição em pé com as mãos sobre o quadril, flexionando os joelhos aproximadamente em 90°, e realizando um salto máximo. O desempenho (ou seja, a altura do salto) foi medido, usando uma plataforma de força piezoelétrica (Kistler, Quattro jump, 9290AD, Winterthur, Suíça), com frequência de

amostragem de 500 Hz. Foram permitidas três tentativas, sendo considerado o melhor salto para a análise. Para a análise da altura do salto, o software da plataforma de força (Kistler, Quattro jump, 9290AD, Winterthur, Suíça) foi usado.

## 2.4 ANALISES ESTATÍSTICA

Estatísticas descritivas (média e desvio padrão) foram usadas para apresentar os dados. A normalidade foi verificada usando o teste de Shapiro-Wilk e homogeneidade pelo teste de Levene. ANOVA com medidas repetidas seguidas pelo teste de Tukey foi usado para comparar PDFC e FC dos rounds 1, 2 e 3, bem como desempenho do CMJ e o teste t ou teste de Wilcoxon para amostras dependentes foi utilizado para comparar as variáveis motoras do chute semicircular pré e pós sessão de *pace*. A magnitude das diferenças foi verificada, usando o tamanho do efeito de acordo com (d) Cohen (1969) ou (r) Pallant (2007) e classificado como trivial ( $p < 0,25$ ), pequeno ( $p = 0,25-0,50$ ), efeitos moderados ( $p = 0,50-1,0$ ) ou grandes ( $p > 1,0$ ) (RHEA, 2004). Adotou-se nível de significância  $p < 0,05$ . Para a análise e tratamento dos dados, Microsoft Office Excel 2007, Matlab 7.1 (MathWorks, Natick, MA, EUA) e software SPSS 17.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, EUA).

## 3 RESULTADOS

A Tabela 6 apresenta a média e o desvio padrão das variáveis do teste específico de taekwondo.

Tabela 6 – Média e desvio padrão das variáveis obtidas durante o teste progressivo específico de Taekwondo (TET) (n = 12)

<b>FCh<sub>MAX</sub></b>	<b>FCh<sub>Lan</sub> (<i>pace</i>)</b>	<b>FC<sub>MAX</sub></b>	<b>PDFC</b>
33 ± 4 chutes	18 ± 2 chutes	195 ± 7 bpm	179 ± 8 bpm

FCh<sub>MAX</sub> = frequência de chute máxima; FCh<sub>Lan</sub> = frequência de chute de limiar anaeróio; FC<sub>MAX</sub> = frequência cardíaca máxima; PDFC = ponto de deflexão da frequência cardíaca.

A Tabela 7 mostra as respostas de carga interna com os valores de FC obtido no TET e durante os três rounds de treino de *pace* realizado na intensidade correspondente a FCh<sub>Lan</sub>. Durante o *round* 1, um menor valor de carga interna foi

observado em comparação com PDFC ( $p = 0,0001$ ). Nenhuma diferença foi observada em relação à carga interna e PDFC dos *rounds* 2 ( $p = 0,456$ ) e 3 ( $p = 1$ ). A diferença verificada, usando o tamanho do efeito, apresentou um grande efeito ( $d = 1,360$ ), comparando PDFC e FC durante o *round* 1. Durante os *rounds* 2 e 3, as diferenças verificadas, usando o tamanho do efeito, apresentaram efeito trivial, comparando PDFC e FC ( $d = 0,167$  e  $d = 0,00$  respectivamente).

Tabela 7 – Média e desvio padrão das variáveis obtidas durante sessão de treino de *pace* em intensidade correspondente à intensidade do ponto de deflexão da frequência cardíaca (PDFC) ( $n = 12$ )

PDFC (IC)	FC <sub>round1</sub> (IC)	FC <sub>round2</sub> (IC)	FC <sub>round3</sub> (IC)
179 ± 8 bpm (174 – 185)	167 ± 10 bpm <sup>a</sup> (160 – 173)	178 ± 11 bpm <sup>b</sup> (171 – 184)	179 ± 10 bpm <sup>b</sup> (173 – 186)

FC = frequência cardíaca; valores da carga interna identificados no *pace* para os *rounds* 1, 2 e 3 em comparação com o PDFC obtido durante o PSTT; a = diferença para PDF; b = diferença para o *round* 1; IC = intervalo de confiança.

A Tabela 8 mostra o desempenho no CMJ. Nenhuma diferença em valores médios pré e pós-treino de *pace* foi observado ( $p = 0,227$ ). Foi observada diferença no desempenho do pós CMJ em comparação com os valores nos intervalos de *rounds* 1 ( $p = 0,011$ ) e 2 ( $p = 0,028$ ). No entanto, um pequeno tamanho do efeito foi observado em comparação entre pré e pós CMJ ( $d = 0,264$ ) e desempenho pós em comparação com valores nos intervalos de *rounds* 1 ( $d = 0,422$ ) e 2 ( $d = 0,388$ ).

Tabela 8 – Média e desvio padrão do desempenho no teste de salto com contra movimento (CMJ) pré, pós e no intervalo dos *rounds* de *pace* realizados na intensidade correspondente à frequência do chute no limiar anaeróbio ( $n = 12$ )

CMJ <sub>PRE</sub> (IC)	CMJ <sub>INTER1</sub> (IC)	CMJ <sub>INTER2</sub> (IC)	CMJ <sub>POS</sub> (IC)
46,4 ± 5,33 cm (42,9 – 50,0)	45,4 ± 6,01 cm (41,4 – 49,4)	45,7 ± 5,67 cm (41,9 – 49,4)	47,9 ± 5,71 cm* (44,1 – 51,7)

CMJ<sub>PRE</sub> = valor para CMJ pré treinamento de *pace*; CMJ<sub>INTER1</sub> = valor para CMJ durante o intervalo entre os *rounds* 1 e 2; CMJ<sub>INTER2</sub> = valor para CMJ durante o o intervalo entre os *rounds* 2 e 3; CMJ<sub>POS</sub> = valor para treinamento pós treinamento de *pace*; \* = diferença entre <sub>INTER1</sub> e <sub>INTER2</sub> para pós; IC = intervalo de confiança.

A Tabela 9 apresenta a média e o desvio padrão dos parâmetros associados com o desempenho neuromuscular e motor da execução do chute semicircular durante a avaliação pré e pós-treino de *pace* em atletas de taekwondo. Não foram

observadas diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre os momentos pré e pós-treino de *pace* para CMJ e qualquer uma das variáveis associado com o desempenho de reação e resposta motora do chute semicircular. No entanto, há um aumento significativo na altura do salto vertical no teste CMJ pós-treinamento, em relação aos saltos registrados nos intervalos entre os *rounds*. As diferenças verificadas usando o tamanho do efeito apresentaram-se triviais e o efeito de pequena magnitude.

Tabela 9 – Média e desvio padrão e tamanho do efeito (ES) dos parâmetros associados ao desempenho neuromuscular (CMJ) e motor do chute circular durante a avaliação pré e pós treino em *rounds* de *pace* em atletas de taekwondo (n = 12)

<b>Variáveis</b>	<b>Pré</b>	<b>Pós</b>	<b>IC</b>	<b>p</b>	<b>d (ES)</b>	<b>r (ES)</b>
Tempo de Reação Pré-motor (ms)	311 ± 153	295 ± 76	(214 – 409)	0,548	-0,141	–
Tempo de Resposta (ms)	843 ± 235	743 ± 103	(677 – 999)	0,272	–	0,037
Tempo de Reação Motor Cinemático (ms)	420 ± 147	404 ± 88	(327 – 514)	0,570	-0,139	–
Tempo de Movimento (ms)	423 ± 231	339 ± 98	(276 – 569)	0,195	–	0,040
Retardo Eletromecânico (ms)	109 ± 50	109 ± 51	(77 – 142)	0,993	-0,002	–
Tempo de Performance (ms)	532 ± 258	448 ± 96	(368 – 696)	0,239	–	0,056
Desempenho no CMJ (cm)	46,4 ± 5,3	47,9 ± 5,7	(42,9 – 51,7)	0,130	0,260	–

CMJ = salto contra movimento; ms = milissegundos; cm = centímetros.

## 4 DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo verificar os efeitos de uma sessão de treino de *pace* em intensidade correspondente a  $FCh_{Lan}$  na resposta de carga interna (FC), desempenho do teste CMJ e parâmetros associados ao tempo de reação pré-motor, tempo de reação motora, e resposta motora de chutes semicirculares em atletas de taekwondo. Os resultados observados confirmaram a hipótese formulada para o presente estudo, na qual, sugerimos que a carga interna (FC) observada durante uma sessão de treino de *pace* seria semelhante à intensidade identificada e observada na intensidade determinada durante o teste específico de taekwondo. Por outro lado, a hipótese de que o treino de *pace* causaria uma redução no desempenho das variáveis associadas ao desempenho neuromuscular e CMJ, bem como, sobre o tempo de reação do chute semicircular e nas variáveis de tempo de resposta em atletas de taekwondo, foi rejeitada.

No taekwondo, ao planejar um programa de treinamento, é necessário considerar as demandas específicas do esporte e suas características intermitentes (MATSUSHIGUE; HARTMANN; FRANCHINI, 2009; CAMPOS et al., 2012; DEL VECCHIO; ANTUNES; BARTEL, 2016). Também é preciso levar em conta o princípio da individualidade, a partir dos parâmetros de testes específicos, como o utilizado no presente estudo (TET) para ajudar a identificar as respostas de carga interna e auxiliar na elaboração de uma intervenção, utilizando o *pace* individual de forma a obter maior controle da relação E:P específica do atleta e as adaptações esperadas com a intervenção.

No presente estudo, conforme o *pace* do limiar anaeróbio dos atletas, caracterizados pela  $FCh_{Lan}$ , e com relação E:P média de ~1:4, foram observadas respostas de carga interna (FC) de 167, 178 e 179 bpm, para os *rounds* 1, 2 e 3, respectivamente. Apenas no primeiro *round* foi observado um valor de carga interna inferior ao PDFC determinado durante o TET ( $p = 0,035$ ). Além disso, não foi possível verificar influência negativa ( $p > 0,05$ ) da intensidade do *pace* (Tabela 8 e 9) nos parâmetros associados ao desempenho neuromuscular e motor do chute semicircular em atletas de taekwondo.

O tempo de movimento, tanto pré quanto pós, no presente estudo foram encontrados melhores desempenhos (tempos menores) em relação aos de atletas da seleção espanhola e com valores mais elevados, enquanto pode-se observar

piores desempenhos em relação aos atletas da seleção alemã (HERMANN et al., 2008; FALCO; ESTEVAN; VIETEN, 2011). Os valores de tempo de resposta pré-treino de *pace* observados no presente estudo foram superiores aos observados em estudo anterior, enquanto os valores pós-treino foram inferiores (SANT' ANA et al., 2017).

Quando comparando os valores do tempo de resposta com os valores (646 ms) observados nos atletas da seleção alemã (HERMANN et al., 2008), os atletas deste estudo apresentaram valor mais elevados. Os valores após o protocolo deste estudo foram semelhantes aos valores (740 ms) observados em atletas da seleção espanhola (FALCO; ESTEVAN; VIETEN, 2011). Vários fatores podem ter influenciado os valores e as diferenças observadas entre o presente estudo e os citados acima: (1) a intensidade aplicada durante o protocolo de *pace*, (2) o nível dos atletas e (3) a altura do alvo do chute. No presente estudo, o alvo foi posicionado na altura da cabeça do atleta, enquanto no estudo de Sant' Ana et al. (2017), o alvo foi colocado na altura do tronco, no estudo com atletas da seleção alemã (HERMANN et al., 2008) na altura da cintura, e o estudo com atletas da Espanha (FALCO; ESTEVAN; VIETEN, 2011) na altura do tronco. Adicionalmente, os instrumentos de medição usados para determinar as variáveis pode ter influenciado as diferenças observadas. Nos estudos de Hermann et al. (2008) e Falco, Estevan e Vieten (2011), as variáveis do tempo de movimento e tempo de resposta foram determinados por meio da cinemática, como no presente estudo, no entanto, a frequência de amostragem usada para registrar o movimento do chute, em ambos os estudos (150 e 300 Hz, respectivamente), difere daqueles usados nesta pesquisa (400 Hz). No estudo de Sant' Ana et al. (2017), os autores determinaram o tempo de resposta usando acelerômetros, dificultando as comparações entre os estudos.

Os valores do tempo de reação pré-motor do presente estudo, ambos, pré e pós-protocolo, são superiores aos observados em estudo anterior com sete atletas de taekwondo (SANT' ANA et al., 2017). Por outro lado, ao observar o efeito do treino de *pace* na intensidade, correspondente ao consumo máximo de oxigênio, observa-se piora no tempo de reação pré-motor, bem como uma diminuição no impacto do chute semicircular em atletas de taekwondo (SANT' ANA et al., 2017). Associado a isso, o fato de no presente estudo não haver alterações no atraso eletromecânico observado, nos permite inferir que o protocolo de *pace* na intensidade correspondente a  $FCh_{Lan}$  não comprometeu o desempenho

neuromuscular do chute semicircular e não gerou fadiga nos atletas. Deve-se notar que o atraso eletromecânico pode ser influenciado em situações de fadiga, em resposta a processos, como propagação do potencial de ação; processo de acoplamento da excitação-contração; sistema de ativação dos neurônios motores gama; e o recrutamento de fibras musculares, fatores que influenciam o tempo entre o início da ativação muscular e a aceleração do membro (CAVANAGH; KOMI, 1979).

Outro achado importante do presente estudo que reforça que a intensidade da  $FCh_{Lan}$  não parece comprometer o desempenho e/ou gerar fadiga nos atletas é o fato de essa intensidade gerar um efeito de potencialização na performance do CMJ (Tabela 8). Após os três *rounds* do protocolo de *pace*, houve uma melhora de 3,1% no desempenho do CMJ em comparação com o pré, e uma melhora significativa de 5,4 e 4,8% em comparação com o CMJ após os *rounds* 1 e 2, respectivamente. Em estudo de caso com atleta Campeão Mundial de Karatê (LOTURCO et al., 2017) também foi observado o efeito de melhora (2,9%) na realização do teste CMJ pré e pós luta simulada. Os autores deste estudo sugerem que, no karatê, há pouca demanda para chutes e técnicas de membros inferiores, conforme relatado por Chaabène et al. (2014), e, como consequência, uma potencialização pós-ativação e efeito de melhora no CMJ foi observada.

No entanto, esse fato contraria os achados do presente estudo, no qual a técnica de chute foi exigida durante toda a sessão do treino de *pace*, e também observamos uma pós-ativação com efeito de potencialização no desempenho do salto. Portanto, nossos resultados demonstram que a potencialização pós-ativação no desempenho do salto após *rounds*, lutas simuladas e ou lutas, pode estar associada à intensidade e capacidade de economia do atleta de acordo com a demanda. Como observado no presente estudo, quando o atleta realiza ações motoras em um ritmo que não se sobreponha a  $FCh_{Lan}$ , isso não deve prejudicar o desempenho da técnica de chute específica ou em qualquer um dos componentes associados com o tempo de reação e resposta do chute. Adicionalmente, a potencialização pós-ativação observada no CMJ também pode ser o resultado de aspectos da mecânica e cinética envolvida no teste de desempenho de salto CMJ. O salto é um gesto motor distinto daqueles executados por atletas de esportes de combate. Na execução do chute semicircular, há flexão na articulação do quadril e extensão da articulação do joelho, enquanto, no salto, há extensão de quadril e extensão de joelho. Assim, alguns dos mecanismos sugeridos por Baker (2003),

como aumento do recrutamento de unidades motoras, melhor sincronia do disparo de impulsos nervosos e, principalmente, a redução da influência dos mecanismos inibitórios centrais (células de Renshaw) e periféricos (órgão tendinoso de Golgi), além de aumento da inibição recíproca da musculatura antagônica, poderia explicar melhor a pós-ativação, com seu efeito de potencialização observado no CMJ, após uma luta simulada ou treino de *pace*.

Assim, os resultados do presente estudo demonstram que a avaliação incremental em atletas de taekwondo pode ser uma ferramenta alternativa para estabelecer a relação E:P individualizada. A FC pode ser usada como um marcador de carga interna e, o PDFC e a  $FCh_{Lan}$  podem ser usados como indicadores de carga externa associados ao limiar anaeróbio, bem como para estabelecer o *pace* individual (E:P) em dinâmicas com ações motoras próximas às realizadas por atletas de combate para propor *rounds* de treino de *pace* para gerar respostas fisiológicas esperadas, e para obter maior controle da intensidade e as adaptações orgânicas desejadas individualmente para cada atleta. Além disso, não foi encontrada diferença entre o PDFC identificado em teste incremental em esteira e o TET (SANT'ANA et al., 2019). Assim como não houve diferença entre o limiar anaeróbio determinado em um protocolo de cargas retangulares, por meio de concentrações fixas de  $4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  (HECK et al., 1985), em comparação com o limiar anaeróbio determinado pelo PDFC ao aplicar o TET (SANT'ANA; SILVA; GUGLIELMO, 2009). Todos esses achados apontam para a possibilidade dessa variável ser utilizada para controlar a carga interna dos atletas e o marcador de resposta interna para uma determinada carga externa aplicada.

No taekwondo há uma predominância de exercícios aeróbios sobrepostos por demanda de ações determinantes de alta intensidade, que exigem do sistema anaeróbio alático (CAMPOS et al., 2012), e que caracterizam as ações da modalidade, características evidentes e impostas pela relação de atividades de alta e baixa intensidade. Considerar a  $FCh_{Lan}$ , estimado pelo PDFC, pode ser uma possibilidade para a formação de atletas da modalidade, principalmente quando se requer maior controle e precisão em relação a carga interna que se pretende impor ao atleta. Além disso, o uso de protocolos de treino de *pace* se apresenta como possibilidade ao desenvolvimento de habilidades específicas (técnicas de chute), incluindo os componentes anaeróbios determinantes e chutes de alta intensidade,

característica do modo intermitente que estão presentes em todo o protocolo incremental e durante os protocolos de treino de *pace*.

Este estudo apresenta algumas limitações importantes que devem ser consideradas ao interpretar nossos achados. O primeiro é o pequeno tamanho da amostra e o nível dos atletas avaliados. Assim, estudos futuros devem incluir um número maior de atletas com diferentes níveis competitivos. Além disso, apenas a intensidade correspondente ao PDFC foi avaliada. Assim, estudos futuros devem comparar diferentes *paces* relativos acima e abaixo do PDFC. Por último, incluir outras variáveis de carga interna, como o consumo de oxigênio e a concentração de lactato no sangue, necessárias para entender melhor os efeitos do *pace* na carga interna, parâmetros neuromusculares e sobre o tempo de resposta do chute de atletas de taekwondo. Finalmente, é importante enfatizar os aspectos relacionados à natureza do teste incremental (i.e., TET) e protocolos com as características intrínsecas aos esportes de combate. Entre esses aspectos está a incapacidade de manter e reproduzir uma intensidade, velocidade e força semelhantes dos chutes durante o teste. Portanto, futuros estudos com o uso de coletes eletrônicos pode ser uma alternativa para garantir que intensidade mínima necessária seja atingida durante a execução dos chutes.

## **5 APLICAÇÕES PRÁTICAS**

O treino de *pace*, usando o parâmetro  $FCh_{Lan}$  estimado pelo PDFC, é uma metodologia simples de executar, apresenta baixo custo, e fornece informações relevantes específicas do esporte. Resultados desse tipo de estudo apontam para aplicações práticas da metodologia com uma grande vantagem para treinadores e atletas, não só para avaliar o desempenho e determinar a carga de trabalho ideal, mas também para organizar e monitorar programas de treinamento de taekwondo, especialmente aqueles focados em melhorar o componente aeróbio do esporte. O protocolo proposto no presente estudo, associado ao uso da tecnologia móvel, permite obtenção de informações relevantes e específicas sobre a capacidade e potência aeróbia (ou seja, frequência máxima de chute,  $FCh_{Lan}$  e *pace*) de forma mais simples e mais barata para treinadores e atletas. Finalmente, acreditamos que nossos achados são importantes para encorajar treinadores e técnicos para aumentar o monitoramento das cargas de treinamento e a orientar a prescrição da

sessão de treino com maior controle e precisão em relação à carga interna que se pretende impor ao atleta.

## **6 CONCLUSÕES**

A carga interna (FC) durante os *rounds* de treino de *pace* realizado na intensidade correspondente a  $FCh_{Lan}$  é equivalente ao limiar anaeróbio (PDFC) e pode ser considerada na prescrição do treinamento quando o objetivo é controlar as respostas de carga interna sem induzir fadiga, uma vez que nenhum prejuízo no desempenho neuromuscular foi observado na performance do CMJ e na técnica de chute semicircular.

## CAPÍTULO III – CONFIABILIDADE DOS PARÂMETROS DO TREINAMENTO AERÓBIO MENSURADOS COM APLICATIVO MÓVEL DURANTE O TESTE INCREMENTAL MÁXIMO EM ESTEIRA

### Resumo

Os aplicativos móveis (App) têm reformulado as abordagens de intervenção e monitoramento do treinamento físico. O aplicativo *Safe Runner* é um exemplo. No entanto, evidências da confiabilidade do App *Safe Runner* para obtenção de parâmetros aeróbios ainda precisam ser investigadas. O presente estudo teve como objetivo avaliar a acurácia e reprodutibilidade dos parâmetros de capacidade e potência aeróbios durante teste incremental em esteira usando um aplicativo mobile. Vinte sujeitos foram submetidos a teste e reteste incremental máximo em uma esteira ergométrica. Consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2MAX}$ ), frequência cardíaca máxima ( $FC_{MAX}$ ), velocidade máxima ( $V_{MAX}$ ), frequência cardíaca de limiar anaeróbico ( $FC_{Lan}$ ) e velocidade de limiar anaeróbico ( $V_{Lan}$ ) foram estimados com auxílio do App. ANOVA *Two Way* foi utilizada para dados paramétricos ou o teste de Friedman para dados não paramétricos, tamanho do efeito (Cohens-d), coeficiente de correlação intraclasse (ICC) e *Bland-Altman* foram utilizados para verificar a confiabilidade. Não foram observadas diferenças significantes ( $p > 0,05$ ) entre as variáveis identificadas no teste e reteste. A magnitude das diferenças do  $VO_{2MAX}$  ( $d = 0,05$ ),  $FC_{MAX}$  ( $d = 0,01$ ) e  $V_{MAX}$  ( $d = 0,05$ ) foram triviais e da  $FC_{Lan}$  ( $d = 0,11$ ) e  $V_{Lan}$  ( $d = 0,16$ ) foram triviais/baixos. Os valores de ICC para  $VO_{2MAX}$  (0,996),  $FC_{MAX}$  (0,955),  $FC_{Lan}$  (0,939),  $V_{MAX}$  (0,996) e  $V_{Lan}$  (0,913) demonstraram confiabilidade. Os gráficos de *Bland-Altman* demonstraram a concordância das variáveis. As variáveis  $VO_{2MAX}$ ,  $FC_{Lan}$  e  $V_{Lan}$  foram idênticas ao comparar o aplicativo *Safe Runner* e o software Excel. O aplicativo *Safe Runner* é confiável para identificar parâmetros de treinamento aeróbio.

**Palavras-chave:** Indicadores aeróbios; Avaliação física; Teste Aeróbio; Solução Tecnológica.

### 1 INTRODUÇÃO

A aptidão aeróbia é um dos indicadores de saúde e um dos principais objetos de intervenções conduzidas em academias, assim como, em diferentes programas de exercícios físicos (HASKELL et al., 2007; SANT' ANA et al., 2012). Dentre as variáveis de desempenho aeróbio, as mais importantes são frequentemente organizadas em um modelo que integra fatores como consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2MAX}$ ), limiares metabólicos e eficiência muscular (CAPUTO et al., 2009). No entanto, o método “padrão ouro” para identificar esses parâmetros, a ergoespirometria e as medições das concentrações de lactato (BILLAT et al., 2003; SANTOS; VIANA; SÁ FILHO, 2012), requer equipamentos com pouca portabilidade,

alto custo, métodos invasivos e mão de obra especializada para sua operação, o que dificulta o acesso a esses métodos na maioria das rotinas de avaliação física.

Nesse contexto, protocolos de natureza indireta, que integram estimativas de parâmetros aeróbios de forma mais acessível a técnicos e treinadores, têm sido propostos para auxiliar no diagnóstico, prescrição, controle de cargas e adaptações de treinamento (LÉGER; LAMBERT, 1982; CAZORLA, 1990; BANGSBO, 1996; DITTRICH et al., 2011). Além disso, o cenário mundial atual tem reformulado as abordagens de intervenções e monitoramento da atividade física, com destaque para modelos de treinamento remoto e uso de aplicativos e tecnologias vestíveis, que estão entre as últimas tendências do mercado *fitness* (THOMPSON, 2021). Essas tendências de mercado, somadas à ampliação das possibilidades advindas da Indústria 4.0, oferecem oportunidades para a integração de tecnologias móveis com tecnologias vestíveis, permitindo maior acesso à aquisição de métricas e dados biológicos, mecânicos e de rastreamento em tempo real (OLIVEIRA et al., 2022).

Do ponto de vista fisiológico, a aquisição das variáveis de potência e capacidade aeróbias são de suma importância, estando relacionada à individualização das cargas de treinamento e a consequente previsibilidade das adaptações decorrentes do treinamento. Para isso, sugere-se que prescrições baseadas em porcentagens, marcadores de intensidades submáximas, como a frequência cardíaca de limiar anaeróbio ( $FC_{Lan}$ ) e velocidade de limiar anaeróbio ( $V_{Lan}$ ), sejam preferidas àquelas baseadas em parâmetros máximos, como  $VO2_{MAX}$ , frequência cardíaca máxima ( $FC_{MAX}$ ) e velocidade máxima ( $V_{MAX}$ ), pois parecem ser mais sensíveis a perturbações homeostáticas específicas de diferentes domínios de intensidade de esforço, como cinética de consumo de oxigênio e as respostas de lactato (JAMNICK et al., 2020). Por outro lado, a aquisição desses marcadores de intensidades submáximas requer pessoal especializado com aumento de custo da avaliação o que pode reduzir a viabilidade de aplicação na prática clínica. Portanto, ferramentas móveis que apresentam acurácia científica e reprodutibilidade para aquisição de parâmetros de carga externa e interna associados à capacidade ( $V_{Lan}$  e  $FC_{Lan}$ ) aeróbia e potência ( $V_{MAX}$ ,  $VO2_{MAX}$  e  $FC_{MAX}$ ) aeróbias são importantes, tanto do ponto de vista fisiológico, quanto tecnológico.

O aplicativo *Safe Runner* foi desenvolvido para identificar parâmetros de carga interna e externa durante testes incrementais de corrida, e assim auxiliar na avaliação da capacidade e potência aeróbia durante testes incrementais máximos

para controle das adaptações aeróbias (OLIVEIRA et al., 2022). O App é um exemplo de proposta inovadora, que aliado a um monitor cardíaco com cinta peitoral *Bluetooth*, gera dados instantâneos referentes aos parâmetros da aptidão aeróbia, obtidos ao realizar o teste incremental máximo em esteira. O App é uma alternativa recente no mercado de esportes, saúde e *fitness* e os principais parâmetros obtidos com ele são  $VO_{2MAX}$ ,  $V_{MAX}$ ,  $FC_{MAX}$ ,  $FC_{Lan}$  e  $V_{Lan}$  (SANT' ANA; DIEFENTHAELER, 2019). No entanto, a precisão e reprodutibilidade do App ainda precisam ser investigadas.

Portanto, é de fundamental importância verificar se o App *Safe Runner* apresenta acurácia científica e reprodutibilidade para os parâmetros de carga externa e interna associados à capacidade e potência aeróbios, sendo que a validade de um protocolo que visa à obtenção de parâmetros específicos como estes voltados à prescrição e controle de treinamento é um dos critérios necessários para sua aplicabilidade prática (DITTRICH et al., 2011). A reprodutibilidade da medida, que expressa à confiabilidade de um instrumento, por meio de correlações altas, entre medidas repetidas, demonstra que o instrumento utilizado é sensível e adequado para avaliar e monitorar os efeitos de uma determinada intervenção e/ou período de treinamento (SCHABORT; HOPKINS; HAWLEY, 1998).

Assim, considerando os avanços tecnológicos e tendências aplicadas às ciências do exercício, a importância de aumentar a viabilidade e acessibilidade a métodos de avaliações confiáveis, bem como, a importância de adquirir medidas objetivas para determinar a intensidade do treinamento aeróbio, o objetivo do presente estudo foi analisar a acurácia e a reprodutibilidade dos parâmetros de potência e capacidade aeróbios derivados de testes incrementais em esteira utilizando um aplicativo para dispositivos móveis (*Safe Runner App*). A hipótese apresentada é que o App *Safe Runner* é uma ferramenta acurada e reprodutível para aquisição de parâmetros aeróbios.

## 2 MÉTODOS

### 2.1 DESIGN EXPERIMENTAL

O presente estudo foi inicialmente aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Estadual de Santa Catarina

(UDESC) sob o parecer número 4.974.957. Antes de iniciar os procedimentos de coleta de dados, os participantes foram informados sobre os objetivos e métodos da pesquisa, além das estratégias para mitigar os riscos associados ao protocolo do teste, e em seguida assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

Para participar do estudo, os sujeitos deveriam ter no mínimo 18 anos, ser saudáveis e concordar em participar voluntariamente, assinando o termo de consentimento livre e esclarecido, além de terem respondido ao questionário de prontidão para atividade física (PAR-Q). Sujeitos com qualquer problema de saúde ou que tivessem alguma lesão muscular ou articular que pudesse comprometer a realização dos testes físicos não poderiam participar do estudo.

Ao longo de três visitas, os participantes realizaram familiarização, teste e reteste. As medidas antropométricas (massa corporal, estatura e dobras cutâneas) foram realizadas sempre na primeira visita de cada sujeito. Os testes ocorreram com intervalo mínimo de 48 horas e não superiores há 96 horas e os sujeitos foram orientados a não realizar nenhum outro tipo de esforço físico nas 24 horas anteriores aos testes.

## 2.2 SUJEITOS DO ESTUDO

A amostra foi do tipo intencional e não probabilística, composta por 20 sujeitos, 10 do sexo masculino e 10 do sexo feminino, com idade entre 18 e 50 anos, com experiência mínima de 6 meses com a prática de exercícios físicos em academia. Os participantes do estudo estavam envolvidos em pelo menos 45 min de treinamento três vezes por semana. As sessões de treinos eram do tipo combinado com treinamento aeróbio e resistido.

A Tabela 10 apresenta os valores de média e desvio padrão referente à caracterização dos sujeitos: massa corporal, estatura, percentual de gordura corporal e idade. Além disso, a  $FC_{MAX}$  medida e a frequência cardíaca máxima estimada ( $FC_{MAXEST}$ ) são exibidas. A  $FC_{MAX}$  foi identificada durante o teste incremental máximo realizado em esteira com auxílio do App *Safe Runner* e atingiu média de 99% da  $FC_{MAXEST}$  (TANAKA; MONAHAN; SEALS, 2001).

Tabela 10 – Média e desvio padrão das variáveis de caracterização dos sujeitos que realizaram os testes (n = 20)

		<b>Média</b>	<b>DP</b>
Massa Corporal (kg)	Total	74,5	16,1
	F	62,1	6,6
	M	86,9	12,0
Estatura (cm)	Total	170,0	12,0
	F	161,0	5,0
	M	179,0	8,0
Massa Gorda (%)	Total	21,6	8,0
	F	26,2	6,0
	M	17,0	6,6
Idade (anos)	Total	33,0	11,0
	F	33,4	9,6
	M	31,9	11,3
FC <sub>MAX</sub> (bpm)	Total	184	8
	F	183	5
	M	185	10
FC <sub>MAXESTIMADA</sub> (bpm)	Total	185	7
	F	185	7
	M	185	8

FC<sub>MAX</sub>= frequência cardíaca máxima; FC<sub>MAXESTIMADA</sub>= frequência cardíaca máxima estimada; F= feminino; M= masculino.

## 2.3 COLETA DE DADOS

Os instrumentos de medida utilizados para a realização das avaliações foram uma ficha de avaliação física acompanhada de um questionário de anamnese e prontidão para a atividade física (PAR-Q); uma balança (marca Micheletti®) com sensibilidade de 100 g para medir a massa corporal; um estadiômetro (Micheletti®) com resolução de 0,1 cm para medida da estatura; e adipômetro científico (CESCORF®), com resolução de 0,1 mm para mensuração de dobras cutâneas. Para a realização do teste incremental máximo (TI), foi utilizada esteira (Progress 3.4, Blumenau, Brasil), aplicativo *Safe Runner* Indoor (ETS4ME, São José, SC, Brasil), que inclui um teste incremental máximo, e cinta cardíaca *Bluetooth* (Polar H7® Kempele, Finlândia).

### 2.3.1 Avaliação antropométrica

Para caracterizar o grupo de sujeitos, foram medidas as seguintes variáveis antropométricas: estatura, massa corporal e dobras cutâneas. O percentual de gordura foi calculado a partir das equações para homens e mulheres (JACKSON; POLLOCK, 1978; JACKSON; POLLOCK; WARD, 1980) para determinação da densidade corporal (DC) por meio da obtenção das seguintes dobras cutâneas: subescapular, tríceps, peitoral, axilar média, suprailíaca, abdominal e coxa. A partir da DC, o percentual de gordura (%G) foi obtido por meio da equação de Siri (1961). Os dados de composição corporal foram analisados por meio de um modelo de dois componentes: massa gorda (MG) e massa magra (MM), e a MM foi obtida subtraindo a MG da massa corporal total. Todas as medidas foram realizadas por um único avaliador.

### **2.3.2 Teste incremental máximo em esteira**

Os sujeitos foram submetidos a um teste incremental máximo em esteira. O teste foi realizado com o auxílio e modelagem do App *Safe Runner* utilizando a opção de protocolo para praticantes intermediários. O teste iniciou com velocidade de  $5,0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  e 1% de inclinação, com incrementos de velocidade de  $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  a cada estágio. Cada estágio teve duração de 1 min e os sujeitos continuaram até a exaustão para obter as variáveis  $\text{VO}_{2\text{MAX}}$ ,  $\text{FC}_{\text{MAX}}$ ,  $V_{\text{MAX}}$ ,  $\text{FC}_{\text{Lan}}$  e  $V_{\text{Lan}}$  determinadas automaticamente pelo App ao final do teste. A  $\text{FC}_{\text{MAX}}$  foi determinada pela FC pico registrada ao final do teste e comparada com a  $\text{FC}_{\text{MAXESTIM}}$ .

### **2.3.3 Identificação do $\text{VO}_{2\text{MAX}}$ por meio da Equação de Estimativa Proposta pelo ACSM**

A equação de estimativa proposta pelo Colégio Americano de Medicina do Esporte (FERGUSON, 2014) foi utilizada para identificar o  $\text{VO}_{2\text{MAX}}$  e o método matemático  $D_{\text{MAX}}$  (KARA et al., 1996) para identificar o ponto de deflexão da frequência cardíaca (PDFC). A  $\text{FC}_{\text{Lan}}$  e a velocidade correspondente em que foi identificado o PDFC (utilizado como  $V_{\text{Lan}}$ ) foram utilizadas para verificar a acurácia do estudo por meio do uso do software Microsoft Excel 2007. A seguinte equação foi usada no Excel para determinar o  $\text{VO}_{2\text{MAX}}$  (FERGUSON, 2014):

$$VO2MAX = 3,5 + (vel \times 0,2) + \left\{ \left( \frac{incl}{100} \right) \times vel \times 0,9 \right\} \#1$$

Onde,

vel = velocidade em metros por minuto

incl = grau de inclinação da esteira

### 2.3.4 Ponto de deflexão da frequência cardíaca (PDFC) usando o software Excel

Para identificar o PDFC no Excel, foi utilizado o método matemático  $D_{MAX}$  (KARA et al., 1996), no qual os pontos da curva da frequência cardíaca são ajustados em uma função polinomial de terceira ordem em função da velocidade do teste. As duas extremidades da curva são então conectadas com uma linha reta e o ponto mais distante entre as duas linhas é considerado como  $D_{MAX}$ . Valores acima de 120 bpm foram utilizados para indivíduos acima de 35 anos e valores iguais ou acima de 140 bpm para indivíduos abaixo de 35 anos. Por fim, a velocidade referente ao estágio onde foi identificado o PDFC foi definida como  $V_{D_{MAX}}$ , sendo apresentada neste estudo como  $V_{Lan}$ .

## 2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foram usadas estatísticas descritivas (média e desvio padrão) para apresentar os dados. A normalidade foi verificada por meio do teste de *Shapiro-Wilk*. Variáveis que não apresentaram normalidade foram apresentadas pela mediana (intervalo interquartil [IQR]). Para comparar os valores médios dos parâmetros de teste e reteste do TI usando o aplicativo *Safe Runner*, foi usado o ANOVA *Two Way* para dados paramétricos ou o teste de Friedman para dados não paramétricos. Para analisar a magnitude das diferenças, calculou-se o tamanho do efeito (d), conforme fórmula apresentada por Cohen (1988). Para classificar a magnitude dos coeficientes, foram adotados os critérios estabelecidos, como: <0,1 = trivial; 0,1-0,3 = trivial/baixo; 0,3-0,5 = baixo; 0,5-0,7 = baixo/moderado; 0,7-1,1 = moderado; 1,1-1,3 = moderado/alto; 1,3-1,9 = alto; 1,9-2,1 = alto/muito alto; > 2,1 = muito alto (BATTERHAM; HOPKINS, 2006). O coeficiente de correlação intraclassa (ICC) foi

estabelecido para verificar a confiabilidade entre o teste e o reteste. A análise de *Bland-Altman* foi utilizada para testar a concordância das variáveis com a heterocedasticidade dos dados, verificada pela média das diferenças entre T1 e T2 a zero e aplicação do método de regressão linear adotando um valor de  $R^2 > 0,10$  (ATKINSON; NEVILL, 1998). O erro padrão de medida (SEM) foi estabelecido para determinar a variação nos parâmetros obtidos e foi estabelecida a mínima mudança detectável (MMD). Para análise e processamento dos dados foram utilizados os softwares Microsoft Office Excel 2007, SPSS 20.0 e GraphPad Prism 5.01. Adotou-se nível de significância de  $p < 0,05$ .

### 3 RESULTADOS

A Tabela 11 mostra os valores de média e desvio padrão, nível de significância, magnitude do coeficiente de diferenças (tamanho do efeito), coeficiente de correlação intraclasse, erro típico de medição e mínima mudança detectável dos parâmetros  $VO_{2MAX}$ ,  $FC_{MAX}$ ,  $V_{MAX}$ ,  $FC_{Lan}$  e  $V_{Lan}$  durante os testes incrementais na esteira determinados pelo aplicativo *Safe Runner* em uma situação de teste e reteste.

Tabela 11 – Média e desvio padrão ou mediana e intervalo interquartil do consumo máximo de oxigênio estimado ( $VO_{2MAX}$ ), frequência cardíaca máxima ( $FC_{MAX}$ ), velocidade máxima ( $V_{MAX}$ ), frequência cardíaca no limiar anaeróbio ( $FC_{Lan}$ ) e velocidade do limiar anaeróbio ( $V_{Lan}$ ) em teste incremental máximo com aplicativo *Safe Runner* durante o teste e reteste (n = 20)

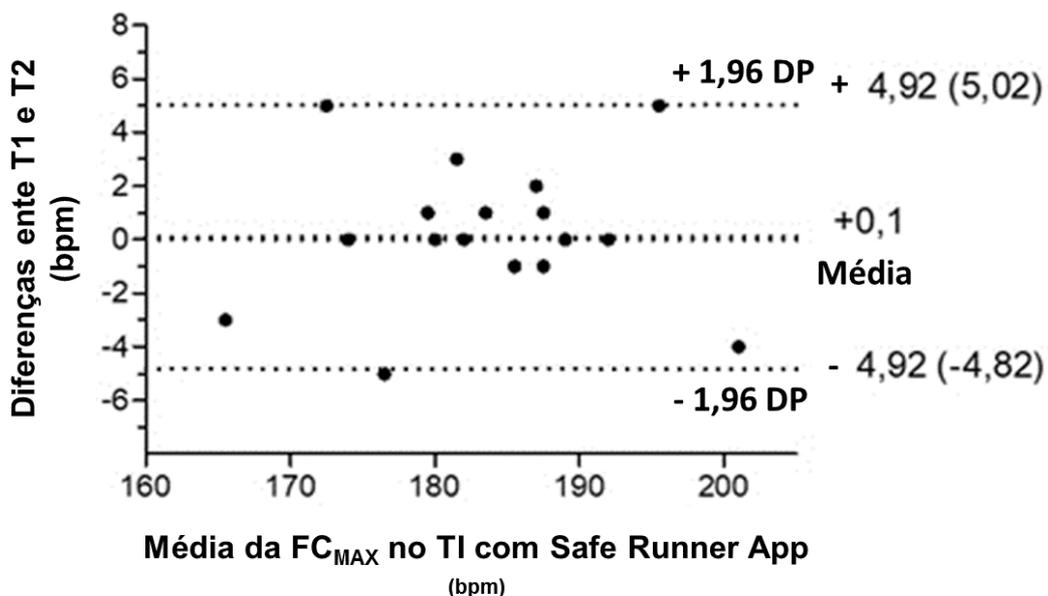
	T1	T2	F	p	d	ICC	SEM (%)	MMD
<b><math>VO_{2MAX}</math> (<math>ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}</math>)</b>	40,08 (34,85-44,85)	41,82 (34,85-44,85)	-	0,83	0,05	0,991	0,05 (0.12%)	0,13
<b><math>FC_{MAX}</math> (bpm)</b>	184 ± 8	184 ± 8	0,032	0,861	0,01	0,955	0,38 (0.21%)	-
<b><math>FC_{Lan}</math> (bpm)</b>	168 ± 11	166 ± 11	2,234	0,151	0,11	0,939	0,69 (0.41%)	-
<b><math>FC_{Lan}</math> (%)</b>	90,0 (80,0-90,0)	90,0 (80,0-90,0)	-	0,317	0,19	0,578	0,02 (2.32%)	-
<b><math>V_{MAX}</math> (<math>km \cdot h^{-1}</math>)</b>	10,5 (9,0-12,0)	11,0 (9,0-12,0)	-	0,83	0,05	0,991	0,05 (0.45%)	0,13
<b><math>V_{Lan}</math> (<math>km \cdot h^{-1}</math>)</b>	8,1 ± 1,0	8,3 ± 1,3	3,199	0,09	0,16	0,913	0,10 (1.21%)	0,27
<b><math>V_{Lan}</math> (%)</b>	70,0 (70,0-80,0)	75,0 (70,0-80,0)	-	0,157	0,17	0,840	0,01 (1.15%)	-

T1= média e desvio padrão ou mediana e intervalo interquartil dos parâmetros do teste 1; T2= média e desvio padrão ou mediana e intervalo interquartil dos parâmetros do teste 2; p= nível de significância; d= tamanho do efeito; ICC = coeficiente de correlação intraclasse; SEM = erro padrão de medida; MMD= Mudança mínima detectável.

As médias das variáveis não apresentaram diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) na comparação do teste e reteste. Ao verificar a magnitude das diferenças obtidas entre o teste e o reteste, as variáveis foram classificadas da seguinte forma:  $VO_{2MAX}$ ,  $FC_{MAX}$  e  $V_{MAX}$  como triviais ( $d < 0,1$ ) e  $FC_{Lan}$  e  $V_{Lan}$  como triviais/baixos ( $d$  entre 0,1 e 0,3). O coeficiente de correlação intraclassa demonstra que o teste e o reteste apresentam consistência absoluta, com alta confiabilidade para todas as variáveis identificadas no teste incremental máximo com o aplicativo *Safe Runner*. Finalmente, a Tabela 11 mostra os limites de variação relativa esperados com base no erro padrão de medida (SEM) em cada parâmetro.

A Figura 12 exibe o gráfico de *Bland-Altman* representando a concordância das medidas de  $FC_{MAX}$  obtidas durante o teste incremental de esteira e reteste usando o aplicativo *Safe Runner*. A concordância foi estabelecida pelo método, sendo a heterocedasticidade dos dados previamente verificada comparando a média das diferenças entre T1 e T2 a zero ( $p = 0,861$ ) e com o método de regressão linear ( $R^2 = 0,001$ ;  $p = 0,873$ ). A  $FC_{MAX}$  apresentou um viés de  $+0,1$  bpm. Os limites de concordância de 95% para as diferenças entre teste e reteste para  $FC_{MAX}$  devem ser expressos em  $+0,1 \pm 4,92$  encontrados entre  $-4,82$  e  $5,02$ .

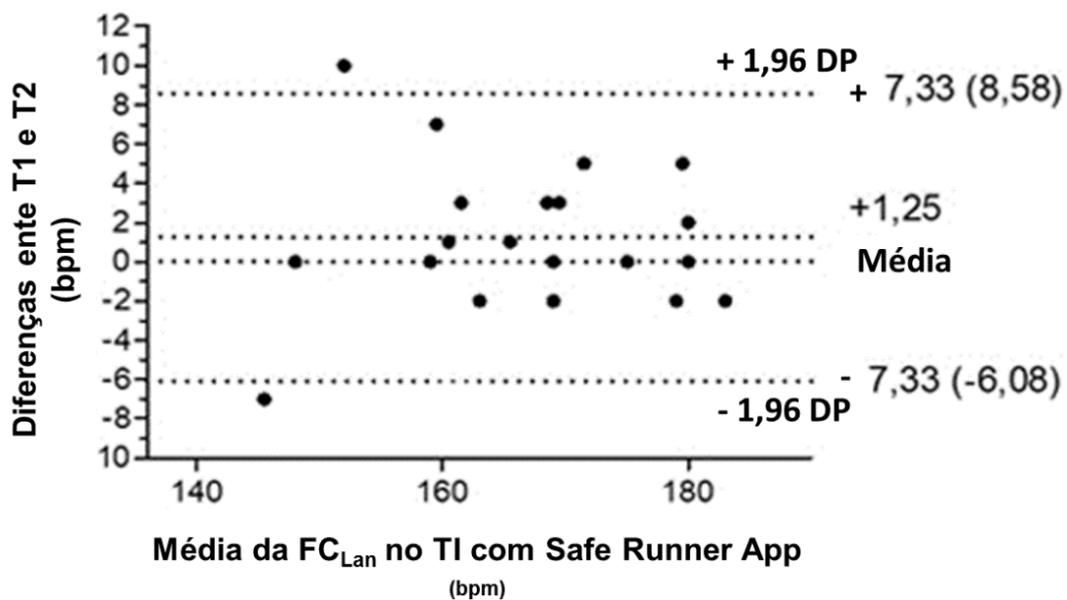
Figura 12 – Gráfico de *Bland-Altman* da concordância da  $FC_{MAX}$  durante o teste incremental máximo em esteira e o reteste usando o aplicativo *Safe Runner*



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A Figura 13 mostra o gráfico de *Bland-Altman* representando a concordância das medidas de  $FC_{Lan}$  obtidas durante o teste e reteste incremental máximo em esteira usando o aplicativo *Safe Runner*. A concordância foi estabelecida pelo método, sendo a heterocedasticidade dos dados previamente verificada, comparando a média das diferenças de T1 e T2 a zero ( $p = 0,151$ ) e com o método de regressão linear ( $R^2 = 0,000$ ;  $p = 0,984$ ). A  $FC_{Lan}$  apresentou um bias de +1,25 bpm. Os limites de 95% de concordância para as diferenças entre teste e reteste para a  $FC_{Lan}$  devem ser expressos em  $+ 1,25 \pm 7,33$  encontrado entre -6,08 e 8,58.

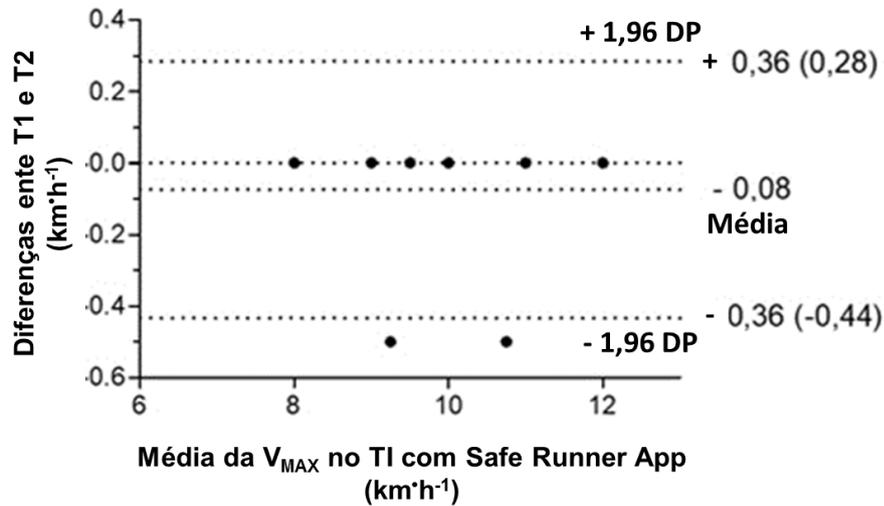
Figura 13 – Gráfico de *Bland-Altman* da concordância da  $FC_{Lan}$  durante o teste incremental máximo em esteira e o reteste usando o aplicativo *Safe Runner*



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A Figura 14 exibe o gráfico de *Bland-Altman* representando a concordância das medições de  $V_{MAX}$  obtidas durante o teste incremental máximo em esteira e o reteste usando o aplicativo *Safe Runner*. A concordância foi estabelecida pelo método, sendo a heterocedasticidade dos dados previamente verificada pela comparação da média das diferenças entre T1 e T2 a zero ( $p = 0,083$ ) e pelo método de regressão linear ( $R^2 = 0,000$ ;  $p = 0,940$ ). O  $V_{MAX}$  mostrou um viés de -0,08 km/h. Os limites de concordância de 95% para as diferenças entre teste e reteste para  $V_{MAX}$  devem ser expressos em  $-0,08 \pm 0,36$  encontrados entre -0,44 e 0,28.

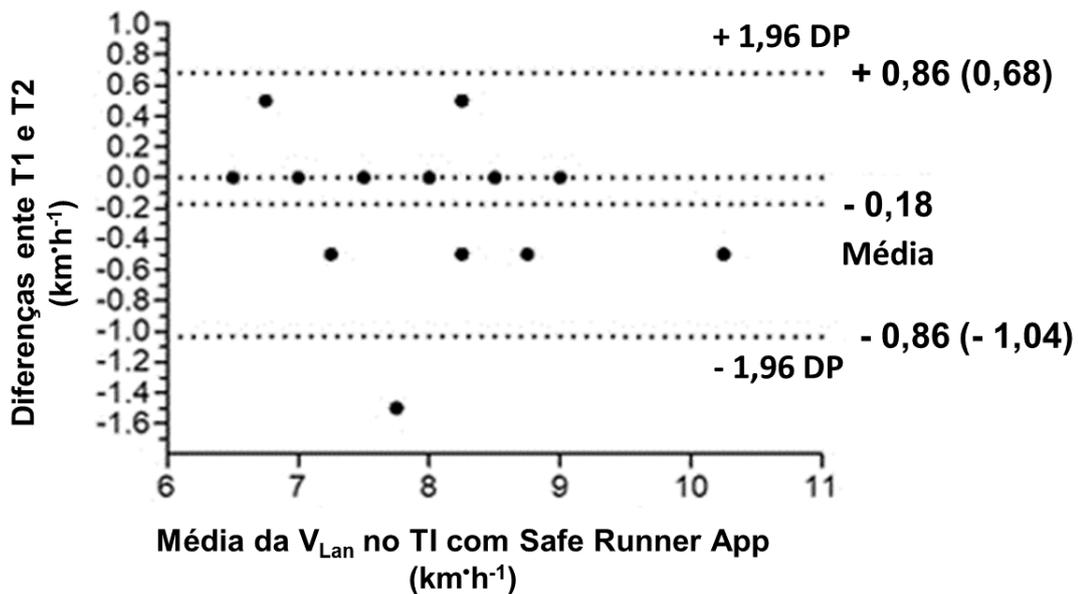
Figura 14 – Gráfico de *Bland-Altman* da concordância da  $V_{MAX}$  durante o teste incremental máximo em esteira e o reteste usando o aplicativo *Safe Runner*



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A Figura 15 exibe o gráfico de *Bland-Altman* representando a concordância das medições da  $V_{Lan}$  obtidas durante o teste incremental máximo em esteira e o reteste usando o aplicativo *Safe Runner*. A concordância foi estabelecida pelo método, sendo a heterocedasticidade dos dados previamente verificada comparando a média das diferenças entre T1 e T2 a zero ( $p = 0,09$ ) e utilizando o método de regressão linear ( $R^2 = 0,066$ ;  $p = 0,273$ ). A  $V_{Lan}$  apresentou um viés de  $-0,18$  km/h. Os limites de 95% de concordância para as diferenças entre teste e reteste para  $V_{Lan}$  devem ser expressos em  $-0,18 \pm 0,86$  encontrado entre  $-1,04$  e  $0,68$ .

Figura 15 – Gráfico de *Bland-Altman* da concordância da  $V_{Lan}$  durante o teste incremental máximo em esteira e o reteste usando o aplicativo *Safe Runner*



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A Tabela 12 apresenta os valores de média e desvio padrão das variáveis  $VO_{2MAX}$ ,  $FC_{Lan}$  e  $V_{Lan}$  identificadas pelo aplicativo *Safe Runner* em comparação com esses valores determinados pelo software Excel.

Tabela 12 – Média e desvio padrão do consumo máximo estimado de oxigênio ( $VO_{2MAX}$ ), frequência cardíaca no limiar anaeróbico ( $FC_{Lan}$ ) e velocidade no limiar anaeróbico ( $V_{Lan}$ ) determinado em teste incremental máximo com aplicativo *Safe Runner* e comparado com o determinado no software Excel (n = 20)

	<b>Safe Runner APP</b>	<b>Excel Software</b>
$VO_{2MAX}$ (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	39,5 ± 5,2	39,5 ± 5,2
$FC_{Lan}$ (bpm)	168 ± 11	168 ± 11
$V_{Lan}$ (km·h <sup>-1</sup> )	8,2 ± 1,2	8,2 ± 1,2

As médias das variáveis identificadas para determinação dos parâmetros não apresentaram diferenças quando comparada a utilização do aplicativo *Safe Runner* e do Excel para determinação dos indicadores.

## 4 DISCUSSÃO

A principal hipótese apresentada no presente estudo, que os parâmetros de capacidade e potência aeróbios identificados durante um teste incremental máximo em esteira com o App *Safe Runner* apresentariam acurácia e reprodutibilidade, foi confirmada.

A  $FC_{MAX}$  durante o teste incremental máximo, realizado em esteira, atingiu 99% da  $FC_{MAXEST}$ , conforme equação de predição (TANAKA; MONAHAN; SEALS, 2001) apresentada na Tabela 10. Os valores de  $FC_{MAX}$ , baseados em cálculos de predição, são frequentemente usados como um dos critérios adotados para garantir que o esforço máximo foi alcançado (LAURSEN et al., 2002). Os dados obtidos diretamente, isto é:  $FC_{MAX}$  ( $p= 0,861$ ) e  $V_{MAX}$  ( $p= 0,83$ ), não apresentaram diferenças significativas ao comparar T1 versus T2, conforme demonstrado na Tabela 11. Esses resultados corroboram com os achados de reprodutibilidade dos indicadores de potência aeróbia ( $V_{MAX}$ ) em estudo anterior realizado com 38 sujeitos durante teste incremental máximo em esteira, que observou erro típico de medida de  $0,4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  e ICC de  $r =0,972$  (SÁ FILHO et al., 2018). No presente estudo, ambos os parâmetros associados à potência aeróbia ( $FC_{MAX}$  e  $V_{MAX}$ ) também apresentaram alto ICC (0,955 e 0,991, respectivamente), e valores de SEM (0,21%) para  $FC_{MAX}$  e (0,45%) para  $V_{MAX}$  foram menores que os observados por Sá Filho et al. (2018), demonstrando assim a consistência na determinação desses parâmetros. Além disso, o tamanho de efeito de magnitude das diferenças da  $FC_{MAX}$  e  $V_{MAX}$  foram triviais ( $d=0,01$  e  $d=0,05$ , respectivamente).

Vale ressaltar a importância da realização de um teste máximo para identificar a carga interna (máxima  $FC_{MAX}$  individual) atingida pelos sujeitos e a carga externa máxima atingida ( $V_{MAX}$ ), que representa um indicador da potência aeróbia individual. Além disso, quando os parâmetros citados neste estudo são identificados individualmente em testes específicos, aumenta-se a acurácia para caracterização da capacidade de esforço e, conseqüentemente, para orientação, prescrição e distribuição das cargas de treinamento de forma mais específica (CAMARDA et al., 2008). Por outro lado, a utilização de equações de predição, como a proposta por Tanaka, pode superestimar ou subestimar a frequência cardíaca e, conseqüentemente, a distribuição das cargas de treinamento dos sujeitos devido a

aspectos associados à individualidade biológica e adaptações específicas decorrentes do treinamento de cada sujeito (LAMBERTS; LAMBERT, 2009).

No presente estudo, os resultados do  $VO_{2MAX}$  foram obtidos indiretamente pelo App *Safe Runner* por meio da equação proposta pelo ACSM (FERGUSON, 2014). Os valores de média e desvio padrão do  $VO_{2MAX}$  para T1 e T2 não apresentaram diferenças significativas ( $p = 0,83$ ), entre os valores do teste e reteste. O tamanho de efeito obtido por meio dos valores de  $VO_{2MAX}$  foram triviais ( $d = 0,05$ ), demonstrando assim uma baixa magnitude das diferenças entre os resultados de T1 e T2. Os valores de  $VO_{2MAX}$  também apresentaram alto ICC (0,991) e consistência das medidas SEM (0,12%), outro forte indício de que o aplicativo se apresenta como uma ferramenta alternativa para verificação dos efeitos das intervenções de treinamento.

Além disso, de acordo com os resultados obtidos a partir da inferência com o gráfico de *Bland-Altman* (Figuras 12 e 13), foi observada uma concordância intraindividual ao comparar os valores de  $FC_{MAX}$  e  $V_{MAX}$  obtidos no teste e reteste, com uma variabilidade relativa observada pelos limites de concordância de 2,7% para  $FC_{MAX}$  e 3,5% para  $V_{MAX}$ . Esses resultados estão de acordo com os observados em um estudo de medidas repetidas para determinar indicadores de potência aeróbia ( $V_{MAX}$ ) com CV de (2,3%) (SÁ FILHO et al., 2018) e para medidas intraindividuais da FC em dias e modos de exercício diferentes com CV de (3,0 %) (LAMBERTS; LAMBERT, 2009). Isso destaca a importância do uso de ferramentas com recursos móveis para determinar individualmente e com precisão esses indicadores, sempre considerando o percentual da variância observada, principalmente quando o objetivo é verificar os efeitos de um treinamento ou intervenção clínica.

Os indicadores de capacidade aeróbia, que são descritos como medidas teoricamente relacionadas à quantidade total de energia que pode ser fornecida pelo metabolismo aeróbio (CAPUTO et al., 2009), foram representados neste estudo com o App pela  $FC_{Lan}$  e  $V_{Lan}$ . Portanto, vale ressaltar que além do  $VO_{2MAX}$ , os valores de  $FC_{Lan}$  e  $V_{Lan}$ , também foram obtidos indiretamente pelo aplicativo móvel utilizado neste estudo, por meio do método matemático  $D_{MAX}$  (KARA et al., 1996). Embora o  $D_{MAX}$  não seja o método padrão ouro para determinar o limiar anaeróbio e para caracterizar um indicador de capacidade aeróbia em um sujeito, vários estudos apontam para sua validade na determinação do Lan (BODNER; RHODES, 2000;

PEREIRA et al., 2016; PESERICO; SILVA; MACHADO, 2016; SANT' ANA et al., 2019) com a velocidade de corrida associada ao método  $D_{MAX}$ , não apresentando diferenças significativas para o máximo estado estável de lactato e com os métodos sendo altamente concordantes na determinação da intensidade do limiar anaeróbio (PEREIRA et al., 2016). Em nosso estudo, os valores médios das medidas da  $FC_{Lan}$  e  $V_{Lan}$  não apresentaram diferenças significativas ( $p = 0,151$  e  $p = 0,09$ , respectivamente) entre os valores de T1 e T2. Esses resultados estão de acordo com estudos de reprodutibilidade para os indicadores de capacidade aeróbia realizados em 28 sujeitos durante o teste incremental máximo em esteira (PESERICO; SILVA; MACHADO, 2016), em que os autores não encontraram diferenças significativas e relataram alta reprodutibilidade (ICC de 0,83; TEM de 0,37  $km \cdot h^{-1}$ ). No presente estudo, ambos os parâmetros  $FC_{Lan}$  e  $V_{Lan}$  também mostraram fortes valores de ICC (0,939 e 0,913, respectivamente) e SEM para  $FC_{Lan}$  (0,41%) e  $V_{Lan}$  (0,1  $km \cdot h^{-1}$  – 1,21%). Além disso, os tamanhos de efeito da  $FC_{Lan}$  e  $V_{Lan}$  foram triviais/baixos ( $d = 0,11$  e  $d = 0,16$ , respectivamente). Portanto, essas medidas demonstram uma consistência dos parâmetros e expressam, mais uma vez, a confiabilidade do App *Safe Runner* como ferramenta reprodutível para identificação desses parâmetros.

Adicionalmente, de acordo com os resultados da inferência com o gráfico de *Bland-Altman* (Figuras 14 e 15), observa-se uma concordância intraindividual ao comparar os valores da  $FC_{Lan}$  e  $V_{Lan}$  obtidos no teste e reteste com uma variabilidade relativa observada pelos limites de acordo de até 4,4% para  $FC_{Lan}$  e 10,5% para o  $V_{Lan}$ . Esses resultados são semelhantes aos valores encontrados em um estudo de medidas repetidas para determinação de indicadores de capacidade aeróbios que apresentou uma  $FC_{Lan}$  com CV de 4,64% (3,65-6,37) e  $V_{Lan}$  com CV de 5,77% (4,54 -7,94) (PESERICO; SILVA; MACHADO, 2016) e aos valores de variação da FC em um estudo de medidas repetidas em dias diferentes e com diferentes modos de exercício (LAMBERTS; LAMBERT, 2009).

Finalmente, os resultados do estudo também demonstram fortes indícios da precisão dos parâmetros de treinamento aeróbios derivados do teste incremental máximo em esteira usando o aplicativo móvel, ao comparar duas ferramentas de software diferentes, o *Safe Runner App* e o programa de computador Microsoft Office Excel 2007, os resultados de média e desvio padrão das variáveis ( $VO_{2MAX}$ ,  $FC_{Lan}$  e  $V_{Lan}$ ) obtidos foram os mesmos. Portanto, é possível afirmar que o App *Safe*

*Runner* integra em seu algoritmo equações científicas, confiáveis, reprodutíveis e precisas, para serem utilizadas de forma rápida, prática e segura em rotinas de avaliação em academias.

## 5 CONCLUSÃO

Os parâmetros do treinamento aeróbio derivados do teste incremental máximo em esteira utilizando o App *Safe Runner* apresentam acurácia científica e reprodutibilidade. Além disso, o App se apresenta como uma ferramenta confiável para avaliação da potência e capacidade aeróbias em ambiente *indoor*, sendo uma possibilidade para grupos de corrida que tenham acesso ou sua própria esteira ergométrica, assim como, para praticantes de academia, onde as variáveis,  $VO_{2MAX}$ ,  $FC_{MAX}$ ,  $V_{MAX}$ ,  $FC_{Lan}$  e  $V_{Lan}$ , obtidas em tempo real e imediatamente após o teste podem ser utilizadas para o diagnóstico, prescrição e controle dos efeitos do treinamento aeróbio.

Por fim, o App *Safe Runner* pode ser utilizado para promover uma vantagem competitiva no mercado de saúde e *fitness*, uma vez que os parâmetros obtidos com a tecnologia proposta possuem baixo custo e aplicabilidade prática.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente tese teve como objetivo ampliar a compreensão do processo de desenvolvimento, validação e aplicabilidade de novas soluções, tecnologias móveis voltadas a resolver problemas de diagnóstico e controle de parâmetros, tanto fisiológicos como biomecânicos, que são importantes para caracterização das capacidades físicas individuais, assim como, para auxiliar na determinação das cargas de treinamento específicas a serem impostas nas intervenções de treinamento.

Para tal, primeiramente esta tese delineou o processo de desenvolvimento, validade e aplicabilidade prática de aplicativos móveis desenvolvidos, mais especificamente dos Apps *ITStriker*, *TReaction* e *Safe Runner*. Essa etapa foi realizada por meio da compreensão dos estudos científicos necessários para o desenvolvimento destas ferramentas, os artigos científicos de validade dos APPs ou aqueles que apresentam métodos científicos e que estão integrados ao algoritmo das tecnologias, além dos estudos resultantes do uso dessas novas tecnologias.

Logo, como segundo tópico de resultados, a presente tese foi composta por três artigos científicos produzidos ao longo do doutoramento, e relacionados a presente temática. O primeiro artigo tratou de uma revisão de literatura, a respeito do uso de soluções móveis para avaliação biomecânica nos esportes de combate.

O estudo de revisão identificou que há um número crescente de novas tecnologias disponíveis para avaliação e monitoramento biomecânico em modalidades esportivas de combate, sendo que, a maioria das tecnologias é desenvolvida usando sensores inerciais. A revista com o maior número de publicações sobre a temática foi a 'Sensor', e apesar do aumento no número de estudos a parti de 2018, ainda há poucas pesquisas envolvendo essa temática. Adicionalmente, com a revisão foi possível constatar que a maioria das soluções tecnológicas identificadas permite avaliar a qualidade do golpe com resultados que os classificam automaticamente e fornecem valores de pontuação automática, tempo de reação e valores de impacto e potência da técnica em tempo real, porém, apenas sete propostas tecnológicas apresentaram estudos de confiabilidade científica e, seis delas, estudos de validade para os parâmetros fornecidos.

O estudo destaca a necessidade de cautela no uso dessas ferramentas na prática clínica e voltada ao cenário do esporte de alto rendimento, havendo

necessidade de ampliar as pesquisas, de maneira que tragam mais informações sobre os indicadores de validade e confiabilidade. São necessários estudos mais aprofundados para avaliar a precisão dos parâmetros biomecânicos identificados e obter conhecimento sobre indicadores do erro típico apresentado por cada aplicativo durante os testes de desempenho, bem como, maiores informações sobre o coeficiente de variação da variável identificada e dos valores de mínima mudança detectável com essas ferramentas, quando aplicada em atletas de esportes de combate.

O segundo artigo desta tese versa sobre a temática de aplicabilidade das tecnologias móveis, verificando o uso prático do App *ITStriker*. A tecnologia móvel demonstrou sua aplicabilidade em caracterizar indicadores de capacidade individual dos atletas e para controle da carga de treino imposta em uma sessão de treino, por meio da determinação individual da  $FCh_{Lan}$  ou *pace* relativo dos atletas. A partir dos resultados foi observado que a carga interna (FC) da sessão de treinamento de *pace* é semelhante à intensidade identificada durante o teste específico de taekwondo e que esta pode ser considerada na prescrição do treinamento quando o objetivo é controlar as respostas de carga interna sem induzir fadiga.

Então, o segundo artigo da tese, utilizou como ferramenta o App *ITStriker* para determinar a  $FCh_{Lan}$ , além das importantes informações relacionadas com carga de treino e fadiga; o qual demonstrou a aplicabilidade prática do uso das tecnologias móveis que agregam soluções voltadas a treinadores e atletas. O App, além de avaliar o desempenho aeróbio, também permite determinar a carga de trabalho, organizar e monitorar uma sessão de treino de taekwondo. O uso da tecnologia móvel permite obtenção de informações relevantes e específicas sobre a capacidade e potência aeróbias (ou seja,  $FC_{MAX}$ , frequência máxima de chute,  $FCh_{Lan}$ ,  $FC_{Lan}$  e *pace*) de forma mais simples para treinadores e atletas.

O terceiro artigo desta tese está relacionado com o processo de validade do App *Safe Runner*, por meio de estudo de reprodutibilidade dos parâmetros e confiabilidade da tecnologia. Os resultados demonstram que a ferramenta é confiável e segura para avaliação da potência e capacidade aeróbia de praticantes de academia, pois foi constatada a reprodutibilidade das variáveis,  $VO2_{MAX}$ ,  $FC_{MAX}$ ,  $V_{MAX}$ ,  $FC_{Lan}$  e  $V_{Lan}$ , obtidas em tempo real e imediatamente após o teste. Sendo assim, o App pode ser um recurso para facilitar a rotina de profissionais, estudantes e atletas que desejam obter parâmetros de diagnóstico, prescrição e controle dos

efeitos do treinamento aeróbio, mais especificamente em ambiente indoor, tendo como foco principal as academias.

Diante disto, a presente tese ressalta a grande demanda para novas tecnologias que facilitem a comunicação, o acesso à informação, o processamento e a incorporação de dados e métodos científicos em algoritmos por meio da integração do uso de tecnologia móvel, de maneira a oportunizar aquisição de dados métricos, biológicos, mecânicos e de rastreamento em tempo real. Para tal, ressalta-se a necessidade de ampliar as abordagens voltadas ao modelo interativo de inovação, assim, promovendo uma maior integração entre as necessidades do mercado, o conhecimento científico já existente, e o desenvolvimento de novos métodos e soluções tecnológicas cientificamente válidas para aumentar as oportunidades voltadas ao controle de parâmetros do treinamento e de indicadores de desempenho.

Por fim, como perspectivas para estudos futuros, sugerem-se, por meio do fluxograma (Figura 9) apresentado no Capítulo 1 desta tese como um modelo de recomendações que podem ajudar pesquisadores que pretendem conduzir estudos que integram o uso de tecnologias *mobile* ou pesquisas interessadas em desenvolver novas metodologias de avaliação focadas em problemas e soluções com aplicabilidade prática aos exercícios e para o contexto desportivo.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. et al. Effect of acute exposure to moderate altitude on kinematic variables of the ippon-seoi-nage and its relationship with the countermovement jump in elite judokas. **PloS One**, v. 13, n. 10, p.1-13, 2018.
- AMARO, B. et al. Monitoring of bioelectrical and biomechanical signals in taekwondo training: First insights. In: **VipIMAGE 2017**. Cham: Springer International Publishing, p. 417-426, 2018.
- AMERINENI, R. et al. Fusion models for generalized classification of multi-axial human movement: validation in sport performance. **Sensors**, v. 21, n. 24, p. 1-26, 2021.
- ANDERSEN, L. L.; AAGAARD, P. Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development. **European Journal of Applied Physiology**, v. 96, n. 1, p. 46-52, 2006.
- ARAÚJO, C. G. S. et al. A freqüênciacardíaca máxima em nove diferentes protocolos de teste máximo. **Revista Brasileira de Ciências do Esporte**, v.2, p. 20-31, 1980.
- ATKINSON, G.; NEVILL, A. M. Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. **Sports Medicine**, v. 26, n. 4, p. 217–238, 1998.
- BAKER, D. Acute effect of alternating heavy and light resistances on power output during upper-body complex power training. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 17, n. 3, p. 493-497, 2003.
- BANGSBO, J. **Fitness training in football: a scientific approach**. Copenhagen: August Krogh Institute, University of Copenhagen, Denmark, 1996.
- BARBIERI, J.C.; ÁLVARES, A.C.T. **Modelo de inovação contínua**: exemplo de um caso de sucesso. Anais do Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais, São Paulo, 2014. Disponível em: [http://www.simpoi.fgvsp.br/arquivo/2014/artigos/E2014\\_T00362\\_PCN47275.pdf](http://www.simpoi.fgvsp.br/arquivo/2014/artigos/E2014_T00362_PCN47275.pdf). Acesso em: 29 nov. 2021.
- BATTERHAM, A.; HOPKINS, W. G. Making meaningful inferences about magnitudes. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 1, p. 50-57, 2006.
- BERTHOIN, S. et al. Comparison of maximal aerobic speed as assessed with laboratory and field measurements in moderately trained subjects. **International Journal of Sports Medicine**, v.17, n.7, p. 525-529, 1996.
- KRUSTRUP, P. et al. (2003) The Yo-Yointermittent recovery test: Physiological response, reliability and validity. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 35, p. 697-705, 2003.

BILLAT, V. L. et al. The concept of maximal lactate steady state: A bridge between biochemistry, physiology and sport science. **Sports Medicine**, v. 33, n. 6, p. 407-426, 2003.

BODNER, M. E.; RHODES, E. C. A review of the concept of the heart rate deflection point. **Sports Medicine**, v. 30, n. 1, p. 31-46, 2000.

BOTWINICK, J.; THOMPSON, L. W. Premotor and motor components of reaction time. **Journal of Experimental Psychology**, v. 71, n. 1, p. 9-15, 1966.

BOUHLEL, E. et al. Heart rate and blood lactate responses during Taekwondo training and competition. **Science & Sports**, v. 21, n. 5, p. 285-290, 2006.

BRIDGE, C. A.; JONES, M. A.; DRUST, B. Physiological responses and perceived exertion during international Taekwondo competition. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 4, n. 4, p. 485-493, 2009.

BUTIOS, S.; TASIKA, N. Changes in heart rate and blood lactate concentration as intensity parameters during simulated Taekwondo competition. **The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 47, p. 179-185, 2007.

CAMARDA, S. R. A. et al. Comparação da frequência cardíaca máxima medida com as fórmulas de predição propostas por Karvonen e Tanaka. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 91, n. 5, p. 311-314, 2008.

CAMPOS, F. A. D. et al. Energy demands in taekwondo athletes during combat simulation. **European Journal of Applied Physiology**, v. 112, n. 4, p. 1221-1228, 2012.

CAPUTO, F. et al. Aerobic exercise: bioenergetics, physiological adjustments, fatigue and performance indices. **Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**, v. 11, n. 1, p. 94-102, 2009.

CAVANAGH, P. R.; KOMI, P. V. Electromechanical delay in human skeletal muscle under concentric and eccentric contractions. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 42, n. 3, p. 159-163, 1979.

CAZORLA, G. **Tests de terrain pour evaluer l'aptitude aerobie et utilisation de leurs resultats dans l'entrainement**. Bourdeaux: Actschng & Areaps, p. 151-173, 1990.

CHAABÈNE, H. et al. Time–motion analysis and physiological responses to karate official combat sessions: Is there a difference between winners and defeated karatekas? **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 9, n. 2, p. 302-308, 2014.

CHADLI, S. et al. Quantification of boxing gloves damping: Method and apparatus. **Measurement: Journal of The International Measurement Confederation**, v. 129, p. 504-517, 2018.

COHEN J. **Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences**. New York, NY: Academic Press, 1969.

COHEN, J. **Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences**. 2. ed. Abingdon: Routledge, 1988.

CONCONI, F. et al. The Conconi Test: Methodology after 12 years of application. **International Journal of Sports Medicine**. v.17, p.509-19,1996

CORBI, A.; SANTOS, O. C.; BURGOS, D. Intelligent framework for learning physics with aikido (martial art) and registered sensors. **Sensors**, v. 19, n. 17, p. 3681, 2019.

COSWIG, V. et al. Development of a *mobile* phone app for measuring striking response time in combat sports: Cross-sectional validation study. **JMIR mHealth and uHealth**, v. 7, n. 11, p. 1-9, 2019.

CULOT, G. et al. Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions. **International Journal of Production Economics**, v. 226, n. 107617, p. 1-15, 2020.

CURRELL, K.; JEUKENDRUP, A. E. Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance. **Sports Medicine**, v. 38, n. 4, p. 297-316, 2008.

DARBY, D. et al. Prediction of winning amateur boxers using pretournament reaction times. **The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 54, n. 3, p. 340-346, 2014.

DEL VECCHIO, F. B. et al. Energy absorbed by electronic body protectors from kicks in a taekwondo competition. **Biology of Sport**, v. 28, n. 1, p. 75–78, 2011.

DEL VECCHIO, F. B.; ANTUNEZ, B.; BARTEL, C. Time-motion analysis and effort-pause relationship in taekwondo combats: a comparison of competitive levels. **Brazilian Journal of Kinanthropometry and Human Performance**, v. 18, n. 6, p. 648-657, 2016.

DITTRICH, N. et al. Validity of carminatti's test to determine physiological indices of aerobic power and capacity in soccer and futsal players. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 25, n. 11, p. 3099-3106, 2011.

FALCO, C. et al. Effects of target distance on select biomechanical parameters in taekwondo roundhouse kick. **Sports Biomechanics**, v. 12, n. 4, p. 381-388, 2013.

FALCO, C.; ESTEVAN, I.; VIETEN, M. Kinematical Analysis of Five Kicks in Taekwondo. **Biomechanics in Sports**, v. 11, n. 2, p. 219-222, 2011.

FERGUSON, B. **ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription**. 9. ed. Pennsylvania: Lippincott Williams and Wilkins, 2014.

FERREIRA, J. J. et al. **Sports Innovation: A Bibliometric Study**. In: Sport Entrepreneurship and Public Policy. Ed. Springer, 2020.

- FRASSINELLI, S. et al. Quantification of motor abilities during the execution of judo techniques. **Acta of Bioengineering and Biomechanics**, v. 21, n. 3, p. 3-12, 2019.
- FUENTES, G. F. Intersession and intrasession reliability and validity of the My Jump app for measuring different jump actions in trained male and female athletes. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 30, n. 7, p. 2049-2056, 2016.
- GABBETT, T. J. et al. The athlete monitoring cycle: a practical guide to interpreting and applying training monitoring data. **British Journal of Sports Medicine**, v. 51, n. 20, p. 1451-1452, 2017.
- GAMBASSI, B. B. et al. A validation study of a smartphone application for heart rate variability assessment in asymptomatic adults. **American Journal of Cardiovascular Disease**, v. 10, n.3, p. 219-229, 2020.
- GATT, I. T.; ALLEN, T.; WHEAT, J. Accuracy and repeatability of wrist joint angles in boxing using an electromagnetic tracking system. **Sports Engineering**, v. 23, n. 1, p. 1-10, 2020.
- GENTLES, J. et al. The demands of a women's college soccer season. **Sports**, v. 6, n. 1, p. 1-11, 2018.
- GREEN, B. N.; JOHNSON, C. D.; ADAMS, A. Writing narrative literature reviews for peer-reviewed journals: secrets of the trade. **Journal of Chiropractic Medicine**, v. 5, n. 3, p. 101-117, 2006.
- GRIZENDI, E. **Manual of general guidelines on innovation**. Ministry of Foreign Affairs. Trade and Investment Promotion Department. Trade Promotion Programs Division, Brazilia, Federal District, 2011. Disponível em: <http://www.investexportbrasil.gov.br/sites/default/files/publicacoes/estudos/PUBEstudosManualDaInovacao.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2020.
- GUERRERO-BOTE, V. P.; MOYA-ANEGÓN, F. A further step forward in measuring journals' scientific prestige: The SJR2 indicator. **Journal of Informetrics**, v. 6, n. 4, p. 674-688, 2012.
- GW. Global Wellness Institute. **The Global Wellness Economy Monitor**. GWI, 2018. Disponível em: <https://globalwellnessinstitute.org/industry-research/2018-global-wellness-economy-monitor/>. Acesso em: 8 nov. 2020.
- HACHAJ, T.; KOPTYRA, K.; OGIELA, M. R. Averaging of motion capture recordings for movements' templates generation. **Multimedia Tools and Applications**, v. 77, n. 23, p. 30353-30380, 2018.
- HACHAJ, T.; PIEKARCZYK, M.; OGIELA, M. Human actions analysis: Templates generation, matching and visualization applied to motion capture of highly-skilled karate athletes. **Sensors**, v. 17, n. 11, p. 1-24, 2017.

HARALABIDIS, N. et al. Fusing accelerometry with videography to monitor the effect of fatigue on punching performance in elite boxers. **Sensors**, v. 20, n. 20, p. 1-15, 2020.

HARRIS, D. M. et al. The reliability of a linear position transducer and commercially available accelerometer to measure punching velocity in junior boxing athletes. **International Journal of Sports Science & Coaching**, v. 16, n. 1, p. 200-209, 2021.

HASKELL, W. L. et al. Physical activity and public health: Updated recommendation for adults from the American college of sports medicine and the American heart association. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 39, n. 8, p. 1423-1434, 2007.

HAYNES, T. et al. The validity and reliability of the My Jump 2 app for measuring the reactive strength index and drop jump performance. **The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 59, n. 2, p. 253-258, 2019.

HECK, H. et al. Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. **International Journal of Sports Medicine**, v. 06, n. 03, p. 117-130, 1985.

HERMANN, G. et al. Reaction and performance time of taekwondo top athletes demonstrating the baldung chagi. *In: Proceedings of the 26th International Conference on Biomechanics in Sports*. Seoul, Korea, 2008.

HOPPER, D. et al. Reliability of the peroneal latency in normal ankles. **Clinical Orthopaedics and Related Research**, v. 350, p. 159-165, 1998.

ISHAC, K.; EAGER, D. Evaluating martial arts punching kinematics using a vision and inertial sensing system. **Sensors**, v. 21, n. 6, p. 1-25, 2021.

JACKSON, A. S.; POLLOCK, M. L. Generalized equations for predicting body density of men. **The British Journal of Nutrition**, v. 40, n. 3, p. 497-504, 1978.

JACKSON, A. S.; POLLOCK, M. L.; WARD, A. Generalized equations for prediction body density of women. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 12, n. 3, p. 175-182, 1980.

JAMNICK, N. A. et al. An examination and critique of current methods to determine exercise intensity. **Sports Medicine**, v. 50, n. 10, p. 1729-1756, 2020.

JANSEN, A. E. et al. Characterizing head impact exposure in men and women during boxing and mixed martial arts. **Orthopaedic Journal of Sports Medicine**, v. 9, n. 12, p.1-9, 2021.

KARA, M. et al. Determination of the heart rate deflection point by the  $D_{MAX}$  method. **The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 36, n. 1, p. 31-34, 1996.

KATO, S.; YAMAGIWA, S. Predicting successful throwing technique in judo from factors of Kumite posture based on a machine-learning approach. **Computation**, v. 10, n. 10, p. 1-17, 2022.

KHANNA, G. L.; MANNA, I. Study of physiological profile of Indian boxers. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 5, p. 90-98, 2006.

KHASANSHIN, I. Application of an artificial neural network to automate the measurement of kinematic characteristics of punches in boxing. **Applied Sciences**, v. 11, n. 3, p. 1-14, 2021.

KHASANSHIN, I.; OSIPOV, A. Using an artificial neural network to develop an optimal model of straight punch in boxing and training in punch techniques based on this model and real-time feedback. **PloS One**, v. 16, n. 11, p. 1-17, 2021.

KIM, J.-W. et al. The effects of target distance on pivot hip, trunk, pelvis, and kicking leg kinematics in Taekwondo roundhouse kicks. **Sports Biomechanics**, v. 9, n. 2, p. 98-114, 2010.

KIRK, C.; HURST, H.; ATKINS, S. Comparison of the training loads of mixed martial arts techniques in isolated training and open sparring. **Journal of Combat Sports and Martial Arts**, v. 6, n. 1, p. 15-20, 2015.

KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S. **Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering**. Technical Report EBSE 2007-001, Keele University and Durham University Joint Report, 2007.

LABINTSEV, A. et al. Recognition punches in karate using acceleration sensors and convolution neural networks. **IEEE access: Practical Innovations, Open Solutions**, v. 9, p. 138106-138119, 2021.

LAMBERTS, R. P.; LAMBERT, M. I. Day-to-day variation in heart rate at different levels of submaximal exertion: Implications for monitoring training. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 23, n. 3, p. 1005-1010, 2009.

LAURSEN, P. B. et al. Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 34, n. 11, p. 1801-1807, 2002.

LÉGER, L. A.; LAMBERT, J. A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict  $VO_{2MAX}$ . **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 49, n. 1, p. 1-12, 1982.

LI, H.; KHOO, S.; YAP, H. J. Differences in motion accuracy of Baduanjin between novice and senior students on inertial sensor measurement systems. **Sensors**, v. 20, n. 21, p. 1-23, 2020.

LI, H.; YAP, H. J.; KHOO, S. Motion classification and features recognition of a traditional Chinese sport (Baduanjin) using sampled-based methods. **Applied Sciences**, v. 11, n. 16, p. 1-25, 2021.

LIU, Y. et al. Performance alteration induced by weight cutting in mixed martial arts—A biomechanical pilot investigation. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 4, p. 1-13, 2022.

LOTURCO, I. comparative study of specific reaction time in elite boxers: differences between jabs and crosses. **Journal of Athletic Enhancement**, v. 4, n. 3, p. 307-310, 2015.

LOTURCO, I. et al. Physical and physiological traits of a double world karate champion and responses to a simulated kumite bout: A case study. **International Journal of Sports Science & Coaching**, v. 12, n. 1, p. 138-147, 2017.

MACOVEI, S.; LAMBU, E. A.; LAMBU, I. S. Study about the reaction time relation to sports performance in Karate Do. **Science, Movement and Health**, v. 8, p. 228-233, 2013.

MAFFIULETTI, N. A. et al. Rate of force development: physiological and methodological considerations. **European Journal of Applied Physiology**, v. 116, n. 6, p. 1091-1116, 2016.

MAGILL, R. A. **Motor Learning: Concepts and Applications**. 8. ed. Boston, USA: Mcgraw-Hill, 2007.

MALAWSKI, F. Depth versus inertial sensors in real-time sports analysis: A case study on fencing. **IEEE Sensors Journal**, v. 21, n. 4, p. 5133-5142, 2021.

MALAWSKI, F.; KWOLEK, B. Recognition of action dynamics in fencing using multimodal cues. **Image and Vision Computing**, v. 75, p. 1-10, 2018.

MARKOVIĆ, S. et al. Use of IMU in differential analysis of the reverse punch temporal structure in relation to the achieved maximal hand velocity. **Sensors**, v. 21, n. 12, p. 1-13, 2021.

MATSUSHIGUE, K. A.; HARTMANN, K.; FRANCHINI, E. Taekwondo: Physiological responses and match analysis. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 23, n. 4, p. 1112-1117, 2009.

MENZEL, T.; POTTHAST, W. Application of a validated innovative smart wearable for performance analysis by experienced and non-experienced athletes in boxing. **Sensors**, v. 21, n. 23, p. 1-22, 2021c.

MENZEL, T.; POTTHAST, W. Validation of a novel boxing monitoring system to detect and Analyse the centre of pressure movement on the boxer's fist. **Sensors**, v. 21, n. 24, p. 1-14, 2021b.

MENZEL, T.; POTTHAST, W. Validation of a unique boxing monitoring system. **Sensors**, v. 21, n. 21, p. 1-12, 2021a.

MIRANDA, A. L. P. **Efeito de oito semanas de treinamento combinado personalizado com tecnologia mobile no desempenho aeróbio e composição**

**corporal de praticantes de academia**. 2022. 55 f. TCC (Graduação) - Curso de Educação Física, Centro de Desportos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

MOHER, D. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. **PLoS Medicine**, v. 6, n. 7, p. 1-8, 2009.

MOLINARO, L. et al. Assessing the effects of Kata and kumite techniques on physical performance in elite karatekas. **Sensors**, v. 20, n. 11, p. 1-18, 2020.

MORI, S.; OHTANI, Y.; IMANAKA, K. Reaction times and anticipatory skills of karate athletes. **Human Movement Science**, v. 21, n. 2, p. 213-230, 2002.

MORIN, J. B. et al. When jump height is not a good indicator of lower limb maximal power output: theoretical demonstration, experimental evidence and practical solutions. **Sports Medicine**, v.49, p. 999–1006, 2019.

MÜLLER, A. M. et al. Physical activity, sedentary behavior, and diet-related eHealth and mHealth research: Bibliometric analysis. **Journal of Medical Internet Research**, v. 20, n. 4, p. 1-18, 2018.

MYERS, L. R.; TOONSTRA, J. L.; CRIPPS, A. E. The test–retest reliability and minimal detectable change of the FitLight Trainer™. **International Journal of Athletic Therapy & Training**, v. 28, n. 2, p. 84-88, 2023.

MUNTANER-MAS, A. et al. A systematic review of fitness apps and their potential clinical and sports utility for objective and remote assessment of cardiorespiratory fitness. **Sports Medicine**, V.49, 4, p. 587-600, 2019.

NADZALAN, A. M. et al. The effects of wearable resistance loading on kinematic of front kick among elite taekwondo athletes. **Human Sport Medicine**, v. 22, n. 2, p. 92-99, 2022.

NADZALAN, A. M. et al. The influence of wearable resistance loading on taekwondo axe kick kinematics among elite taekwondo athletes. **International Journal of Human Movement and Sports Sciences**, v. 9, n. 5, p. 893-898, 2021.

NIWIADOMSKI, R. et al. Analysis of movement quality in full-body physical activities. **ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems**, v. 9, n. 1, p. 1-20, 2019.

O'SULLIVAN, D. M.; FIFE, G. P. Biomechanical head impact characteristics during sparring practice sessions in high school taekwondo athletes. **Journal of Neurosurgery**, v. 19, n. 6, p. 662-667, 2017.

O'SULLIVAN, D. M.; JEONG, H. S.; WON, H. J. Functional reaction times of a simulated blocking test among Para taekwondo athletes. **Healthcare**, v. 10, n. 7, p. 1-8, 2022.

OBMIŃSKI, Z. et al. Blood lactate level and perceptual responses (rpe) to an official fight and to a sparring in male taekwondo contestants. **Polish Journal of Sports Medicine**, v. 27, n. 4, p. 283-287, 2011.

OLIVEIRA, L. B. et al. Validity of a *mobile*-based specific test to estimate metabolic thresholds in boxers. **Journal of Sports Engineering and Technology**, p. 1-7, 2022.

OMCIRK, D. et al. Punch trackers: Correct recognition depends on punch type and training experience. **Sensors**, v. 21, n. 9, p. 1-10, 2021.

ORTIZ, A. et al. Reliability and concurrent validity between two-dimensional and three-dimensional evaluations of knee valgus during drop jumps. **Open Access Journal of Sports Medicine**, v. 7, p. 65-73, 2016.

OUERGUI, I. et al. Effects of adding small combat games to regular taekwondo training on physiological and performance outcomes in male young athletes. **Frontiers in Physiology**, v. 12, p. 1-8, 2021b.

OUERGUI, I. et al. Psycho-physiological aspects of small combats in taekwondo: impact of area size and within-round sparring partners. **Biology of Sport**, v. 38, n. 2, p. 157-164, 2021a.

ÖZDEMİR, R. A.; KIRAZCI, S.; UGRAS, A. Simple reaction time and decision making performance after different physical workloads: an examination with elite athletes. **International Journal of Human Sciences**, v. 7, n. 2, p. 655-670, 2010.

PALLANT, J. **SPSS Survival Manual: A Step by Step Guide to Data Analysis Using SPSS for Windows**. 3. Ed. Maidenhead: Open University Press, 2007.

PEREIRA, P. A. et al. The relationship between the heart rate deflection point test and maximal lactate steady state. **The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 56, n. 5, p. 497-502, 2016.

PESERICO, C. S.; SILVA, D. F.; MACHADO, F. A. Heart rate deflection point determined by  $D_{MAX}$  method is reliable in recreationally trained runners. **Archivos de Medicina del Deporte**, v. 33, n. 3, p. 168-174, 2016.

POITRAS, I. et al. Validity and reliability of wearable sensors for joint angle estimation: A systematic review. **Sensors**, v. 19, n. 7, p. 1-17, 2019.

POLECHOŃSKI, J.; LANGER, A. Assessment of the relevance and reliability of reaction time tests performed in immersive virtual reality by mixed martial arts fighters. **Sensors**, v. 22, n. 13, p. 1-13, 2022.

PUEO, B.; PENICHET-TOMAS, A.; JIMENEZ-OLMEDO, J. M. Validity, reliability and usefulness of smartphone and kinovea motion analysis software for direct measurement of vertical jump height. **Physiology & Behavior**, v. 227, n. 113144, p. 1-7, 2020.

PUIG-DIVÍ, A. et al. Validity and reliability of the Kinovea program in obtaining angles and distances using coordinates in 4 perspectives. **PloS One**, v. 14, n. 6, p. 1-14, 2019.

QUEL, O. M. et al. Choice reaction time is not related to competition success in karate combat. **European Journal of Human Movement**, v. 35, p. 41-50, 2015.

RAVIE, G. F.; GRAPPE J.; ROULLON, D. Application of force-velocity cycle ergometer test and vertical jump tests in the functional assessment of karate competitor. The **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 44, p. 349-355, 2004.

RHEA, M. R. Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 18, n. 4, p. 918-920, 2004.

RODRIGUES, J. C. C. et al. Effects of lower and upper body fatigue in striking response time of amateur karate athletes. **PeerJ**, v. 11, n. e14764, p.1-14, 2023.

RODRIGUES, J. et al. Ido Movement for Culture. **Journal of Martial Arts Anthropology**, v. 22, n. 1, p. 27-35, 2022.

SÁ FILHO, A. S. DE et al. Analysis of reliability of peak treadmill running in maximum progressive effort test: Influence of training level. **Medical Express**, v. 5, p. 1-6, 2018.

SABINA, M.; ELENA-ANDREEA, L.; IOANA-SORINA, L. Profile of some psychomotor capacities in top performance karate do athletes. **Procedia, Social and Behavioral Sciences**, v. 117, p. 262-268, 2014.

SANT' ANA, J. et al. Anaerobic evaluation of taekwondo athletes. **International SportMed Journal**, v. 15, n. 4, p. 492-499, 2014.

SANT' ANA, J. et al. Effect of fatigue on reaction time, response time, performance time, and kick impact in taekwondo roundhouse kick. **Sports Biomechanics**, v.16, n. 2, p. 201-209, 2017.

SANT' ANA, J.; DIEFENTHAELER, F. Ecological validity of the *Safe Runner* Indoor App. *In: II Symposium on Physiomechanics of Terrestrial Locomotion*. Florianópolis, SC, Brazil, 2019.

SANT' ANA, J. et al. Estimation equation of maximum oxygen uptake in taekwondo specific test. **Sport Sciences for Health**, v.14, p. 699 - 703, 2018.

SANT' ANA, J. et al. Effect of a combined training in aerobic *fitness* and body composition in adults. **Brazilian Institute for Research and Teaching in Exercise Physiology**, v. 6, n. 35, p. 433-440, 2012.

- SANT' ANA, J. et al. Validity of a taekwondo-specific test to measure VO<sub>2</sub>peak and the heart rate deflection point. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 33, n. 9, p. 2523-2529, 2019.
- SANT' ANA J.; SAKUGAWA RL.; DIEFENTHAELER F. The effect of a pace training session on internal load and neuromuscular parameters in taekwondo athletes. **Frontiers in Physiology**, v.12: 710627, 2021.
- SANT' ANA, J.; SILVA, J. F.; GUGLIELMO, L. G. A. Physiological variables identified in progressive specific test for taekwondo. **Motriz**, v. 15, p. 611-620, 2009.
- SANTOS, T. M.; VIANA, B. F.; SÁ FILHO, A. S. Reprodutibilidade do VO<sub>2</sub>MAX estimado na corrida pela frequência cardíaca e consumo de oxigênio de reserva. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, v. 26, n. 1, p. 29-36, 2012.
- SANTOS, V. G. F.; FRANCHINI, E.; LIMA-SILVA, A. E. Relationship between attack and skipping in taekwondo contests. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 25, n. 6, p. 1743-1751, 2011.
- SAPONARA, S. Wearable biometric performance measurement system for combat sports. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v. 66, n. 10, p. 2545-2555, 2017.
- SCHABORT, E.-J.; HOPKINS, W.; HAWLEY, J. Reproducibility of self-paced treadmill performance of trained endurance runners. **International Journal of Sports Medicine**, v. 19, n. 01, p. 48-51, 1998.
- SEO, Y. et al. Comparison of estimated core body temperature measured with the BioHarness and rectal temperature under several heat stress conditions. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 13, n. 8, p. 612-620, 2016.
- SESHADRI, D. R. et al. Wearable sensors for monitoring the physiological and biochemical profile of the athlete. **NPJ Digital Medicine**, v. 2, n. 1, p. 1-16, 2019.
- SILVA, T. M. R. et al. Eficácia de processos sensório-motores e parâmetros morfofuncionais em jovens adultos – sedentários e atletas de taekwondo: um estudo transversal. **Revista de Educação Física**, v. 91, n. 1, p. 47-55, 2022.
- SCHMIDT, R. A.; WRISBERG, C. A. **Motor learning and performance: A problem – based learning approach** (p. 31). Champaign, IL: Human Kinetics, 2000.
- SIRI, W. E. Body composition from fluid spaces and density. In: BROZEK, J.; HENSCHER, A. (Eds.). **Techniques for measuring body composition**. Washington DC: National Academy of Science, 1961.
- SLIMANI, M. et al. Performance aspects and physiological responses in male amateur boxing competitions: A brief review. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 31, n. 4, p. 1132-1141, 2017.

SOARES, P. B. et al. Análise bibliométrica da produção científica brasileira sobre Tecnologia de Construção e Edificações na base de dados Web of Science. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 1, p. 175-185, 2016.

SOCCI, M. et al. Definition of physical-dynamic parameters in circular kick in Muay Thai through latest generation inertial sensors with a critical review of the literature. **Journal of Human Sport and Exercise**, v. 16, n. 2, p. 319-334, 2021.

TANAKA, H.; MONAHAN, K. D.; SEALS, D. R. Age-predicted maximal heart rate revisited. **Journal of the American College of Cardiology**, v. 37, n. 1, p. 153-156, 2001.

TASIKA, N. Reliability & linearity of an electronic body protector employed in taekwondo games: a preliminary study. **Journal of Human Sport and Exercise**, v. 8, p. 622-632, 2013.

THOMPSON, W. R. Worldwide survey of *fitness* trends for 2021. **ACSM's Health & Fitness Journal**, v. 25, n. 1, p. 10-19, 2021.

TIERNAN, S. et al. Concussion and the severity of head impacts in mixed martial arts. **Journal of Engineering in Medicine**, v. 234, n. 12, p. 1472-1483, 2020.

TIERNAN, S. et al. Finite element simulation of head impacts in mixed martial arts. **Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering**, v. 24, n. 3, p. 278-288, 2021.

TORIGOE, Y. et al. Strike activity detection and recognition using inertial measurement unit towards kendo skill improvement support system. **Sensors and Materials**, v. 32, n. 2, p. 651-673, 2020.

VIETEN, M. et al. Reaction time in taekwondo. *In: XXV International Symposium on Biomechanics in Sports*. Ouro Preto, 2007.

VUKOVIĆ, V. et al. Metrical characteristics and the reliability of kinematic sensor devices applied in different modalities of reverse punch in karate athletes. **Measurement**, v. 177, n. 109315, p. 1-9, 2021.

VUKOVIĆ, V. et al. Specific test design for the in-depth technique analysis of elite karate competitors with the application of kinematic sensors. **Applied Sciences**, v. 12, n. 16, p. 1-14, 2022.

WANG, Y.; FANG, W. Innovation and development strategy of china's sports industry under the new economic ecology. *In: Anais... Proceedings of the 2nd International Conference on Social Science, Public Health and Education (SSPHE 2018)*. Paris, France: Atlantis Press, 2019.

WAŚIK, J. et al. Kinematic quantification of straight-punch techniques using the preferred and non-preferred fist in taekwon-do. **Biomedical Human Kinetics**, v. 11, n. 1, p. 115-120, 2019.

WOO, J. H. et al. Development and evaluation of a novel taekwondo chest protector to improve mobility when performing axe kicks. **Biology of Sport**, v. 30, n. 1, p. 51-55, 2013.

WORSEY, M. et al. Inertial sensors for performance analysis in combat sports: A systematic review. **Sports**, v. 7, n. 1, p. 1-19, 2019.

# APENDICE A – ARTIGO 1

Review Article

Institution of  
**MECHANICAL  
ENGINEERS**



## The use of mobile solutions for biomechanical assessment in combat sports: A narrative review

Jader Sant' Ana<sup>1</sup>, Rafael Lima Kons<sup>2</sup> , Daniele Detanico<sup>1</sup>  
and Fernando Diefenthaler<sup>1</sup> 

Proc IMechE Part P:  
*J Sports Engineering and Technology*  
1–17  
© IMechE 2023  
Article reuse guidelines:  
sagepub.com/journals-permissions  
DOI: 10.1177/17543371231199810  
journals.sagepub.com/home/jip  


### Abstract

New technologies have amplified the possibilities for processing and incorporating data and scientific methods in algorithms through the integration of the use of mobile technology and a wide range of wearables that allow acquisition metrics in real-time. These technologies arise as a possible alternative to supply market demand and to present practical solutions to problems that coaches and athletes face in their daily routines. Concerning biomechanical assessment in combat sports (i.e. reaction time, velocity, and force), the literature is scarce regarding studies that carried out surveys of new assessments and monitoring technologies, with solutions for coaches and athletes. Therefore, the current study aimed to investigate, through a literature review, mobile technologies available on the market for biomechanical analyses in combat sports modalities. Significant growth has been observed in the number of studies involving mobile technologies with practical tools for biomechanical assessment in combat sports athletes. However, only seven technological proposals presented scientific reliability studies, and six assessed validity, showing the necessity of more original articles to investigate scientific validation. As a suggestion, a flowchart is presented with operational guidelines for the research and development of new technologies for biomechanical assessment and monitoring in combat sports in real-time.

### Keywords

Martial arts, kinematics, kinetics, mobile APP, wearable, combat sports, biomechanics, mobile application, mobile phone app

Date received: 6 April 2023; accepted: 22 August 2023

### Introduction

Innovation is understood as something new or improved, with applicability to a small or large number of people and to generate an economic, financial, or social return.<sup>1</sup> In sports, innovative proposals are intended to provide greater control of training and performance indicators.<sup>2</sup> Considering combat sports modalities, new technology related to biomechanical assessment has emerged with the purpose to evaluate the gesture motor, count blows, type and differentiation of punch technique, reaction time, power, velocity, force, and effects of fatigue during tests, simulated combat, and competitions.<sup>3–5</sup>

The current Industry 4.0 scenario, which encompasses technological innovations in the field of automation, control, and information technology has been applied to manufacturing processes with cyber-physical systems and the internet of things and services.<sup>6</sup> This new technology makes it possible to connect objects to

the internet, forming a network of physical objects capable of gathering and transmitting data. Additionally, it has amplified the possibilities of new technologies that facilitate communication, access to information, processing and incorporation of data, scientific methods in algorithms through the integration of the use of mobile technology (applications – app), and a wide variety of wearables (inertial sensors) and sensors. In this sense, these tools increasingly facilitate

<sup>1</sup>Laboratório de Biomecânica, Centro de Desportos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brazil

<sup>2</sup>Faculdade de Educação, Departamento de Educação Física, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brazil

#### Corresponding author:

Fernando Diefenthaler, Laboratório de Biomecânica, Centro de Desportos, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Reitor João David Ferreira Lima, Trindade, Florianópolis, Santa Catarina CEP 88040-900, Brazil.  
Email: fernando.diefenthaler@ufsc.br

## APENDICE B – ARTIGO 2



# The Effect of a Pace Training Session on Internal Load and Neuromuscular Parameters in Taekwondo Athletes

Jader Sant' Ana, Raphael Luiz Sakugawa and Fernando Diefenthaler\*

Laboratório de Biomecânica, Departamento de Educação Física, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brazil

This study aimed to verify the effect of a pace training session at an intensity corresponding to the kick frequency at the anaerobic threshold ( $KF_{AT}$ ) on the internal load response and motor response performance of the roundhouse kick. Twelve black belt taekwondo athletes underwent two evaluation sessions: (1) performed the progressive specific test for taekwondo (PSTT) to identify the heart rate deflection point (HRDP) and the  $KF_{AT}$ ; (2) performed three 2-min rounds with a 1-min interval. Heart rate (HR) throughout each round and motor response performance before and after sessions were measured. The Student's *T*-test or Wilcoxon test was used, and  $p < 0.05$  was adopted. During round 1, a lower internal load was observed ( $167 \pm 10$  bpm) compared with HRDP ( $179 \pm 8$  bpm;  $p = 0.035$ ). During rounds 2 ( $178 \pm 10$  bpm;  $p = 0.745$ ) and 3 ( $179 \pm 8$  bpm;  $p = 1$ ), no differences were observed for an internal load and HRDP. Motor response performance showed no differences. However, a potentiation in the post countermovement jump test compared with rounds 1 ( $p = 0.012$ ) and 2 ( $p = 0.028$ ) was observed. The internal load (HR) observed at the intensity corresponding to  $KF_{AT}$  can be considered in the prescription of training when the aim is to control the internal load responses without inducing fatigue.

**Keywords:** martial arts, heart rate deflection point, physical preparation, mobile technology, anaerobic threshold

### OPEN ACCESS

#### Edited by:

Emiliano Celi,  
University of Milan, Italy

#### Reviewed by:

Victor Silveira Cassig,  
Federal University of Pará, Brazil  
Hamdi Chourou,  
University of Sfax, Tunisia

#### \*Correspondence:

Fernando Diefenthaler  
fernando.diefenthaler@ufsc.br

#### Specialty section:

This article was submitted to  
Exercise Physiology,  
a section of the journal  
Frontiers in Physiology

Received: 16 May 2021

Accepted: 29 June 2021

Published: 03 August 2021

#### Citation:

Sant' Ana J, Sakugawa RL and  
Diefenthaler F (2021) The Effect of a  
Pace Training Session on Internal  
Load and Neuromuscular Parameters  
in Taekwondo Athletes.  
Front. Physiol. 12:710627.  
doi: 10.3389/fphys.2021.710627

## INTRODUCTION

Taekwondo is characterized as an intermittent sport, with alternation between attacks involving high-intensity movements and periods of low intensity, or even periods of inactivity (Matsushigue et al., 2009). These characteristics are reflected in an effort: pause ratio (E:P) during combat of from 1:4 to 1:9 (Matsushigue et al., 2009; Santos et al., 2011; Campos et al., 2012; Del Vecchio et al., 2016). During international-level taekwondo competitions, athletes perform  $8 \pm 3$  high-intensity attacks, lasting around  $1.3 \pm 0.4$  s each, combined with  $9.2 \pm 3.9$  s of bouncing movements and  $6. \pm 3.9$  s of referee interruptions, resulting in 1:9 attack to the stepping movement ratio and 1:1 high-intensity actions to the low-intensity and pause ratio (Santos et al., 2011).

Thus, the motor actions in taekwondo that are characteristics of the modality, which imposes the E:P relationship, generate energetic alternations between the moments of aerobic predominance and those determining moments when the anaerobic demand increases (Campos et al., 2012). It is important to note that success in sports such as taekwondo is often associated with rapid motor actions in response to a particular stimulus (Bouhlef et al., 2006; Loturco et al., 2017), such as, for example, the reaction and response times of the kicks (Vieten et al., 2007; Hermann et al., 2008).

## APENDICE C – ARTIGO 3

Sport Sciences for Health  
<https://doi.org/10.1007/s11332-023-01134-z>

RESEARCH



### Reliability of the mobile App to measure aerobic training parameters during maximum incremental treadmill test

Jader Sant' Ana<sup>1</sup> · Yasmim Alves Sant' Ana<sup>2</sup> · Victor Silveira Coswig<sup>3</sup> · Lorival José Carminatti<sup>2</sup> · Fernando Diefenthaler<sup>1</sup>

Received: 12 July 2023 / Accepted: 29 September 2023  
 © The Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag Italia S.r.l., part of Springer Nature 2023

#### Abstract

**Background** Mobile Applications (App) have reshaped approaches to the intervention and monitoring of physical training. The Safe Runner App is an example. However, evidence of the reliability of the Safe Runner App to obtain aerobic parameters still needs to be investigated.

**Aims** The present study aimed to analyze the accuracy and reproducibility of power parameters and aerobic capacity derived from incremental testing on a treadmill using an application for mobile devices.

**Methods** Twenty participants performed a maximum incremental test and retest. Maximum oxygen consumption ( $VO_{2MAX}$ ), maximum heart rate ( $HR_{MAX}$ ), maximum velocity ( $V_{MAX}$ ), anaerobic threshold heart rate ( $HR_{AT}$ ), and anaerobic threshold velocity ( $V_{AT}$ ) were estimated. A two-way ANOVA was used for dependent samples or the Friedman test for non-parametric data, and effect size (Cohens- $d$ ), intraclass correlation coefficient (ICC), and Bland–Altman were used to verify reliability.

**Results** No differences between the test and retest ( $p > 0.05$ ) were observed for all variables assessed. The variables  $VO_{2MAX}$  ( $d = 0.05$ ),  $HR_{MAX}$  ( $d = 0.01$ ), and  $V_{MAX}$  ( $d = 0.05$ ) showed a trivial effect size, while  $HR_{AT}$  ( $d = 0.11$ ) and  $V_{AT}$  ( $d = 0.16$ ) showed to be trivial/low. The ICC values for  $VO_{2MAX}$  (0.996),  $HR_{MAX}$  (0.955),  $HR_{AT}$  (0.939),  $V_{MAX}$  (0.996), and  $V_{AT}$  (0.913) demonstrated reliability. The Bland–Altman plots demonstrated an agreement of the variables. The variables  $VO_{2MAX}$ ,  $HR_{AT}$ , and  $V_{AT}$  were identical when comparing the Safe Runner App and Excel software.

**Conclusion** The Safe Runner App is reliable in identifying aerobic training parameters.

**Keywords** Aerobic indicators · Physical assessment · Aerobic test · Technological solution

#### Abbreviations

ACSM	American College of Sports Medicine
App	Mobile application
Cohens- $d$	Effect size
$HR_{AT}$	Anaerobic threshold heart rate
$HR_{MAX}$	Maximum heart rate
ICC	Intraclass correlation coefficient
MDC	Minimum detectable change

SEM	Standard error measurement
$V_{AT}$	Anaerobic threshold velocity
$V_{MAX}$	Maximum velocity
$VO_{2MAX}$	Maximum oxygen consumption

#### Introduction

Aerobic fitness is an important health indicator and one of the main objectives of interventions carried out in different physical exercise programs and gyms [1, 2]. Among the aerobic performance variables, the most important are often organized in a model that integrates factors, such as maximal oxygen uptake ( $VO_{2MAX}$ ), metabolic thresholds, and muscle efficiency [3]. However, the “gold standard” method for identifying these parameters, ergospirometry with measurements of lactate concentrations [4, 5], requires equipment with little portability, high cost, invasive methods, and the

✉ Fernando Diefenthaler  
[fernando.diefenthaler@ufsc.br](mailto:fernando.diefenthaler@ufsc.br)

<sup>1</sup> Laboratório de Biomecânica, Centro de Desportos, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Reitor João David Ferreira Lima, Trindade, Florianópolis, Santa Catarina CEP: 88040-900, Brazil

<sup>2</sup> Centro de Ciências da Saúde e do Esporte, Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, Brazil

<sup>3</sup> Instituto de Educação Física e Esportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brazil