

CRISTIANO ARRUDA GOMES FLÔR

**VALIDADE, CONFIABILIDADE E ACURÁCIA DO *MICROSOFT KINECT* PARA  
REGISTRO DE SESSÃO DE TREINAMENTO DE *TAEKWONDO***

Belo Horizonte  
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG  
2015

F632v Flôr, Cristiano Arruda Gomes  
2015 Validade, confiabilidade e acurácia do Microsoft Kinect para registro de sessão de treinamento de taekwondo. [manuscrito] / Cristiano Arruda Gomes Flôr – 2015. 53f., enc.:il.

Orientador: André Gustavo Pereira de Andrade

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional.

Bibliografia: F. 44-48

1. Taekwondo - Teses. 2. Artes marciais – Treinamento - Teses. 3. Biomecânica - Teses. I. Andrade, André Gustavo Pereira de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. III. Título.

CDU: 796.015

Ficha catalográfica elaborada pela equipe de bibliotecários da Biblioteca da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais.

CRISTIANO ARRUDA GOMES FLÔR

**VALIDADE, CONFIABILIDADE E ACURÁCIA DO *MICROSOFT KINECT* PARA  
REGISTRO DE SESSÃO DE TREINAMENTO DE *TAEKWONDO***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Ciências do Esporte da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências do Esporte.

Área de concentração: Análise Biomecânica da Técnica Esportiva

Orientador: Prof. Dr. André Gustavo Pereira de Andrade

Belo Horizonte  
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG  
2015

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Cláudio e Mara, que nunca mediram esforços e sempre fizeram o melhor que puderam para me oferecer todas as condições para que eu pudesse chegar onde estou.

À minha linda esposa Isa por sua importante e insubstituível presença em minha vida nos últimos 20 anos, com quem pude aprender que estar com alguém exige um processo de aprendizagem árduo e contínuo, mas que traz consigo uma felicidade incomensurável.

Aos meus filhos, Nina e Ian, que me dão a cada dia a oportunidade de viver e sentir o amor incondicional.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. André Gustavo Pereira de Andrade, que tem a arte de orientar com tranquilidade, respeito e sabedoria, tornando o caminho mais leve, mas não menos produtivo.

Aos meus amigos e professores Bruno Pena Couto e Leonardo Barbosa Oliveira (orgulhosamente, muito antes amigos do que professores) pelo incentivo que me deram para buscar o mestrado e o enorme apoio que me deram desde a preparação para o processo seletivo até a minha defesa. E por último, mas não menos importante, também agradeço pela determinante participação que tiveram na idealização deste trabalho.

Aos meus colegas do BIOLAB que me receberam muito bem, respeitaram e compreenderam minha “distância”, contribuindo, cada um à sua maneira, para este trabalho.

Ao meu colega Claudio Márcio de Souza Vicente e ao Prof. Dr. Erickson Rangel do Nascimento do DCC que tornaram viável a ideia inicial deste trabalho.

Aos meus colegas do LAC, a quem “abandonei”, mas ainda assim tive a oportunidade de conviver e receber ajuda durante meu mestrado.

Aos meus colegas do CTE-UFMG, que sempre me deram todo o suporte que precisei durante este processo, e com quem tenho a oportunidade diária de aprender.

Aos colegas da UFV, principalmente Gustavo Ramos Dalla Bernardina, e à Profa. Dra. Amanda Piaia Silvatti pela enorme contribuição que deram para este trabalho e pela hospitalidade ao nos receber em sua “casa”.

A todos os professores do PPGCE com quem tive oportunidade de conviver e aprender, e que de alguma forma contribuíram para o sucesso desta jornada.

E a todas as pessoas presentes na minha vida que em algum momento eu tive que abrir mão do meu tempo com elas para me dedicar a este trabalho.

## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo verificar a validade e confiabilidade na obtenção do tempo de execução de uma técnica de chute do *Taekwondo*, bem como verificar a acurácia em reconhecer automaticamente movimentos inerentes a uma sessão de treinamento de *Taekwondo* de um sistema composto pelo sensor *Microsoft Kinect* e algoritmos desenvolvidos especificamente para estas tarefas. O estudo foi composto por 2 etapas. Na primeira etapa os voluntários realizaram 15 repetições do chute frontal do *Taekwondo* (*ap chagui*) em duas velocidades de execução diferentes. Para verificar a validade concorrente foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson, a equação de regressão linear simples e erro padrão de estimativa (EPE), verificando a validade entre o *Microsoft Kinect* e o *Optitrack* (padrão ouro). Para verificar a confiabilidade foram calculados o Coeficiente de Correlação Intraclasse ( $CCI_{2,1}$ ) e o Erro Padrão de Medida (EPM). Na segunda fase os voluntários realizaram 4 diferentes movimentos típicos de uma sessão de treinamento de *Taekwondo* durante 20 segundos cada um e foi verificada a capacidade do sistema em reconhecer e classificar automaticamente os movimentos que foram realizados com elevada acurácia. O sistema de obtenção de tempo de execução do chute composto pelo *Microsoft Kinect* apresentou uma alta confiabilidade ( $CCI_{2,1}=0,971$  para velocidade de chute de  $3 \text{ m.s}^{-1}$  e  $0,912$  para velocidade de chute de  $8 \text{ m.s}^{-1}$ ). Além disso, apresentou uma alta validade para velocidade de chute de  $3 \text{ m.s}^{-1}$ , com um  $r=0,982$  ( $p=0,001$ ), com um percentual de 96,5% do modelo explicado, coeficiente linear 'a'=0,0174, coeficiente angular 'b'=0,984 e EPE=0,064 segundos; e também para velocidade de chute de  $8 \text{ m.s}^{-1}$ , com um  $r=0,920$  ( $p=0,001$ ), com um percentual de 84,7% do modelo explicado, coeficiente linear 'a'=0,336, coeficiente angular 'b'=0,866 e EPE=0,011 segundos. No reconhecimento de movimentos a acurácia média foi 89,91%, sendo o soco de direita o movimento com maior acurácia de reconhecimento (93,81%) e o soco de esquerda com a menor acurácia de reconhecimento (85,23%). O sistema avaliado se apresenta como um caminho viável para desenvolvimento de uma ferramenta de registro automático de sessões de treinamento de *Taekwondo*.

**Palavras-Chave:** *Taekwondo*. *Kinect*. Reconhecimento de Movimentos. Carga de Treinamento. Validade. Confiabilidade. Acurácia.

## ABSTRACT

This study aims to determine the validity and reliability in getting the run time of a *Taekwondo* kick, and to verify the accuracy of automatically recognize movements inherent in a *Taekwondo* training session of a system comprises for the Microsoft Kinect sensor and algorithms developed specifically for these tasks. The study consisted of two stages. In the first step the volunteers performed 15 repetitions of *Taekwondo* front kick (*ap chagui*) in two different running speeds. To verify the concurrent validity, it calculated the Pearson correlation coefficient, the equation of linear regression and standard error of the estimate (SEE), checking the validity between the Microsoft Kinect and Optitrack (gold standard). To check the reliability were calculated the intraclass correlation coefficient ( $ICC_{2,1}$ ) and the Standard Error of Measurement (SEM). In the second phase, the volunteers were four different movements of a *Taekwondo* training session for 20 seconds each and was checked on the system's ability to recognize and automatically classifying movements which were conducted with high accuracy. The kick runtime system showed high reliability ( $ICC_{2,1}=0.971$  for slow kicks and 0.912 for fast kicks kicks). It also presented a high validity for kick speed  $3\text{ ms}^{-1}$ , with  $r=0.982$  ( $p=0.001$ ), a percentage of 96.5% of the model explained, linear coefficient 'a'=0.0174, angular coefficient 'b'=0.984 and  $SEE=0.064$  seconds; and also for kick speed  $8\text{ ms}^{-1}$ , with  $r=0.920$  ( $p=0.001$ ), a percentage of 84.7% of the model explained, linear coefficient 'a'=0.336, angular coefficient 'b'=0.866 and  $SEE=0.011$  seconds. In recognition of the movement accuracy mean was 89,91%, the right punch movement with more accurate recognition (93.81%) and the left punch with the lowest recognition accuracy (85.23%). The evaluated system is presented as a viable way to develop a *Taekwondo* training session's record tool.

**Keywords:** *Taekwondo*. Kinect. Movement recognition. Training load. Validity. Reliability. Accuracy.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>FIGURA 1:</b> Posicionamento do sensor <i>Microsoft Kinect</i> durante a coleta de um chute bandal chagui. ....	20
<b>FIGURA 2:</b> Posicionamento dos marcadores reflexivos e modelo tridimensional criado .....	22
<b>FIGURA 3:</b> Posicionamento dos 20 pontos captados pelo <i>Microsoft Kinect</i> .....	23
<b>FIGURA 4:</b> Esqueleto extraído automaticamente pelo <i>Microsoft Kinect</i> e os nove pontos utilizados pelo algoritmo para determinar as poses chave. ....	24
<b>FIGURA 5:</b> Poses chave selecionadas para os movimentos de flexão de ombros.....	24
<b>FIGURA 6:</b> Representação esquemática do pré-processamento por poses chave .....	25
<b>FIGURA 7:</b> Sequências de fotos ilustrativas do chute <i>bandal chagui</i> .....	26
<b>FIGURA 8:</b> Sequências de fotos ilustrativas do soco .....	27
<b>FIGURA 9:</b> Exemplo hipotético de uma reta de regressão ideal .....	31
<b>FIGURA 10:</b> Exemplo hipotético de uma Matriz de Confusão de um algoritmo perfeito .....	32
<b>FIGURA 11:</b> Reta de regressão ajustada via método de mínimos quadrados.....	34
<b>FIGURA 12:</b> Matriz de confusão do reconhecimento dos movimentos .....	36
<b>FIGURA 13.</b> Gráfico de segmentação .....	37

## LISTA DE TABELAS

- TABELA 1:** Valores de média, desvio padrão, valor de p do Teste t Pareado entre os tempos de chute nas duas velocidades de execução investigadas e tamanho do efeito d de Cohen.. 33
- TABELA 2:** Comparação entre os valores de tempo (s) medido pelo *Optitrack* e o predito pelo Microsoft *Kinect* para chute lento e chute rápido, erro padrão da estimativa (EPE) e p valor do teste de heterocedasticidade..... 35
- TABELA 3:** Coeficiente de Correlação Intraclasse e erro padrão de medida para o tempo de execução do chute obtido via Microsoft *Kinect* e do *Optitrack* ..... 35

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>EQUAÇÃO 1:</b> Regressão Linear Simples.....	30
<b>EQUAÇÃO 2:</b> Acurácia.....	32
<b>EQUAÇÃO 3:</b> Equação de predição do Tempo de Chute do <i>Optitrack</i> .....	34
<b>EQUAÇÃO 4:</b> Equação de predição do Tempo de Chute do <i>Microsoft Kinect</i> .....	34

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAAE – Certificado de Apresentação para Apreciação Ética

CCI – Coeficiente de Correlação Intraclasse

COEP – Comitê de Ética em Pesquisa

EPE – Erro Padrão de Estimativa

EPM – Erro Padrão de Medida

LED – *Light Emitting Diode*

MAC – *Motion Analysis Corporation*

PPGCE – Programa de Pós-graduação em Ciência do Esporte.

SDK – *Software Development Kit*

STOP - *Space-time Occupancy Pattern*

SVM - *Support Vector Machine*

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UFV – Universidade Federal de Viçosa

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	11
1.1	Objetivos .....	16
1.2	Hipóteses .....	17
2	MATERIAIS E MÉTODOS .....	18
2.1	Amostra .....	18
2.2	Instrumentos .....	19
2.2.1	<i>Microsoft Kinect</i> .....	19
2.2.2	<i>Visual Studio Ultimate</i> .....	21
2.2.3	<i>Optitrack</i> .....	21
2.2.4	Algoritmos .....	22
2.2.4.1	Algoritmo para captura de coordenadas dos pontos anatômicos e quantificação da duração do chute .....	22
2.2.4.2	Algoritmo de Reconhecimento de Movimento .....	23
2.3	Tarefas motoras específicas do <i>Taekwondo</i> .....	26
2.4	Delineamento Experimental .....	27
2.4.1	Etapa 1 – Validade e Confiabilidade do <i>Microsoft Kinect</i> na Medida do Tempo de Execução do Chute <i>ap chagui</i> .....	28
2.4.2	Etapa 2 – Acurácia do <i>Microsoft Kinect</i> no reconhecimento dos movimentos ...	29
2.5	Validade, Confiabilidade e Acurácia .....	29
2.6	Tratamento Estatístico .....	30
3	RESULTADOS .....	33
3.1	Tempo de chute .....	33
3.2	Reconhecimento dos movimentos .....	36
4	DISCUSSÃO .....	38
4.1	Confiabilidade do sensor <i>Microsoft Kinect</i> na mensuração do tempo de chute .....	38
4.2	Validade do sensor <i>Microsoft Kinect</i> na mensuração do tempo de chute .....	39
4.3	Acurácia do <i>Microsoft Kinect</i> no Reconhecimento dos movimentos .....	41
5	CONCLUSÃO .....	43
	REFERÊNCIAS .....	44
	APÊNCIDES .....	49
	Apêndice 1 – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido .....	49
	Apêndice 2 – Termo de Assentimento Livre e Esclarecido .....	51

## 1 INTRODUÇÃO

Para que um atleta alcance um elevado nível de rendimento esportivo é necessário submetê-lo a situações rigorosas de preparação, com elevadas cargas de treinamento (FOWLES, 2006). Além disso, no âmbito do treinamento esportivo, a progressão das cargas segue o princípio da individualidade biológica (SMITH, 2003). Esta individualização da carga se baseia em resultados de testes e no monitoramento sistemático das atividades realizadas, como forma de verificar os resultados alcançados com o programa de treinamento aplicado e os ajustes necessários para o aumento do desempenho do atleta (SZMUCHROWSKI e COUTO, 2012). De acordo com Impellizzeri *et al.* (2004), monitorar o processo de treinamento é indispensável para que seja possível verificar a carga que foi aplicada e permitir seu ajuste para as próximas sessões. Day *et al.* (2004) afirmam que o registro da carga aplicada é importante para que sejam verificadas as adaptações ocorridas devido a aplicação desta carga e consequentemente importante também na planificação de novos treinamentos, pois oferece informações para futuras manipulações de variáveis como volume, intensidade e recuperação com objetivo de otimizar resultados.

É comum encontrar na literatura autores que trazem uma divisão da carga em externa, que pode ser entendida como a carga mecânica aplicada aos atletas (ex.: distância percorrida, potência do chute, tempo de estímulo); e interna, que é considerada como a resposta do organismo a esta carga externa, e é medida por parâmetros como frequência cardíaca, percepção subjetiva do esforço e percepção subjetiva do esforço da sessão (WALLACE *et al.*, 2014). Estes dois tipos de carga estão intimamente relacionados, e a carga externa é um importante fator determinante da carga interna (IMPELLIZZERI *et al.*, 2005; LAMBERT e BORRESEN, 2010; SCOTT *et al.*, 2013, MORTATTI *et al.*, 2014)

De uma maneira mais abrangente, carga de treinamento pode ser entendida como um estímulo capaz de provocar adaptações no organismo (ZAKHAROV, 1992), e o registro desta carga é de fundamental importância no processo de treinamento (VINCENZO *et al.*, 2009; DAY *et al.*, 2004; IMPELLIZZERI *et al.*, 2004).

Borresen e Lambert (2009) utilizam o termo “observação direta” quando citam algumas formas de quantificar o volume de treino e afirmam que este procedimento é constantemente utilizado durante as sessões de treinamento para monitorar componentes como: tipo de exercício, duração, intensidade absoluta e relativa. Esses mesmos autores afirmam que esse tipo de avaliação, baseada no julgamento de um observador, carrega os riscos inerentes à

subjetividade e quase sempre leva a diferentes percepções entre treinadores e atletas sobre uma mesma sessão de treinamento. Desta forma, no treinamento esportivo é desejável a utilização de métodos quantitativos para monitoramento e controle da carga de treinamento (CLAUDINO *et al.*, 2012), que ofereçam maior confiabilidade, sem o viés inerente à avaliação subjetiva (BORRESEN e LAMBERT, 2009). Diferentes meios de sistematizar o monitoramento e registro de carga de treinamento tem sido utilizados, tais como, a frequência cardíaca (FOSTER *et al.*, 2001) e concentrações salivares de cortisol (CORMACK *et al.*, 2008), parâmetros fisiológicos que estão sujeitos a interferências como temperatura ambiente, humidade do ar, estado de hidratação do indivíduo e fatores psicológicos (LAMBERT e BORRESEN, 2010). Outra possibilidade de monitoramento e registro de carga de treinamento é baseada em variáveis biomecânicas, como por exemplo, desempenho de força muscular, avaliada por meio da plataforma de força, no protocolo de saltos verticais (MENZEL *et al.*, 2013; SZMUCHROWSKI *et al.*, 2012). De acordo com Corazza *et al.* (2006), a análise biomecânica do movimento humano aplicada ao esporte implica em uma maior precisão das medidas obtidas.

Dentre os métodos biomecânicos de avaliação do movimento pode-se citar a análise cinemática, que captura imagens por meio de sistemas compostos por múltiplas câmeras de alta frequência e marcadores reflexivos posicionados nas articulações e segmentos corporais dos indivíduos (BAKER, 2006). Apesar de sua grande utilização como ferramenta de pesquisa e em avaliações aplicadas (SCHMITZ *et al.*, 2014), estes sistemas de análise do movimento apresentam limitações como alto custo, baixa portabilidade, necessidade de experiência para operar e interpretar resultados (CLARK *et al.*, 2012), além da dificuldade de utilização em ambientes não laboratoriais como casa do paciente ou locais de treinamento (SCHMITZ *et al.*, 2014), pois torna-se indesejável a utilização de marcadores (ROBERTSON *et al.*, 2004). Robertson *et al.* (2004) afirmam ainda que para estes casos têm sido usados recentemente sistemas livres de marcadores, nos quais os avaliadores devem digitalizar as imagens utilizando pontos anatômicos como referência, mas que apresentam como problema a grande demanda de tempo para ser realizado.

No intuito de resolver questões como custo elevado, baixa portabilidade e necessidade de automação do processo, estudos recentes têm utilizado o *Microsoft Kinect* (Microsoft, EUA) para captação e análise do movimento humano na análise da marcha (PREIS *et al.*, 2012), equilíbrio (YANG *et al.*, 2014) e controle postural (CLARK *et al.*, 2012), apresentando como principais vantagens o baixo custo, simplicidade operacional e possibilidade de utilização em ambientes variados (GABEL *et al.* 2012).

O sensor *Microsoft Kinect 1.0* (*Microsoft*, EUA) é composto por microfone de alta resolução, uma câmera para captação de imagens e um sensor infravermelho para criar um campo tridimensional em frente a ele (MENTIPLAY *et al.*, 2013; CLARK *et al.*, 2012). É também equipado originalmente com um Kit de desenvolvimento de *software* (*Software Development Kit - SDK*), versão 1.8, que apresenta códigos abertos para que programadores externos tenham uma maior integração com o *software* proposto, e utiliza um algoritmo (Decision Forest Algorithm) para determinar automaticamente os pontos anatômicos e localização espacial (x, y e z) de cada um destes pontos (CLARK *et al.*, 2012; GABEL *et al.*, 2012, PREIS *et al.*, 2012). Além disso, ele também registra uma quarta coordenada (t), que é a localização de cada ponto na escala de tempo (YANG *et al.*, 2014). A taxa de amostragem do *Microsoft Kinect 1.0* é de 30 Hertz e sua resolução é de 640x480 pixels (CHOPPIN e WHEAT, 2012).

Aliado às facilidades de aquisição de imagens tridimensionais obtidas por meio do sensor *Microsoft Kinect*, algoritmos de reconhecimento automático têm sido propostos na literatura, tornando esse sistema uma ferramenta útil na detecção de diferentes movimentos em tempo real (VIEIRA *et al.*, 2014; SUNG *et al.*, 2011).

Um algoritmo é uma sequência finita de instruções bem definidas e não ambíguas, cada uma das quais devendo ser executadas mecânica ou eletronicamente em um período de tempo finito e com uma quantidade de esforço finita. Apesar de existirem algumas diferenças entre os vários tipos de algoritmos de reconhecimento, eles basicamente funcionam através de entradas (variáveis independentes) e saídas (variáveis dependentes), e sua capacidade de aprender relações não-lineares de entrada-saída. Neste procedimento de aprendizagem são apresentados ao algoritmo exemplos de entradas e correspondentes saídas desejadas, e então o algoritmo se auto ajusta através de procedimentos iterativos para que consiga representar com precisão os padrões de movimentos apresentados a ele. Após o aprendizado, novos padrões podem ser apresentados ao algoritmo na tentativa de prever uma saída desejada. (ANDRADE *et al.*, 2013)

Este aspecto do reconhecimento automático de movimentos humanos tem sido, recentemente, objeto de estudo em diferentes áreas tais como: monitoramento de atividades realizadas por idosos em suas residências, monitoramento e vigilância por vídeo, interação homem-robô e entretenimento (VIEIRA *et al.*, 2014, ELGENDI *et al.*, 2012). Um exemplo é o estudo de Sung *et al.* (2011), que utilizou o *Microsoft Kinect* para reconhecimento automático de atividades cotidianas (como falar ao telefone, escovar os dentes ou cozinhar) e apresentou uma acurácia de 84,31%. Vieira *et al.* (2014) adquiriram via *Microsoft Kinect* vários gestos,

como chutes, socos, arremessos, saque no tênis, corrida, entre outros, e implementaram um algoritmo de reconhecimento, denominado *Space-time Occupancy Pattern* (STOP), com valores de acurácia entre 81,55 e 98,41%.

Apesar de todos os algoritmos de reconhecimento de movimento precisarem da fase de aprendizado (quando eles são treinados para reconhecer os movimentos), nos algoritmos tradicionais essa fase é demorada e muitas vezes trabalhosa para identificar as informações relevantes para o reconhecimento do movimento. Com o objetivo de reduzir esta fase de aprendizagem, Faugeron *et al.* (2014) propuseram em seu trabalho um novo algoritmo que reduz de forma expressiva esta fase, além de realizar automaticamente a seleção das informações que são relevantes para o reconhecimento do movimento. Este trabalho usou o *Microsoft Kinect* e o algoritmo supracitado para reconhecer 11 tipos diferentes de gestos (como abrir ou elevar braços, acenar, abaixar o tronco, etc.), apresentando um valor de acurácia de 91,27%.

Embora os estudos supracitados apresentem valores elevados de acurácia no reconhecimento automático de alguns gestos por meio do sensor *Microsoft Kinect* juntamente com algum algoritmo, nenhum deles foi aplicado especificamente com o objetivo de monitorar as atividades realizadas no âmbito do treinamento esportivo, especialmente no *Taekwondo*.

O *Taekwondo* é uma arte marcial coreana presente no programa olímpico desde os Jogos de Sidney, caracterizando-se como uma luta de contato que envolve chutes fortes no tronco e cabeça dos oponentes (KIM *et al.* 2011), e são pontuados quando atingem os alvos com força e precisão (VIETEN *et al.*, 2007). Também é caracterizada como uma atividade intermitente que exige chutes altos e rápidos (HADDAD *et al.*, 2011). O golpe mais utilizado pelos atletas desta modalidade durante os combates é o *bandal chagui*, principalmente por sua velocidade e eficácia em atingir a área de pontuação válida (JAKUBIAK e SAUNDERS, 2008; DETJARENY *et al.*, 2012, FALCO *et al.*, 2011). Desta forma, a velocidade do chute se configura como um importante parâmetro para elaboração de programas de treinamentos (LEICHTWEIS *et al.*, 2012). Bridge *et al.* (2014) citam em sua revisão algumas importantes características de atletas de *Taekwondo* como: elevados índices de capacidade cardiorrespiratória e potência anaeróbia, capacidade de gerar e sustentar potência em ações musculares concêntricas e utilizando o ciclo alongamento-encurtamento, altos níveis de flexibilidade, características que configuram o *Taekwondo* como um esporte que apresenta uma grande demanda fisiológica tanto durante a competição quanto durante os treinamentos (KAZEMI *et al.*, 2009), exigindo a aplicação de cargas de treinamento elevadas, individualizadas e monitoradas para permitir ajustes.

No melhor do nosso conhecimento, não foram encontrados estudos que utilizaram o *Microsoft Kinect* no *Taekwondo* com o intuito de registrar o tempo de execução de chutes, bem como identificar e quantificar automaticamente quais atividades foram realizadas durante uma sessão de treinamento (ex.: quantos minutos foram gastos treinando chutes e quantos foram gastos treinando socos). Sendo assim, a proposta desse trabalho é verificar a possibilidade de utilização de um sistema composto pelo sensor *Microsoft Kinect* e por alguns algoritmos no registro do tempo de execução do chute *ap chagi* e no reconhecimento automático de atividades de uma sessão de treinamento no *Taekwondo*. Este seria um passo para o desenvolvimento de uma ferramenta válida, confiável e de elevada acurácia que possibilitaria ao treinador ter um registro automático e sistematizado de todas as sessões de treinamento, permitindo que fosse feita a relação entre o desempenho dos atletas e o que foi treinado, e um consequente ajuste de planejamentos futuros.

Desta forma, verificar a validade, confiabilidade e acurácia de um sistema para reconhecimento automático do processo de monitoramento e registro das sessões de treinamento de *Taekwondo*, via *Microsoft Kinect*, pode representar um avanço no campo do treinamento esportivo.

## 1.1 Objetivos

Os objetivos deste estudo foram:

- verificar a validade e a confiabilidade de um sistema que utiliza o sensor *Microsoft Kinect* e um algoritmo no registro do tempo de execução do chute *ap chagui* no *Taekwondo*.
- verificar a acurácia de um sistema que utiliza o sensor *Microsoft Kinect* e um algoritmo no reconhecimento automático de movimentos do *Taekwondo*.

## 1.2 Hipóteses

As seguintes hipóteses alternativas foram formuladas para o presente estudo:

H<sub>1</sub>: O sistema desenvolvido apresentará elevada validade e confiabilidade no registro do tempo de execução do chute *ap chagui* no *Taekwondo*.

H<sub>2</sub>: O sistema desenvolvido apresentará uma elevada acurácia no reconhecimento automático de movimentos do *Taekwondo*.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Amostra

Na primeira fase deste estudo a amostra foi composta por quatro atletas faixas pretas de *Taekwondo* do Centro de Treinamento Esportivo da UFMG, do sexo masculino, com média de idade de 18,2 (dp= $\pm$ 2,2) anos, média de tempo de prática de 5,7 (dp= $\pm$ 2,6) anos de prática. Na segunda fase deste estudo a amostra foi composta por sete praticantes de *Taekwondo*, com graduações variadas dentro da modalidade, com média de idade de 19,8 (dp= $\pm$ 3,3) anos, e média tempo de prática de 7,0 (dp= $\pm$ 5,2) anos, média de massa corporal de 66,9 (dp= $\pm$ 11,3) Kg e média de estatura de 172,4 (dp= $\pm$ 6,5) cm.

Este projeto foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (COEP-UFMG) sob o número CAAE 43012015.4.0000.5149, e pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Ciência do Esporte (PPGCE) da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG.

O critério de inclusão dos voluntários foi o tempo de experiência com a modalidade (mínimo de seis meses de prática).

Os critérios para exclusão foram: por livre e espontânea vontade do voluntário ou o não comparecimento aos locais de coleta no dia e hora programados, presença de lesões musculoesqueléticas nos membros inferiores e presença de qualquer tipo de enfermidade ou patologia que pudesse comprometer a coleta dos dados.

Todos os indivíduos receberam informações quanto aos objetivos e o processo metodológico desta pesquisa e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (APÊNCIDE 1), concordando em participar do estudo. Eles ainda foram informados de que poderiam abandonar a pesquisa a qualquer momento, sem a necessidade de justificativa. Aos voluntários menores de 18 anos foi dado um Termo de Assentimento (APÊNDICE 2) que foi assinado pelos pais ou responsáveis autorizando a participação do menor no estudo.

Os experimentos foram realizados no Ginásio de *Taekwondo* da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG e no Laboratório de Biomecânica da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

## 2.2 Instrumentos

### 2.2.1 Microsoft Kinect

O instrumento para coleta utilizado neste estudo foi um sensor *Microsoft Kinect* (*Microsoft*, EUA) versão 1.0, equipado com SDK versão 1.8.

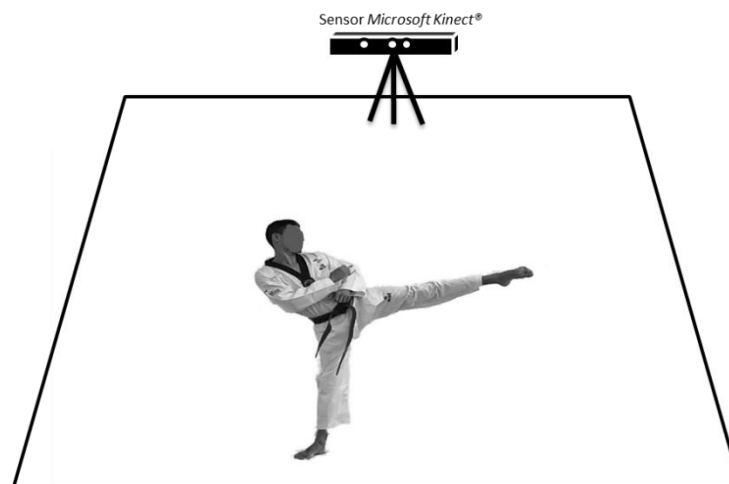
Na primeira etapa do experimento este sensor foi ligado a um computador que utilizou um algoritmo implementado no *software Visual Studio Ultimate 2013* (*Microsoft*, EUA) para analisar os dados coletados pelo sensor e obter o tempo de execução dos chutes. Na segunda etapa o *Microsoft Kinect* foi ligado a um computador que utilizou outro algoritmo implementado no *software Visual Studio Ultimate 2013* (*Microsoft*, EUA) para o reconhecimento automático das atividades realizadas na sessão de treinamento. Em ambas as fases de coleta do experimento o sensor foi posicionado no plano sagital (FIGURA 1).

É possível encontrar na literatura alguns trabalhos que se ocuparam em testar validade e confiabilidade do *Microsoft Kinect*, comparando o sensor com algum outro equipamento já conhecido e testado pela literatura. Clark *et al.* (2012) testaram a confiabilidade e a validade do *Microsoft Kinect* em testes de controle postural. Foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson para determinar a validade concorrente do *Microsoft Kinect* com o sistema de câmeras 3D utilizado no experimento como padrão ouro (*Vicon MX*, *Vicon*, Reino Unido), sendo encontrada uma excelente validade, com valores de  $r$  de Pearson superiores a 0,90 para a maior parte das medidas. Para verificar a confiabilidade teste-reteste foi utilizado o Coeficiente de Correlação Intraclasse ( $CCI_{2,1}$ ) e os valores encontrados foram superiores a 0,70 para grande parte das medidas.

No que diz respeito à acurácia, que se refere a capacidade do sistema *Microsoft Kinect* aliado ao algoritmo de reconhecimento em distinguir os diferentes movimentos (ex.: chutes, socos), diferentes algoritmos de reconhecimento automático tem sido utilizados na literatura, como por exemplo, *Support Vector Machine* (SVM) (BEGG e KAMRUZZAMAN, 2005), Redes Neurais Artificiais (ANDRADE *et al.*, 2013), Classificador Bayesiano (PREIS *et al.*, 2012). Antes de explicitar como o algoritmo de reconhecimento utilizado neste trabalho funciona, cabe um exemplo de um problema de reconhecimento. Suponha que os voluntários executem três séries de 30 chutes e 30 socos. Por meio da análise cinemática desses

movimentos, são obtidas as variáveis cinemáticas que caracterizam o padrão de movimento, tais como ângulos e velocidades lineares e angulares. Tais variáveis são denominadas de informações de entrada (variáveis independentes), sendo que o algoritmo tem por objetivo, reconhecer com elevada acurácia, se os indivíduos estão executando o movimento do chute ou do soco (variáveis dependentes). Sendo assim, o algoritmo proposto fará o reconhecimento dos tipos de movimento, por meio de informações extraídas no padrão cinemático adquiridos neste caso via *Microsoft Kinect*. O desempenho deste tipo de sistema é medido através da acurácia que é dada pelo número de padrões corretamente classificados (exemplo: se de todas as ações de chutes e socos, o sistema reconheceu corretamente 89 chutes do total de 90, a acurácia seria de 98,9%). Um exemplo é o trabalho de Preis *et al.* (2012), que verificou a acurácia do *Microsoft Kinect* no reconhecimento de pessoas por suas características antropométricas e características da marcha usando três diferentes algoritmos de reconhecimento. O algoritmo de melhor desempenho apresentou uma acurácia média de 85,1%.

**FIGURA 1:** Posicionamento do sensor *Microsoft Kinect* durante a coleta de um chute *bandal chagui*.



Fonte: Elaboração própria

### 2.2.2 *Visual Studio Ultimate*

O *Visual Studio Ultimate* (Microsoft, EUA) é um software que possibilita a implementação de algoritmos desenvolvidos para fins específicos, permitindo que suas funcionalidades sejam utilizadas para capturar e analisar informações com mais facilidade e velocidade.

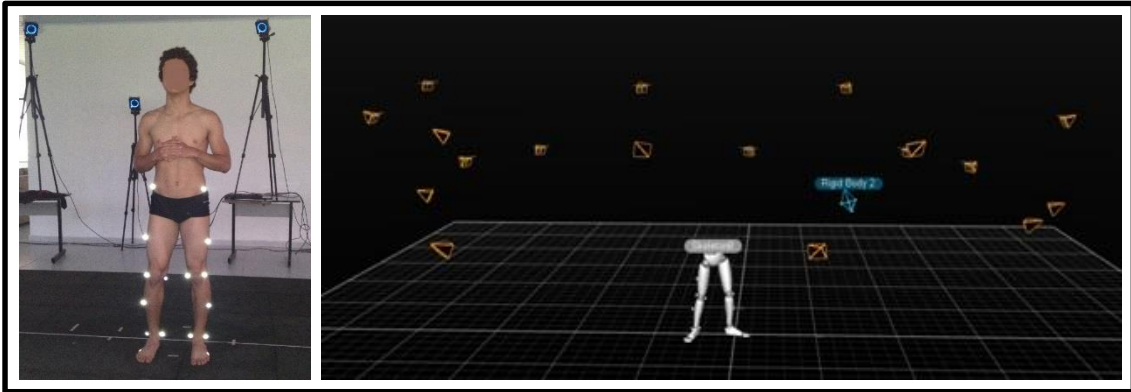
Todos os algoritmos utilizados neste trabalho foram implementados utilizando o *Visual Studio Ultimate*, utilizando a linguagem computacional denominada C++, por ser multi-paradigmas. (KETTNER, 1999).

### 2.2.3 *Optitrack*

Para comparação dos dados coletados pelo *Microsoft Kinect* e analisados pelos algoritmos de reconhecimento foi utilizado como padrão-ouro neste estudo o *Optitrack* (*NaturalPoint*, EUA). Este sistema é composto por 18 câmeras *Prime 17w* que possuem luz de *LED*, campo de visão de 70°, resolução de 1,7 megapixels e uma taxa de amostragem de até 360 Hz. Estas câmeras emitem luz infravermelha, que é refletida pelos 19 marcadores reflexivos posicionados no voluntário e captada pelas câmeras, que envia as informações para o *software Optitrack*, que faz uma leitura destes marcadores e cria um modelo tridimensional (FIGURA 2). Pela característica desta coleta, que utilizou apenas chutes, foi criado um modelo tridimensional apenas dos membros inferiores.

Os dados coletados pelo *Optitrack* foram analisados através do software *Visual Studio 3D* (Microsoft, EUA), sendo foi medido o deslocamento do pé que executou o chute, o tempo de execução e a velocidade de cada chute para comparação com os dados coletados pelo *Microsoft Kinect*.

**FIGURA 2:** Posicionamento dos marcadores reflexivos e modelo tridimensional criado.



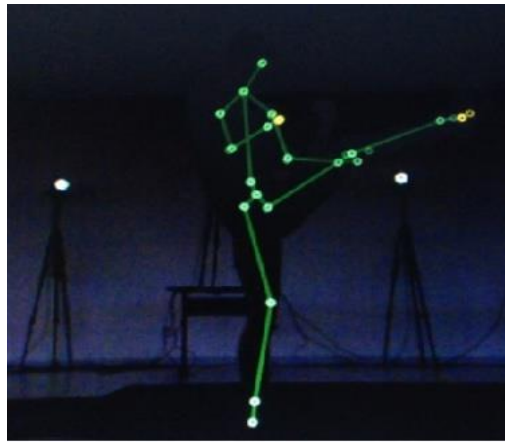
Fonte: Elaboração própria

## 2.2.4 Algoritmos

### 2.2.4.1 Algoritmo para captura de coordenadas dos pontos anatômicos e quantificação da duração do chute

Para a primeira etapa do estudo foi desenvolvido um algoritmo que foi implantado utilizando o *Visual Studio Ultimate*. A função deste algoritmo foi a leitura e registro da posição tridimensional de 20 pontos anatômicos do corpo do voluntário captados automaticamente pelo software SDK, via *Microsoft Kinect* (FIGURA 3). Este algoritmo também selecionou um ponto posicionado no pé direito para determinar a posição no espaço e tempo durante a execução dos movimentos. Desta forma as coordenadas tridimensionais deste ponto foram gravadas em uma escala temporal. Foi criada uma rotina no *Matlab 7.0* (*Mathworks*, EUA) para analisar os dados coletados e determinar o início e o término do movimento e, conseqüentemente, tempo de execução do chute *ap chagui* (ou *frontal kick*).

**FIGURA 3:** Posicionamento dos 20 pontos captados pelo *Microsoft Kinect* e utilizados pelo algoritmo implementado no *Visual Studio Ultimate* durante a execução de um *ap chagui*.



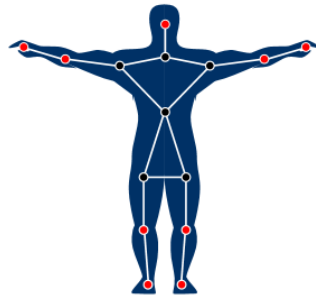
Fonte: Elaboração própria

#### 2.2.4.2 Algoritmo de Reconhecimento de Movimento

O algoritmo proposto no trabalho de Faugeroux *et al.* (2014) foi utilizado nesta etapa do presente estudo com o objetivo de fazer o reconhecimento automático de movimentos. Primeiramente foram extraídas as poses chave de cada movimento e em seguida foi feito um pré-processamento (filtragem) dos dados coletados através destas poses chave, possibilitando o armazenamento de uma quantidade muito menor de informação para ser levada ao processo de aprendizagem. Por último, estas informações foram utilizadas para o treinamento do algoritmo e posteriormente o reconhecimento dos movimentos.

No processo de seleção das poses chave o algoritmo utiliza a posição de nove pontos (em vermelho na FIGURA 4) do esqueleto extraído automaticamente pelo SDK do *Microsoft Kinect*. Cada configuração de arranjo destes nove pontos no espaço é considerada uma posição. Inicialmente o algoritmo seleciona a primeira e a última posição de cada movimento como poses chave. Se o movimento começa e termina com a mesma posição (e conseqüentemente estas posições serão iguais) o algoritmo automaticamente acrescenta uma nova pose chave que é a mais distinta possível das poses inicial e final. Se ainda assim movimentos distintos apresentarem poses chave iguais, são acrescentadas novas poses chave até que todos os movimentos tenham representações diferentes.

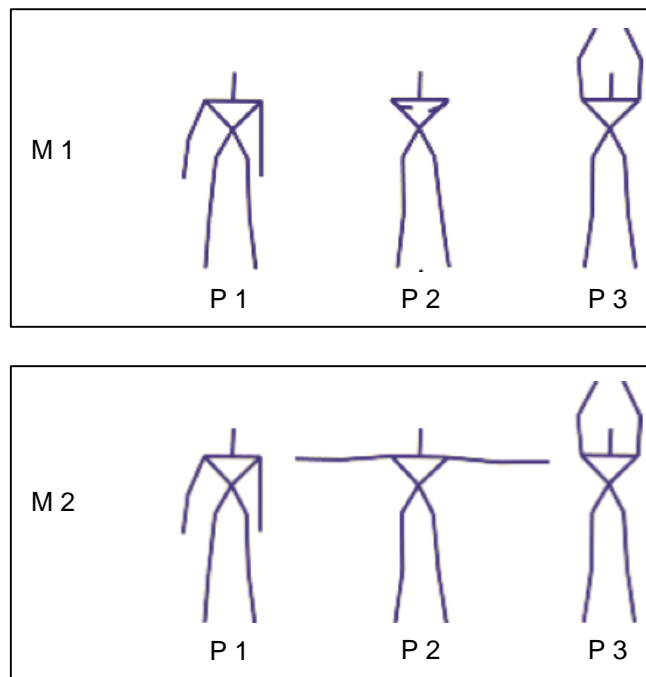
**FIGURA 4:** Esqueleto extraído automaticamente pelo *Microsoft Kinect* e os nove pontos (em vermelho) utilizados pelo algoritmo para determinar as poses chave.



Fonte: FAUGEROUX *et al.* (2014), p. 134.

Com um mínimo de poses chave possível (FIGURA 5) o algoritmo consegue distinguir qual movimento está sendo executado e nomeá-lo. Todo este processo demanda poucos recursos computacionais para que aconteça em tempo real e de maneira automática.

**FIGURA 5:** Poses chave selecionadas para os movimentos de flexão de ombros (M1) e extensão de ombros (M2). Poses chave iniciais e finais são iguais (P1 e P3). Nova pose chave (P2) foi selecionada para diferenciar os movimentos.

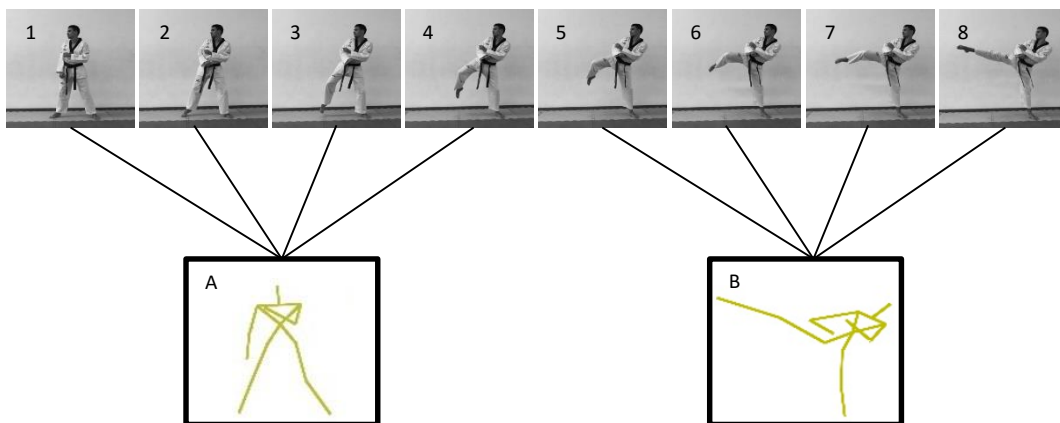


Fonte: Adaptado de Faugeroux *et al.* (2014), p. 136.

Para as tarefas deste trabalho foram feitas adaptações no algoritmo originalmente proposto por Faugeroux *et al.* (2014). No trabalho original os movimentos que deveriam ser

reconhecidos eram todos feitos com a parte superior do corpo (especialmente membros superiores), e por este motivo o algoritmo enfatizava os pontos do esqueleto captados pelo *Microsoft Kinect* (FIGURA 4) localizados na parte superior do corpo. Como neste trabalho, devido às características do *Taekwondo*, grande parte dos movimentos foi realizada com os membros inferiores, foi feita uma adaptação nos códigos do algoritmo para que fosse igualada a ênfase dada a todos os pontos reconhecidos pelo *Microsoft Kinect*. Outra alteração foi a implementação de um pré-processamento automático dos dados (filtragem). Como o *Microsoft Kinect* coleta a uma taxa de amostragem de 30 quadros por segundo, uma grande parte dos quadros por ele registrados são iguais ou muito similares. Neste processo o algoritmo agrupa os quadros de acordo com sua similaridade com cada pose chave previamente selecionada e utiliza somente o primeiro quadro de cada sequência agrupada (FIGURA 6). Com este procedimento a quantidade de informação armazenada e utilizada no reconhecimento é menor, resultando em um custo computacional mais baixo.

**FIGURA 6:** Representação esquemática do pré-processamento por poses chave. Os quadros 1, 2, 3 e 4 foram agrupados em função de sua maior similaridade com a posição chave A. O mesmo se aplica aos quadros 5, 6, 7 e 8 em relação à pose chave B.



Fonte: Elaboração própria.

Por último, os dados pré-processados foram então utilizados para aprendizagem e reconhecimento. O algoritmo utilizou 30% dos dados captados para aprendizagem, quando são extraídos os parâmetros do movimento que serão utilizados no reconhecimento. Os outros 70% foram utilizados para verificar a taxa de reconhecimento ou acurácia do algoritmo.

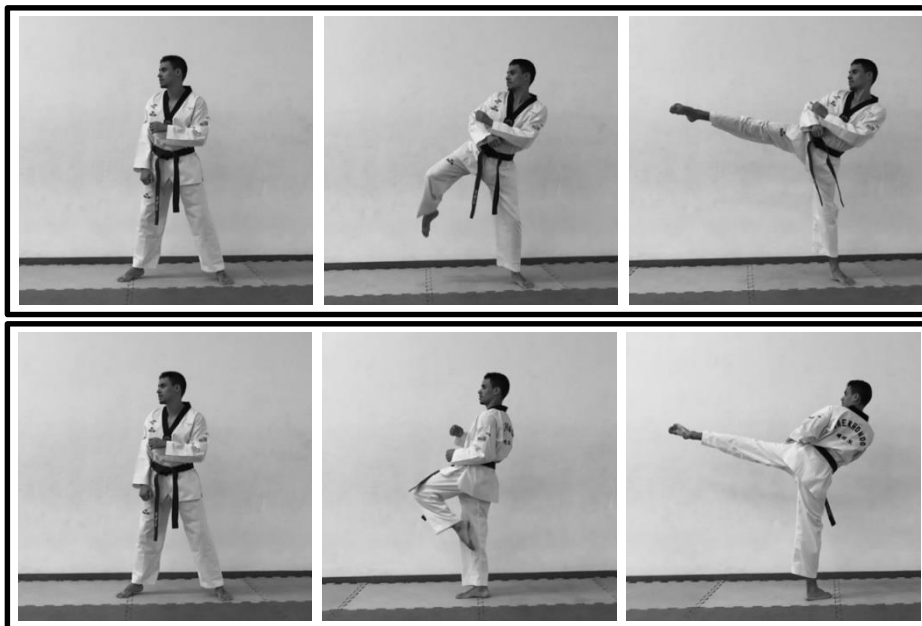
### 2.3 Tarefas motoras específicas do *Taekwondo*

Com o objetivo de verificar a viabilidade do sistema proposto no registro da carga de treinamento foram escolhidos quatro movimentos distintos realizados durante as sessões de treinamento de *Taekwondo*. Dentre estes movimentos está o chute *bandal chagui* (ou *roundhouse kick*), que é o mais utilizados durante a luta (JAKUBIAK *et al.*, 2008), e um soco, que é uma técnica menos utilizada no *Taekwondo*, mas vem ganhando espaço a cada dia dentro dos combates. Estes movimentos foram realizados separadamente durante 20 segundos com cada membro inferior (no caso do chute) e 20 segundos com cada membro superior (no caso do soco), totalizando assim quatro movimentos distintos.

Os movimentos utilizados estão descritos abaixo:

a) Chute no abdome – O chute realizado foi o *bandal chagui* ou *Roundhouse Kick* (FIGURA 7), principalmente por ser o mais utilizado em lutas de *Taekwondo*. Todos os voluntários iniciaram o chute a partir da posição de luta com o membro inferior esquerdo posicionado atrás.

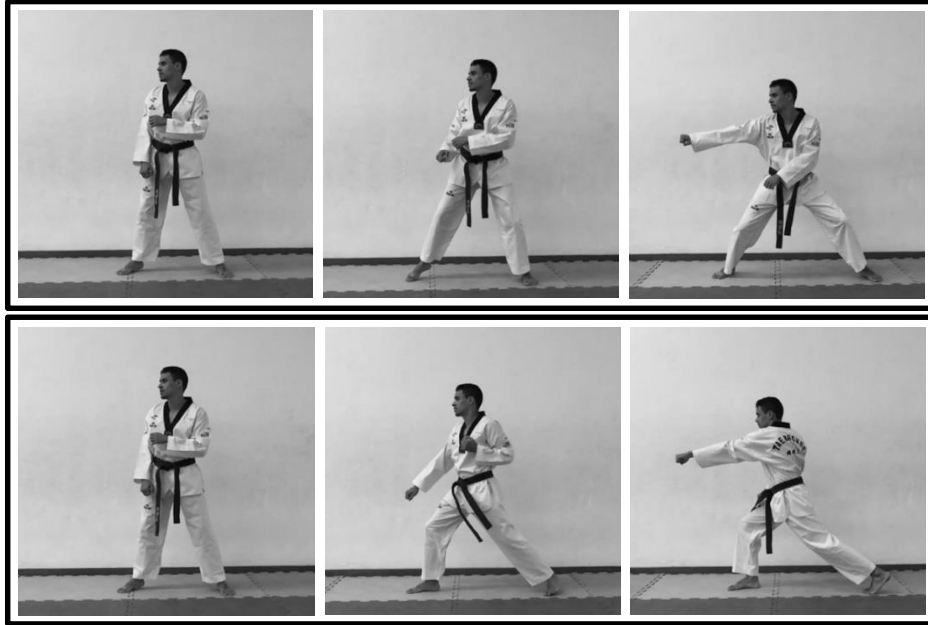
**FIGURA 7:** Sequências de fotos ilustrativas do chute *bandal chagui* com membro inferior direito (acima) e membro inferior esquerdo (abaixo)



Fonte: Elaboração própria

b) Soco – Todos os voluntários executaram o soco na altura do tórax, a partir da posição de luta com o membro inferior esquerdo posicionado atrás (FIGURA 8).

**FIGURA 8:** Sequências de fotos ilustrativas do soco com membro superior direito (acima) e membro superior esquerdo (abaixo)



Fonte: Elaboração própria

## 2.4 Delineamento de Estudo

Este trabalho foi dividido em duas etapas, com objetivos distintos. Na primeira etapa o objetivo foi verificar a validade e a confiabilidade de um sistema que utiliza o sensor *Microsoft Kinect* e um algoritmo no registro da duração do tempo de execução do chute no *Taekwondo*. Na segunda etapa o objetivo foi verificar a acurácia de um sistema que utiliza o sensor *Microsoft Kinect* e um algoritmo de reconhecimento na detecção automática das atividades típicas de uma sessão de treinamento de *Taekwondo*.

### 2.4.1 Etapa 1 – Validade e Confiabilidade do *Microsoft Kinect* na Medida do Tempo de Execução do Chute *ap chagui*

Todos os voluntários realizaram o chute *ap chagui* (ou *Frontal Kick*) a partir da posição de luta com o membro inferior direito posicionado à frente e o membro inferior esquerdo posicionado atrás. Os chutes foram realizados com o membro inferior direito partindo da frente e retornando à mesma posição. Os voluntários receberam duas orientações diferentes sobre velocidade de execução do chute: realizar o chute o mais devagar possível sem descaracterizar o chute (que resultou em uma média de velocidade de execução entre os voluntários de  $3 \text{ m.s}^{-1}$ ) e realizar o chute o mais rápido possível sem descaracterizar o chute (que resultou em uma média de velocidade de execução entre os voluntários de  $8 \text{ m.s}^{-1}$ ). Em cada uma destas velocidades de execução os voluntários realizaram 15 repetições. Os dois valores de velocidade tiveram por função testar a capacidade do sensor *Microsoft Kinect* de quantificar corretamente a duração do chute em velocidades de execução diferentes. Todos os movimentos foram registrados simultaneamente pelo sensor *Microsoft Kinect* (*Microsoft*, EUA) e pelo sistema *Optitrack* (*Natural Point*, EUA), que foi usado como padrão ouro neste estudo. O tempo médio registrado pelo *Optitrack* foi comparado ao calculado pelo sensor *Microsoft Kinect* em cada tentativa para cada velocidade durante a sessão de coleta de dados.

A posição tridimensional do ponto distal do pé direito rastreado automaticamente pelo *Microsoft Kinect* foi gravada em uma escala temporal, assim como foi obtida pelo sistema *Optitrack* a coordenada tridimensional de um marcador retroreflexivo posicionado no terceiro metatarso do pé direito dos voluntários (por ser o local mais próximo do ponto rastreado pelo *Microsoft Kinect* que foi escolhido).

Após esta padronização os seguintes dados de ambos os sistemas foram coletados para análise:

- Momento do início do movimento: que foi definido como o primeiro movimento do ponto anatômico do pé direito escolhido como referência nos dois sistemas.

- Momento do final do movimento: quando o ponto de referência do pé direito chegou ao ponto mais alto no eixo X, logo antes de começar a descer.

Posteriormente foi desenvolvida uma rotina no Matlab 7.0 (*Mathworks*, EUA) para que estes dados fossem analisados e assim fosse determinada a duração de cada chute.

#### **2.4.2 Etapa 2 – Acurácia do *Microsoft Kinect* no reconhecimento dos movimentos**

Esta etapa foi dividida em dois momentos. O primeiro foi a captação das poses chave e o pré-processamento dos dados coletados pelo algoritmo proposto no trabalho de Faugeroux *et al.* (2014) e adaptado para este estudo. Em um segundo momento, estes dados já filtrados foram utilizados pelo mesmo algoritmo para a aprendizagem e reconhecimento automático dos movimentos.

Para a captação das poses chave foi solicitado a um voluntário que executasse os quatro movimentos utilizados neste estudo, enquanto estes movimentos eram registrados pelo *Microsoft Kinect*. Neste momento o voluntário realizou cada movimento apenas uma vez e imediatamente o algoritmo já retornava com as poses chave necessárias para fazer o futuro reconhecimento daquele movimento.

Após a seleção das poses chave para cada movimento foi realizada a coleta dos dados com os demais voluntários. Cada um deles realizou uma sequência de 20 segundos de cada um dos movimentos selecionados para este estudo e estes dados foram coletados pelo *Microsoft Kinect*. O passo seguinte foi o pré-processamento automático dos dados, quando o algoritmo agrupa os quadros de acordo com sua similaridade com cada pose chave previamente selecionada e utiliza somente o primeiro quadro de cada sequência agrupada. Após este procedimento, uma quantidade menor de informação é armazenada e levada para o processo de aprendizagem e reconhecimento do algoritmo.

#### **2.5 Validade, Confiabilidade e Acurácia**

Com o intuito de obter parâmetros sobre o sistema constituído pelo *Microsoft Kinect* e os algoritmos utilizados neste trabalho, e confirmar a possibilidade de sua utilização com o uma ferramenta de registro de carga de treinamento, é preciso que sejam verificadas a validade, confiabilidade e acurácia do sistema. De acordo com Thomas *et al.* (2005), uma ferramenta válida é aquela que mede realmente o que se propõem a medir; confiável é aquela em que seus dados coletados são reprodutíveis; e de elevada acurácia que é a capacidade do algoritmo de reconhecer o padrão de movimento corretamente.

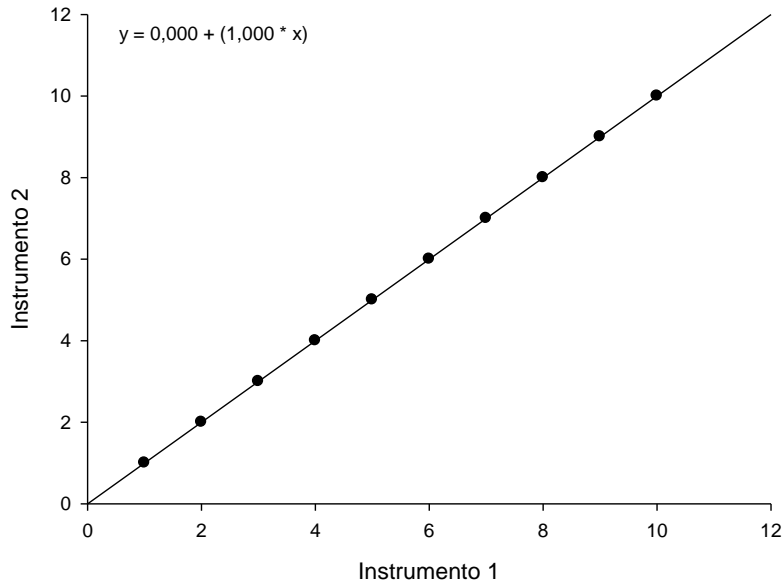
## 2.6 Tratamento Estatístico

No sentido de testar a hipótese 1 do estudo, que diz respeito à validade e confiabilidade do *Microsoft Kinect* na obtenção do tempo de movimento do chute estudado, foi feita inicialmente uma análise descritiva por meio de média e desvio padrão das 15 repetições realizadas em cada velocidade de execução. A validade entre os dois sistemas foi verificada inicialmente utilizando o procedimento mais comumente utilizado na literatura que é a Correlação de Pearson (CLARK *et al.*, 2012; GABEL *et al.*, 2012; YANG *et al.*, 2014) e a diferença no tempo médio dada por um Teste t Pareado e tamanho do efeito  $d$  de Cohen. Posteriormente, diante da limitação destes métodos em procedimentos de validação (HOPKINS, 2004), foi verificada utilizando a regressão linear simples (HOPKINS, 2004), dada por:

$$y = a + bx \tag{1}$$

sendo ‘y’ a variável dependente (tempo do chute registrado no *Optitrack* em s); ‘x’ a variável independente (tempo do chute registrado no sensor *Microsoft Kinect* em s); ‘a’ representa o intercepto e ‘b’ a inclinação da reta. Os coeficientes são estimados via método de mínimos quadrados, que minimiza o erro entre o valor observado (y) e o predito ( $\hat{y}$ ). Em um procedimento de validade por meio da regressão linear o que se espera é que os valores de inclinação e do intercepto variem aleatoriamente ao redor de 1 e 0 respectivamente, o que implica em uma medida não viesada (HOPKINS, 2004). A FIGURA 9 ilustra um caso hipotético em que os dois instrumentos de medida registrariam a mesma resposta. Nesse caso, os valores dos coeficientes ‘a’ e ‘b’, seriam 0 e 1, respectivamente.

**FIGURA 9:** Exemplo hipotético de uma reta de regressão ideal em que os dois instrumentos utilizados registrariam os mesmos valores



Fonte: Elaboração própria

Além da estimativa não viesada dos parâmetros, outro pressuposto para que se possa utilizar a regressão linear é a homocedasticidade dos resíduos que são obtidos pela diferença do valor observado ( $y$ ) e o valor esperado ( $\hat{y}$ ). Dessa forma, a dispersão dos resíduos tem que se manter constante para diferentes níveis da variável independente 'x'. Se tal pressuposto for violado (presença de heterocedasticidade), a análise de regressão fica comprometida. Finalmente, a magnitude dos resíduos aleatórios, representada pelo erro padrão da estimativa (EPE), dado pelo desvio padrão da distância vertical de cada ponto até a linha de regressão e representa a magnitude típica do desvio (erro) entre o instrumento a ser validado e o padrão ouro (HOPKINS, 2004). Em suma, em um procedimento de verificação da validade via regressão linear, é necessário que a estimação dos parâmetros seja não viesada, que a variância do erro se mantenha constante (homocedasticidade) e que a magnitude do erro, dada pelo EPE, seja a menor possível.

Após verificação da validade, a confiabilidade da medida de duração do chute registrada tanto pelo *Microsoft Kinect* quanto pelo *Optitrack*, foi calculada pelo coeficiente de correlação intraclassa ( $CCI_{2,1}$ ) e o erro padrão da medida (EPM) (WEIR, 2005). A escolha do  $CCI_{2,1}$  foi devido ao fato dele levar em consideração a presença dos erros sistemático e aleatório

(WEIR, 2005). O EPM é um índice utilizado para definir se uma diferença encontrada entre medidas de um mesmo indivíduo é efeito de uma intervenção ou fruto da variação aleatória.

A análise de confiabilidade foi realizada no pacote estatístico para Ciências Sociais (SPSS) 18.0 (IBM, EUA) e a verificação da validade no software Sigma Plot 11.0 (*Systat Software Inc.*, EUA). Em todas as análises o nível de significância adotado foi de 5%.

Para testar a hipótese 2 do presente estudo, os movimentos registrados pelo *Microsoft Kinect* foram analisados pelo algoritmo de reconhecimento automático proposto por Faugeroux *et al.* (2014). Para medir o desempenho do algoritmo foi medida a acurácia de reconhecimento, dada por:

$$\text{Acurácia} = \text{eventos classificados corretamente} / \text{total de eventos} \quad (2)$$

Estes dados de acurácia são utilizados para elaboração de uma matriz de confusão, que é utilizada oferecer uma representação da eficiência do sistema no reconhecimento (SUNG *et al.*, 2011; VIEIRA *et al.*, 2014). Esta matriz mostra o número de classificações corretas *versus* as classificações preditas para cada movimento. O percentual de acertos para cada movimento se localiza na diagonal principal da matriz. Os demais elementos da matriz representam as classificações erradas. Um algoritmo perfeito possui estes elementos iguais a zero, pois não reconhece erroneamente (FIGURA 10).

**FIGURA 10:** Exemplo hipotético de uma Matriz de Confusão de um algoritmo perfeito, onde o número de classificações corretas *versus* as classificações preditas é 100% (diagonal principal), e os demais elementos que representam as classificações erradas são iguais zero.

1. Movimento A	100	0	0	0
2. Movimento B	0	100	0	0
3. Movimento C	0	0	100	0
4. Movimento D	0	0	0	100
	1	2	3	4
	Predito			

Fonte: Elaboração própria

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Tempo de chute

A primeira fase deste estudo teve como objetivo verificar a validade e a confiabilidade de um sistema que utiliza o sensor *Microsoft Kinect* e um algoritmo no registro do tempo de execução do chute no *Taekwondo*. A partir do teste de *Shapiro-Wilk* verificou-se que as variáveis investigadas nesta fase do presente estudo apresentaram distribuição normal ( $p=0,789$ ). A TABELA 1 apresenta os dados descritivos da variável tempo de execução para as duas velocidades de chute utilizadas, bem como o valor de  $p$  do teste t Pareado utilizado para verificar se houve diferença significativa entre os dois sistemas de medição, além do tamanho do efeito  $d$  de Cohen.

**TABELA 1:** Valores de média, desvio padrão, valor de  $p$  do Teste t Pareado entre os tempos de chute nas duas velocidades de execução investigadas e tamanho do efeito  $d$  de Cohen.

Velocidade do chute	<i>Kinect</i> $\bar{X} \pm dp$ (s)	<i>Optitrack</i> $\bar{X} \pm dp$ (s)	$p$	$d$
3 m.s <sup>-1</sup>	1,13±0,32	1,16±0,34	0,521	0,09
8 m.s <sup>-1</sup>	0,58±0,20	0,72±0,18	0,002	0,73

Na velocidade de chute de 3 m.s<sup>-1</sup> não houve diferença significativa entre os instrumentos e o efeito foi considerado pequeno ( $p = 0,52$ ;  $d = 0,09$ ). Entretanto, houve uma diferença significativa entre o tempo de execução na velocidade de chute de 8 m.s<sup>-1</sup> e o tamanho do efeito foi moderado ( $p=0,002$ ;  $d = 0,73$ ), sendo que o *Microsoft Kinect* subestimou o tempo de movimento.

No que diz respeito à validade, houve uma correlação forte e significativa entre o tempo do chute registrado no *Optitrack* e o tempo do chute registrado no sensor *Microsoft Kinect* tanto para velocidade de 3 m.s<sup>-1</sup> ( $r = 0,982$ ;  $p = 0,001$ ) quanto para velocidade de 8 m.s<sup>-1</sup> ( $r = 0,920$ ;  $p = 0,001$ ) (FIGURA 11).

Para velocidades de 3 m.s<sup>-1</sup> a equação de predição do tempo do chute registrado no *Optitrack* (s) a partir dos valores tempo do chute registrado no *Microsoft Kinect* (s), foi dada por:

$$\text{Tempo\_Optitrack} = 0,0174 + 0,984 * \text{Tempo\_Kinect} \quad (3)$$

sendo que o tempo do chute registrado no *Microsoft Kinect* (s), explicou 96,5% da variância do tempo do chute registrado no *Optitrack* (s). O valor do coeficiente linear 'a' ficou 0,0174 e o coeficiente angular (b) foi de 0,984.

Para a velocidade de  $8 \text{ m.s}^{-1}$ , a equação de predição do tempo do chute registrado no *Optitrack* (s) a partir dos valores tempo do chute registrado no *Microsoft Kinect* (s), ficou:

$$\text{Tempo\_Optitrack} = 0,336 + 0,886 * \text{Tempo\_Kinect} \quad (4)$$

sendo que o tempo do chute registrado no *Microsoft Kinect* (s), explicou 84,7% da variância do tempo do chute registrado no *Optitrack* (s). O valor do coeficiente linear 'a' foi de 0,336 e o coeficiente angular (b) foi de 0,886.

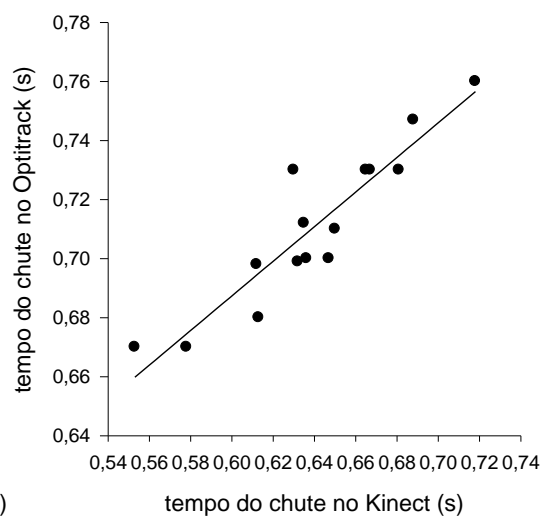
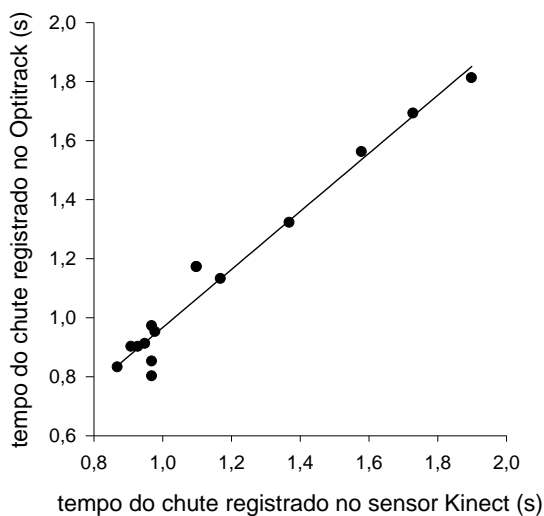
**FIGURA 11:** Retas de regressão ajustada via método de mínimos quadrados entre o sensor *Microsoft Kinect* e o padrão ouro (*Optitrack*) nas duas velocidades de execução  $3 \text{ e } 8 \text{ m.s}^{-1}$ , respectivamente.

$$\text{Tempo\_Optitrack (s)} = 0,0174 + 0,984 * \text{tempo\_Kinect (s)}$$

$$r = 0,982 \quad R^2 = 0,965 \quad \text{EPE} = 0,064$$

$$\text{Tempo\_Optitrack (s)} = 0,336 + 0,886 * \text{tempo\_Kinect (s)}$$

$$r = 0,920 \quad R^2 = 0,847 \quad \text{EPE} = 0,011$$



A acurácia da predição dada pelo erro padrão de estimativa (EPE), e que também é um pressuposto para verificar a validade do sensor *Microsoft Kinect*, está demonstrada na TABELA 2. Os valores de EPE foram de 0,064 segundos e de 0,011 segundos para as velocidades 3 m.s<sup>-1</sup> e 8 m.s<sup>-1</sup>, respectivamente. Além disso, os resultados do teste de homocedasticidade para os resíduos não foram significativos, em ambas as velocidades ( $p_{3\text{ m.s}^{-1}} = 0,838$ ;  $p_{8\text{ m.s}^{-1}} = 0,644$ ) (TABELA 2).

**TABELA 2:** Comparação entre os valores de tempo (s) medido pelo *Optitrack* e o predito pela equação de regressão para chute lento e chute rápido, erro padrão da estimativa (EPE) e p valor do teste de heterocedasticidade.

Chute	Média ±DP	Média ±DP	EPE (s)	p valor
	Valor medido (s)	Valor predito (s)		
3 m.s <sup>-1</sup>	1,16±0,34	1,17± 0,32	0,064	0,838
8 m.s <sup>-1</sup>	0,72±0,18	0,69 ± 0,16	0,011	0,644

EPE<sup>a</sup> = erro padrão da estimativa dada em segundos

Em relação a análise de confiabilidade a TABELA 3 apresenta os valores do Coeficiente de Correlação Intraclasse (CCI<sub>2,1</sub>) e erro padrão de medida (EPM) para o tempo de execução de chute do sistema composto pelo *Microsoft Kinect* e o *Optitrack*.

**TABELA 3:** Coeficiente de Correlação Intraclasse e erro padrão de medida para o tempo de execução do chute (em segundos) obtido via *Microsoft Kinect* e do *Optitrack*.

Chute	<i>Kinect</i>			<i>Optitrack</i>		
	CCI <sub>(2,1)</sub>	p	EPM(s)	CCI <sub>(2,1)</sub>	p	EPM(s)
3 m.s <sup>-1</sup>	0,971	0,001	0,010	0,992	0,001	0,004
8 m.s <sup>-1</sup>	0,912	0,001	0,015	0,988	0,001	0,007

O *Microsoft Kinect* apresentou uma alta confiabilidade, com valores de Coeficiente de Correlação Intraclasse classificados como bons para excelente (MENTIPLAY, 2013), tanto para velocidade de 3 m.s<sup>-1</sup> (CCI<sub>2,1</sub>=0,971) quanto para velocidade de 8 m.s<sup>-1</sup> (CCI<sub>2,1</sub> =0,912). Os valores de confiabilidade do *Optitrack* também foram considerados altos tanto para a velocidade de 3 m.s<sup>-1</sup> (CCI<sub>2,1</sub>= 0,992; p=0,001) quanto para a velocidade de 8 m.s<sup>-1</sup> (CCI<sub>2,1</sub>= 0,988; p=0,001).

O EPM apresentou valores de baixa magnitude, da ordem de 10<sup>-2</sup> para o *Microsoft Kinect* e de 10<sup>-3</sup> para o *Optitrack*.

### 3.2 Reconhecimento dos movimentos

A segunda fase deste estudo teve como objetivo verificar a acurácia de um sistema que utiliza o sensor *Microsoft Kinect* e um algoritmo no reconhecimento automático das atividades típicas de uma sessão de treinamento de *Taekwondo*. Foi calculada a acurácia (índice de acerto) do sistema testado neste trabalho no reconhecimento de cada um dos movimentos utilizados. Com os resultados de acurácia foi confeccionada matriz de confusão apresentada na FIGURA 12.

**FIGURA 12:** Matriz de confusão do reconhecimento dos movimentos. As tonalidades de azul representam os índices de reconhecimento, e quanto mais clara a tonalidade do azul, mais baixo o percentual de reconhecimento.

1. Chute direita	92,20	2,44	3,9	1,46
2. Chute esquerda	2,68	86,96	5,69	4,68
3. Soco direita	0	0	93,81	6,19
4. Soco esquerda	0,92	7,69	6,15	85,23
	1	2	3	4
	Predito			

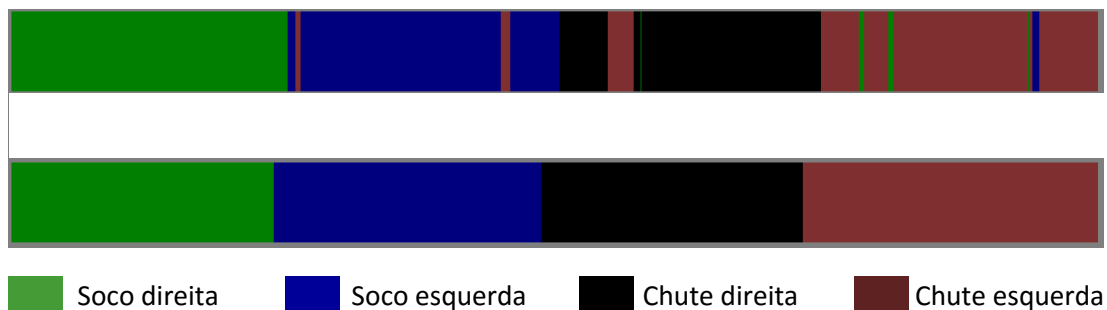
Fonte: Elaboração própria

É possível observar que os maiores percentuais se referem a reconhecimentos corretos (em azul escuro, na diagonal principal) e o que todos os reconhecimentos corretos tiveram uma acurácia média 89,91%. Os demais elementos (em tonalidades de azul mais claro, fora da diagonal principal) representam os reconhecimentos errados. O soco de direita foi a atividade que apresentou o maior reconhecimento correto (93,81%), enquanto o menor percentual de reconhecimento correto foi o soco de esquerda (85,23%). Os movimentos realizados com os membros do lado direito apresentaram um maior reconhecimento correto (soco de direita – 93,81% e chute de direita – 92,2%) e os chutes realizados com os membros do lado esquerdo apresentaram um menor reconhecimento correto (soco de esquerda – 85,23%

e chute de esquerda – 86,96%). O movimento que apresentou o maior índice de reconhecimento incorreto foi soco de esquerda, que foi confundido por 7,69% das vezes como chute de esquerda. Por sua vez, o soco de direita apresentou o segundo maior índice de reconhecimento incorreto, sendo confundido por 6,19% das vezes com o soco de esquerda, mas por outro lado apresentou um percentual zero de reconhecimento incorreto para os outros dois movimentos (chute de direita e chute de esquerda).

A FIGURA 13 apresenta um exemplo de gráfico de segmentação de um dos voluntários, que ilustra a comparação entre o que foi executado e o que foi reconhecido pelo sistema. É possível observar o movimento soco de direita não apresentou nenhum reconhecimento incorreto (verde). Já os demais movimentos apresentaram alguns momentos de reconhecimento incorreto (azul, preto e rosa), quando o sistema os confundiu com outros movimentos.

**FIGURA 13.** Gráfico de segmentação. A primeira sequência representa como foram reconhecidos os movimentos pelo sistema. A segunda sequência representa o que foi realmente executado.



Fonte: Elaboração própria

## 4 DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivos verificar a validade e a confiabilidade de um sistema que utiliza o sensor *Microsoft Kinect* e um algoritmo no registro do tempo de execução do chute no *Taekwondo*; e verificar a acurácia de um sistema que utiliza o sensor *Microsoft Kinect* e um algoritmo no reconhecimento automático das atividades típicas de uma sessão de treinamento de *Taekwondo*.

Durante a pesquisa foram encontrados trabalhos que estudaram a performance de sistemas compostos pelo *Microsoft Kinect* e algoritmos diversos na análise e reconhecimento de movimentos.

### 4.1 Confiabilidade do sensor *Microsoft Kinect* na mensuração do tempo de chute

Os resultados do presente estudo apresentaram altos valores de Coeficiente de Correlação Intraclasse ( $CCI_{2,1}$ ), com uma classificação de boa para excelente (0,912 – 0,971), entre os dados coletados pelo *Microsoft Kinect* para tempo de chute. Estes resultados se apresentaram superiores aos trabalhos encontrados na literatura que analisaram a confiabilidade do *Microsoft Kinect* em medidas cinemáticas, como o estudo de Clark *et al.* (2012) que utilizou este sensor na análise do deslocamento de pontos anatômicos durante três testes de controle postural e obteve valores de CCI entre 0,40 a 0,89, sendo que na maior parte das medidas este valor foi superior a 0,70. Outro trabalho nesta linha foi o de Mentiplay *et al.* (2013), que teve como um dos objetivos verificar a confiabilidade do *Microsoft Kinect* na avaliação estática da posição dos pés e apresentou valores de CCI entre 0,62 e 0,78. Estes resultados encontrados no presente estudo são ainda mais promissores pois, diferentes dos trabalhos supracitados, os movimentos analisados foram realizados em alta velocidade de execução, o que é um desafio ainda maior para o sistema, dada a sua frequência de aquisição.

## 4.2 Validade do sensor *Microsoft Kinect* na mensuração do tempo de chute

No que diz respeito à validade, a discussão será realizada em duas etapas. Em um primeiro momento os resultados de correlação obtidos serão discutidos com a literatura por se tratar de um procedimento muito utilizado. Posteriormente, dada a limitação da utilização da correlação com posterior aplicação do teste t Pareado em procedimentos de validação (HOPKINS, 2004), os resultados obtidos da regressão linear serão discutidos.

Como resultado foi verificado que o sensor *Microsoft Kinect* apresentou elevada correlação com o *Optitrack* ( $r_{3m/s}=0,982$ ;  $p=0,001$  e  $r_{8m/s}=0,920$ ;  $p=0,001$ ) e boa capacidade de predição em ambas as velocidade de chute ( $R^2_{3m/s}=0,965$  ;  $R^2_{8m/s}= 0,847$ ).

Os resultados do presente estudo corroboram os trabalhos encontrados na literatura que investigaram a correlação entre dados cinemáticos coletados pelo *Microsoft Kinect* e aqueles coletados pelo sistema utilizado como padrão ouro como Clark *et al.* (2012) ( $r = 0,84$  a  $0,999$ ), Gabel *et al.* (2012) ( $r = 0,91$ ) e Yang *et al.* (2014) ( $r = 0,94$  a  $0,97$ ).

Apesar destes altos valores de correlação, foram encontradas diferenças significativas entre as médias de tempo de chute rápidos ( $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) obtidas pelo sistema testado e o padrão ouro ( $p=0,002$ ). Foi encontrado na literatura estudada o trabalho de Choppin e Wheat (2012) que também se ocupou em obter dados cinemáticos de movimentos rápidos utilizando o *Microsoft Kinect* identificou essa mesma fragilidade. No referido estudo os autores compararam os resultados do *Microsoft Kinect* com o sistema de captura de movimento *Motion Analysis Corporation – MAC (Motion Analysis Corporation, EUA)* para analisar os ângulos de ombro e cotovelo durante movimentos diversos e observaram que o erro aumentou muito para movimentos rápidos. Esta dificuldade com movimentos rápidos encontrada pelo *Microsoft Kinect* provavelmente se deva a sua taxa de amostragem (30 Hz), que é baixa para coletar informações de movimentos em alta velocidade. Taxas de amostragem entre 100 e 300 Hz são utilizadas na literatura e tem se mostrado mais adequadas para este tipo de movimento (DETJARENY *et al.*, 2012; FALCO *et al.*, 2011; KIM *et al.* 2011). Entretanto, conforme será discutido adiante, apesar da diferença significativa entre o tempo médio do chute registrado pelo *Microsoft Kinect* em relação ao *Optitrack*, a validade do *Microsoft Kinect* não fica comprometida.

Um importante aspecto a ser levado em consideração é que, apesar de ser uma prática comum na literatura (CLARK *et al.*, 2012; GABEL *et al.*, 2012; YANG *et al.*, 2014), a verificação da validade concorrente por meio da correlação de Pearson apresenta uma forte

limitação, já que o instrumento que se pretende validar pode apresentar um erro sistemático em relação ao padrão ouro, e tal viés não é capturado no cálculo do 'r' de Pearson (HOPKINS, 2004). Sendo assim, duas medidas podem ser altamente correlacionadas e ainda assim apresentarem uma diferença substancial no intervalo de mensuração dos valores. Outra prática comumente utilizada é a aplicação do teste t Pareado no sentido de verificar diferenças entre os valores médios obtidos pelos dois instrumentos, na expectativa de que não exista diferença entre as médias da variável registrada por eles. Novamente a presença do erro sistemático, que pode levar a diferenças significativas, é ignorada (HOPKINS, 2004). Neste sentido, o presente estudo buscou avançar nesse aspecto e utilizou além da correlação de Pearson e do teste t Pareado, o procedimento de regressão linear para verificar a validade, sem o viés inerente aos procedimentos mais comumente utilizados (HOPKINS, 2004).

Os resultados da predição para a velocidade de chute de  $3 \text{ m.s}^{-1}$  mostraram que o tempo do chute registrado no *Microsoft Kinect* explicou 96,5% da variância do tempo do chute registrado no *Optitrack*. O valor do coeficiente linear 'a' foi de 0,0174 e o coeficiente angular 'b' foi de 0,984. De acordo com Hopkins (2004), se os coeficientes 'a' e 'b' estiverem próximos a 0 e 1, respectivamente, isso indica que a medida do instrumento que se quer avaliar é não viesada, que é um dos aspectos da validade. Para a velocidade de chute de  $8 \text{ ms}^{-1}$  o *Microsoft Kinect* explicou 84,7% da variância do tempo do chute registrado no *Optitrack*. Os valores do intercepto 'a' e da inclinação 'b' foram de 0,336 e 0,886, respectivamente. Apesar dos coeficientes estimados estarem mais afastados dos sugeridos pela literatura, essa medida não deve ser levada em consideração de forma isolada. Segundo Hopkins (2004), medidas complementares como o erro padrão da estimativa (EPE) e a verificação da homocedasticidade dos resíduos tornam-se necessárias. No presente estudo, os valores de EPE que carregam a informação da magnitude dos resíduos, foram de 0,064s e 0,011s para as velocidades de chute de 3 e  $8 \text{ m.s}^{-1}$ , respectivamente. Valores pequenos de EPE indicam uma elevada acurácia de predição que no contexto do presente estudo significa dizer que as medidas dos dois instrumentos estão muito próximas. Finalmente, a hipótese de homocedasticidade das variâncias dos resíduos não foi rejeitada ( $p_{3\text{m/s}}=0,838$ ;  $p_{8\text{m/s}}=0,644$ ). Segundo Hopkins (2004), uma forma de visualizar se a distribuição dos resíduos (erro) é mantida constante (homocedasticidade) para todos os sujeitos seria por um gráfico de valores preditos *versus* resíduos, em que depois se ajustaria uma reta de regressão que teria inclinação próxima de zero. Em conjunto, o viés dos coeficientes, a magnitude e a homocedasticidade dos resíduos, contemplam todos os aspectos da validade de um instrumento.

Em resumo, os resultados de confiabilidade e validade de tempo de movimento obtido pelo sensor *Microsoft Kinect* podem trazer informações ao treinador sobre uma importante variável a ser monitorada no atleta de *Taekwondo* devido à característica da modalidade que é a velocidade de chute (JAKUBIAK e SAUNDERS, 2008; DETJARENY *et al.*, 2012, FALCO *et al.*, 2011; LEICHTWEIS *et al.*, 2012). Aliado a essas questões o sensor *Kinect* apresenta grandes vantagens sobre sistemas tradicionais de análise de movimento como baixo custo, simplicidade operacional, portabilidade e dispensa o uso de marcadores (CLARK *et al.*, 2012; GABEL *et al.* 2012).

### **4.3 Acurácia do *Microsoft Kinect* no Reconhecimento dos movimentos**

O presente estudo apresentou elevados resultados de acurácia no reconhecimento automático de movimentos, com um percentual médio de classificação correta de 89,91% e a matriz de confusão com percentual de acerto entre 85,23 e 93,81%. Estes valores estão coerentes com trabalhos encontrados na literatura que se ocuparam em determinar a acurácia de sistemas como o deste trabalho, compostos pelo *Microsoft Kinect* e algoritmos de reconhecimento, desenvolvidos para fazer reconhecimentos automáticos.

Preis *et al.* (2012), em seu trabalho, propuseram um sistema para reconhecimento de pessoas através da análise da marcha utilizando três diferentes classificadores e o *Microsoft Kinect* que utilizavam características diversas para este fim (estatura, tamanho de membro, velocidade da marcha, etc.) e conseguiram resultados de acurácia de até 91%.

Mais relacionado com o presente estudo, o estudo de Sung *et al.* (2011) propôs um algoritmo para reconhecimento automático de uma ampla variedade de movimentos humanos diários (escovar os dentes, ler, falar ao telefone, escrever no quadro, beber água, cozinhar, colocar lentes de contato, etc.) em diferentes ambientes domésticos (cozinha, banheiro, quarto, sala, etc.), e conseguiu uma acurácia média de 84,31%. Entretanto, devido à grande variedade de movimentos e ambientes, os valores apresentados na diagonal principal da matriz de confusão variaram muito (entre 8 e 92%).

Vieira *et al.* (2014) também propuseram em seu estudo um algoritmo de reconhecimento de movimentos humanos. Este foi o primeiro trabalho dentre os encontrados a

fazer reconhecimento automático de movimentos e incluir movimentos rápidos. Os resultados obtido apresentaram valores elevados de acurácia (entre 81,55 a 98,41%).

Apesar de o presente estudo apresentar valores de acurácia pouco menores que o trabalho de Vieira *et al.* (2014), eles são promissores por conseguirem diferenciar com uma elevada acurácia movimentos realizados com membros do lado direito e esquerdo, o que representa uma importante informação para ser quantificada por treinadores de *Taekwondo*.

Esses valores elevados de acurácia podem ser devidos à forma como são extraídas as características (poses chave) no algoritmo proposto por Faugeroux *et al.* (2014). O processo de caracterização de cada pose chave pelas coordenadas (x, y, z) de cada um dos nove pontos escolhidos resulta em uma métrica invariante no espaço euclidiano com 27 dimensões ( $R^{27}$ ), capaz de diferenciar os gestos realizados.

Não foram encontrados na literatura trabalhos que tentaram diferenciar movimentos dos membros do lado direito e esquerdo. Uma explicação para a diferença de valores de acurácia entre membros do lado esquerdo e direito encontrada no presente estudo pode ser devido à posição do sensor *Microsoft Kinect* durante as coletas. Por causa desse posicionamento, a diferença de profundidade entre os membros em relação ao sensor é pequena, o que pode representar um fator de confusão para ele, levando-o a algumas vezes a confundir os membros do lado esquerdo com os membros do lado direito e conseqüentemente ocasionar um reconhecimento errado por parte do algoritmo. Esse erro ocorre principalmente com os membros do lado esquerdo, pois quando estes realizaram os movimentos, eles tinham obrigatoriamente que passar entre o *Microsoft Kinect* e o membro do lado direito, criando então condições favoráveis a esta confusão por parte do sistema.

Em suma, os resultados encontrados no presente estudo trazem possibilidades importantes de acordo com a literatura pesquisada, como registro tempo de execução do chute (JAKUBIAK e SAUNDERS, 2008; DETJARENY *et al.*, 2012, FALCO *et al.*, 2011; LEICHTWEIS *et al.*, 2012) e registro das atividades realizadas (SZMUCHROWSKI e COUTO, 2012; IMPELLIZZERI *et al.*, 2004; DAY *et al.*, 2004).

Algumas limitações do presente estudo poderiam ser objeto de estudo de futuros trabalhos na área como: verificar a performance do *Microsoft Kinect* na obtenção de tempo de execução de outras técnicas de chute do *Taekwondo* e também de chutes realizados contra aparatos (como raquete ou saco de pancada), no reconhecimento de outras técnicas de chute de *Taekwondo* e também verificar a possibilidade de variação do posicionamento dos atletas em relação ao sensor.

## 5 CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo verificar a validade, confiabilidade e acurácia de um sistema composto pelo sensor *Microsoft Kinect* e algoritmos como ferramenta para registro das atividades realizadas em sessões de treino de *Taekwondo*. Os resultados obtidos apresentaram uma alta validade e confiabilidade no registro de tempo de movimento do chute de *Taekwondo*, incluindo movimentos lentos e rápidos. Além disso, o sistema apresentou uma elevada acurácia no reconhecimento das atividades de uma sessão de treinamento do *Taekwondo*, diferenciando inclusive movimentos realizados com membros do lado direito e esquerdo.

Os resultados mostraram que o sistema testado se apresenta como um caminho viável para desenvolvimento de uma ferramenta de registro automático de sessões de treinamento de *Taekwondo* que apresente alta validade, confiabilidade e acurácia como os sistemas mais utilizados de análise de movimento, porém apresentando importantes vantagens sobre estes sistemas como baixo custo, portabilidade, simplicidade operacional, possibilidade utilização em ambientes não laboratoriais e dispensa de utilização de marcadores reflexivos ou ativos.

Mais estudos nesta linha são necessários para verificar se o sistema é capaz de reconhecer corretamente uma maior variedade de movimentos, se seu desempenho varia de acordo com o posicionamento do *Microsoft Kinect* durante as coletas e também ficar atento às novas versões do *Microsoft Kinect* que possam apresentar uma taxa de amostragem maior, com intuito de minimizar o problemas com movimentos rápidos.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A., COSTA, M., PAOLUCCI, L. A new training algorithm using artificial neural networks to classify gender-specific dynamic gait patterns. **Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering**. Jun 14 2013.
- BAKER, R. Gait analysis methods in rehabilitation. **Journal of neuroengineering and rehabilitation**, 2006.
- BEGG, R.; KAMRUZZAMAN, J. A machine learning approach for automated recognition of movement patterns using basic, kinetic and kinematic gait data. **Journal of Biomechanics**, v. 38, p. 401-408, 2005.
- BORRESEN, J.; LAMBERT, M. The quantification of training load, the training response and the effect on performance. **Sports Medicine**, v. 39, n. 9, p. 779-795, 2009.
- BRIDGE, C.; SANTOS, J.; CHAABÈNE, H.; PIETER, W.; FRANCHINI, E. Physical and physiological profiles of taekwondo athletes. **Sports Medicine**, n. 44, p. 713-733, 2014.
- CHOPPIN, S.; WHEAT, J. Marker-less tracking of human movement using Microsoft Kinect. **Annals of 30th Annual Conference of Biomechanics in Sports**, p.231-234, 2012.
- CLARK, R.; PUA, Y.; FORTIN, K.; RITCHIE, C.; WEBSTER, K.; DENEHY, L.; BRYANT, A. Validity of the Microsoft Kinect for assessment of postural control. **Gait & Posture**, v.36, p.372–377, 2012.
- CLAUDINO, J.; MEZÊNCIO, B.; SONSIN, R.; FERREIRA, J.; COUTO, P.; SZMUCHROWSKI, L. Pre vertical jump performance to regulate the training volume. **International Journal of Sports Medicine**, v.13, p.101-7, 2012.
- CORAZZA, S. MUNDERMANN, L.; CHAUDHARI, A.; DEMATTIO, T.; COBELLI, C.; ANDRIACCHI, T. A markerless motion capture system to study musculoskeletal biomechanics: visual hull and simulated annealing approach. **Annals of biomedical engineering**, v.34, n.6, p.1019-1029, 2006.
- CORMACK, S.; NEWTON, R.; MCGUIGAN, M. Neuromuscular and endocrine responses of elite players to an Australian rules football match. **International Journal of Sports Physiology & Performance**, v. 3, n. 3, 2008.
- DAY, M.; MCGUIGAN, M.; BRICE, G.; FOSTER, C. Monitoring exercise intensity during resistance training using the session RPE scale. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.18, n.2, p.353–358, 2004.

DETJARENY, T.; LIMROONGREUNGRAT, W.; SINPHURMSUKSKUL, O.; PINTHONG, M. Kinematic Differences of Taekwondo Roundhouse Kick Between Thailand National and Youth National Athletes. **Proceeding of the 30<sup>o</sup> Annual Conference of Biomechanics in Sports**, p. 185-188, 2012.

ELGENDI, M.; PICON, F.; MAGNENAT-THALMANN, N. Real-time speed detection of hand gesture using Kinect. In: Springer (ed.) **Proceedings of the Autonomous Social Robots and Virtual Humans Workshop**, 25th Annual Conference on Computer Animation and Social Agents, 2012.

FALCO, C.; ESTEVAN, I.; VIETEN, M. Kinematical analysis of five different kicks in Taekwondo. **Proceeding of the 29<sup>o</sup> International Conference on Biomechanics in Sports**, p. 219-222, 2011.

FAUGEROUX, R.; VIEIRA, T.; MARTINEZ, D.; LEWINER, T. Simplified training for gesture recognition. **XXVII Conference on Graphics, Patterns and Images**, p. 133–140, 2014.

FOSTER, C.; FLORHAUG, J.; FRANKLIN, J.; GOTTSCHALL, L.; HROVATIN, L.; PARKER, S.; DOLESHAL, P.; DODGE, C. A new approach to monitoring exercise training. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 15, n. 1, p. 109-115, 2001.

FOWLES, J. Technical issues in quantifying low-frequency fatigue in athletes. **International Journal of Sports Physiology**, v. 1, p. 169-171, 2006.

GABEL, M.; GILAD-BACHRACH, R.; RENSHAW, E.; SCHUSTER, A. Full body gait analysis with Kinect. In: **Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2012 Annual International Conference of the IEEE**, p.964-967, 2012.

HADDAD, M.; CHAOUACHI, A.; CASTAGNA, C.; WONG, D.; BEHM, D.; CHAMARI, K. The Construct Validity of Session RPE During an Intensive Camp in Young Male Taekwondo Athletes. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 6, 252-63, 2011.

HOPKINS, W. Bias in Bland-Altman but not regression validity analyses. **Sportscience**, n. 8, p. 42-6, 2004.

IMPELLIZZERI, F. M.; RAMPININI, E.; MARCORA, S. M. Physiological assessment of aerobic training in soccer. **Journal of Sports Science**, London, v. 23, n. 6, p. 583-592, 2005.

IMPELLIZZERI, F.; RAMPININI, E.; COUTTS, A.; SASSI, A.; MARCORA, S. Use of RPE-Based Training Load in Soccer. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, 36, p. 1042-1047, 2004.

JAKUBIAK, N.; SAUNDERS, D. The feasibility and efficacy of elastic resistance training for improving the velocity of the Olympic Taekwondo turning kick. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 22, n. 4, p. 1194-1197, 2008.

KAZEMI, M.; PERRI, G.; SOAVE, D. A profile of 2008 Olympic Taekwondo competitors. **The Journal of the Canadian Chiropractic Association**, v. 54, p. 243-249, 2009.

KETTNER, L. Using generic programming for designing a data structure for polyhedral surfaces. **Computational Geometry**, v. 13, p. 65-90, 1999.

KIM, Y.; KIM, Y.; IM, S. Inter-joint coordination in producing kicking velocity of Taekwondo kicks. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 10, p. 31-38, 2011.

LAMBERT, M.; BORRESEN, J. Measuring Training Load in Sports. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, n.5, p. 406-401, 2010.

LEICHTWEIS, M.; ANTUNEZ, B.; XAVIER, B.; VECCHIO, F. Efeitos de diferentes protocolos de treinamento no tempo para executar chute no Taekwondo. **Arquivos de Ciência do Esporte**, v.1 n.1 p.37-45, 2012.

MENTIPLAY, B.; CLARK, R.; MULLINS, A.; BRYANT, A.; BARTOLD, S.; PATERSON, K. Reliability and validity of the Microsoft Kinect for evaluating static foot posture. **Journal of Foot and Ankle Research**, 6, p. 14, 2013.

MENZEL, H. CHAGAS, M.; SZMUCHROWSKI, L.; ARAUJO, S.; ANDRADE, A.; JESUS, F. Analysis of Lower Limb Asymmetries by Isokinetic and Vertical Jump Tests in Soccer Players. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 27, n. 5, p. 1370-1377, 2013.

MORTATTI, A.; COELHO, A.; COSTA, E. Monitoramento da Carga Interna de Treinamento, Tolerância ao Estresse e Ocorrência de Infecções em Jovens Atletas de Futebol. **Revista da Educação Física**, v. 25, n. 4, p. 629-638, 2014.

PREIS, J.; KESSEL, M.; WERNER, M. Gait recognition with Kinect. In: **1st International Workshop on Kinect in Pervasive Computing**. 2012.

ROBERTSON, G.; CALDWELL, G.; HAMILL, J.; KAMEN, G.; WHITTLESEY, S. **Research Methods in Biomechanics**. Human Kinetics, 2004.

SCHMITZ, A.; YE, M.; SHAPIRO, R.; YANG, R.; NOEHREN, B. Accuracy and repeatability of joint angles measured using a single camera markerless motion capture system. **Journal of Biomechanics**, v.47, p.587-591, 2014.

SCOTT, T.; BLACK, C.; QUINN, J.; COUTTS, A. Validity and reliability of the session-RPE method for quantifying training in Australian football: a comparison of the CR10 and CR100 scales. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 27, p. 270-276, 2013.

SMITH, D. A Framework for Understanding the Training Process Leading to Elite Performance. **Sports Medicine**, 33, p. 1103-1126, 2003.

SUNG, J.; PONCE, C.; SELMAN, B.; SAXENA, A. Human activity detection from rgb-d images. In: **AAAI workshop on Pattern, Activity and Intent Recognition**, 2011.

SZMUCHROWSKI, L.; CLAUDINO, J.; ALBUQUERQUE NETO, S.; MENZEL, H.; COUTO, B. Determinação do número mínimo de saltos verticais para monitorar as respostas ao treinamento pliométrico. **Motricidade**, v. 8, 2012.

SZMUCHROWSKI, L.; COUTO, B. in: SAMULSKI, D.; MENZEL, H.; PRADO, L. **Treinamento Esportivo**. São Paulo: Manole, 2012. Cap. 1, p. 1-26.

THOMAS, J.; NELSON, J.; SILVERVAN, S. **Research Methods in Physical Activity**. 5. ed. Champaign: Human Kinetics, 2005.

VIEIRA, A.; NASCIMENTO, E.; OLIVEIRA, G.; LIU, Z.; CAMPOS, M. On the improvement of human action recognition from depth map sequences using Space-Time Occupancy Patterns. **Pattern Recognition Letters** v.36, p.221-227, 2014.

VIETEN, M.; SCHOLZ, M.; KILANI, H.; KOHLOEFFEL, M. Reaction time in Taekwondo. **Proceeding of the 25° International Symposium on Biomechanics in Sports**, p. 293-296, 2007.

VINCENZO, M.; FERDINANDO, I.; IMPELLIZZERI, F.; D'OTTAVIO, S.; CASTANGNA, C. Relation between individualized training impulses and performance in distance runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.41, p.2090-2096, 2009.

WALLACE, L.; SLATTERY, K.; COUTTS, A. A comparison of methods for quantifying training load: relationships between modelled and actual training responses. **European journal of applied physiology**, v. 114, n. 1, p. 11-20, 2014.

WEIR, J. Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 19, n. 1, p. 231-240, 2005.

YANG, Y.; PU, F.; LI, Y.; LI, S.; FAN, Y.; LI, D. Reliability and Validity of Kinect RGB-D Sensor for Assessing Standing Balance. **IEEE Sensors Journal**, v. 14, n. 5, p. 1633-1638, 2014.

ZAKHAROV, A.; GOMES, A. **Ciência do treinamento desportivo**. Rio de Janeiro: Grupo Palestra Sport, 1992.

## APÊNCIDES

### Apêndice 1 – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

**Pesquisa:** “VALIDADE, CONFIABILIDADE E ACURÁCIA DO *MICROSOFT KINECT* PARA REGISTRO DE SESSÃO DE TREINAMENTO DE *TAEKWONDO*”.

#### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

##### INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA

O Laboratório de Biomecânica (BIOLAB) convida você para participar de um estudo a ser realizado pelo Programa de Pós-graduação em Ciências do Esporte da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO), na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), sob a coordenação do Prof. Dr. ANDRÉ GUSTAVO PEREIRA DE ANDRADE e pelo aluno CRISTIANO ARRUDA GOMES FLÔR. Os objetivos deste estudo são verificar a validade e a confiabilidade de um sistema que utiliza o sensor *Microsoft Kinect* e dois algoritmos para registrar automaticamente o tempo de duração do chute *ap chagui* e também verificar a acurácia deste mesmo sistema para reconhecer automaticamente as atividades realizadas durante uma sessão de treinamento de *Taekwondo*. Como participante voluntário, você tem todo direito de recusar sua participação ou retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa sem prejuízos acadêmicos ou sociais por essa recusa ou desistência em participar, e nenhuma identificação enquanto voluntário desistente.

As coletas de dados serão realizadas em local apropriado em 2 dias distintos. A duração destas coletas variará entre os dias, mas nunca excederá 1 hora. Você será sempre acompanhado por um dos responsáveis pela pesquisa. No período da coleta você deverá realizar atividades inerentes a um treino individual de *Taekwondo* (*step*, chutes em um alvo e chutes sem alvo) enquanto seus movimentos serão registrados por diferentes equipamentos de filmagem para posterior análise dos dados. Todos os teus dados pessoais não serão publicados em hipótese alguma. Somente os pesquisadores responsáveis e equipe envolvida neste estudo terão acesso a estas informações que serão utilizadas apenas para fins desta pesquisa.

Você não terá qualquer forma de remuneração financeira nem despesas relacionadas ao estudo e apenas estará exposto a riscos inerentes a uma atividade do seu cotidiano, além de possível desconforto, constrangimento, vergonha e embaraço. Por outro lado, sua participação nesta pesquisa proporcionará benefícios como produção e disseminação de conhecimento através de artigos científicos que serão gerados, ajudando no processo de trabalho de treinadores de *Taekwondo*.

Além disso, em qualquer momento da pesquisa, se você tiver alguma dúvida sobre o projeto, poderá contatar o professor Dr. André Gustavo Pereira de Andrade pelo telefone (0xx31) 3409-2359. Para qualquer problema ético, poderá entrar em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (COEP-UFMG), pelo telefone (0xx31) 3409-4592 ou pelo endereço Av.

Presidente Antônio Carlos, 6627, Unidade Administrativa II – 2º andar, sala: 2005 31270-901 BH – MG. Uma via do presente termo ficará com o voluntário e outra com o pesquisador responsável.

Eu \_\_\_\_\_, voluntário, tive minhas dúvidas respondidas e aceito participar desta pesquisa. Portanto, concordo com tudo que foi acima citado e livremente dou o meu consentimento.

Belo Horizonte, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2015.

\_\_\_\_\_  
Assinatura do Responsável

\_\_\_\_\_  
Assinatura do Voluntário

## Apêndice 2 – Termo de Assentimento Livre e Esclarecido

### TERMO DE ASSENTIMENTO

Convidamos você a participar do projeto intitulado “VALIDADE, CONFIABILIDADE E ACURÁCIA DO *MICROSOFT KINECT* PARA REGISTRO DE SESSÃO DE TREINAMENTO DE *TAEKWONDO*”, sob a coordenação do Professor Dr. André Gustavo Pereira de Andrade e pelo aluno Cristiano Arruda Gomes Flôr.

#### **OBJETIVOS DA PESQUISA:**

Verificar a validade e a confiabilidade de um sistema que utiliza o sensor *Microsoft Kinect* e dois algoritmos para registrar automaticamente o tempo de duração do chute *ap chagui* e também verificar a acurácia deste mesmo sistema para reconhecer automaticamente as atividades realizadas durante uma sessão de treinamento de *Taekwondo*.

#### **PROCEDIMENTOS:**

As coletas de dados serão realizadas em local apropriado em 2 dias distintos. A duração destas coletas variará entre os dias, mas nunca excederá 1 hora. Você será sempre acompanhado por um dos responsáveis pela pesquisa. No período da coleta você deverá realizar atividades inerentes a um treino individual de *Taekwondo* (*step*, chutes em um alvo e chutes sem alvo) enquanto seus movimentos serão registrados por diferentes equipamentos de filmagem para posterior análise dos dados. Todos os seus dados pessoais não serão publicados em hipótese alguma. Somente os pesquisadores responsáveis e equipe envolvida neste estudo terão acesso a estas informações que serão utilizadas apenas para fins desta pesquisa.

As coletas ocorrerão na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. EEFFTO/UFMG.

#### **RISCOS E BENEFÍCIOS:**

Você apenas estará exposto a riscos inerentes a uma atividade do seu cotidiano (típicas de uma sessão de treino de *Taekwondo*), além de possível desconforto, constrangimento, vergonha e embaraço. Neste caso, ou por qualquer outro motivo, você poderá retirar sua participação sem qualquer penalidade ou prejuízo. Por outro lado, sua participação nesta pesquisa proporcionará benefícios como produção e disseminação de conhecimento através de artigos científicos que serão gerados, ajudando no processo de trabalho de treinadores de *Taekwondo*.

#### **CONFIDENCIALIDADE DOS DADOS:**

Todos os dados de cada voluntário são confidenciais, sendo que sua identidade não será revelada publicamente em hipótese alguma e somente os pesquisadores envolvidos neste estudo terão acesso a estas informações que serão utilizadas para fins de pesquisa. Os resultados ficarão arquivados no Laboratório de Biomecânica da EEFFTO/UFMG. Você dispõe de total liberdade para esclarecer questões que possam surgir durante o andamento da pesquisa.

Para participar deste estudo, o responsável por você deverá autorizar e assinar um termo de consentimento. Você não terá nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Você será esclarecido(a) em qualquer aspecto que desejar e estará livre para participar ou recusar-se. O responsável por você poderá retirar o consentimento ou interromper a sua participação a qualquer momento. A sua participação é voluntária e a recusa em participar não acarretará qualquer penalidade ou modificação na forma em que é atendido(a) pelo pesquisador que irá tratar a sua identidade com padrões profissionais de sigilo. Você não será identificado em nenhuma publicação.

Qualquer dúvida, por favor, entre em contato com os pesquisadores responsáveis pelo estudo através do telefone do Laboratório de Biomecânica (BIOLAB) 3409-2359. Caso tenha dúvidas em relação aos aspectos éticos da pesquisa o Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG poderá ser consultado ou acionado - Comitê de Ética em Pesquisa (COEP) 3409-4592. Você poderá recusar-se a participar deste estudo e/ou abandoná-lo a qualquer momento, sem precisar se justificar. Você também deve compreender que os pesquisadores podem decidir sobre a sua exclusão do estudo por razões científicas, sobre as quais você será devidamente informado.

Eu, \_\_\_\_\_, portador(a) do documento de Identidade \_\_\_\_\_, fui informado(a) dos objetivos do presente estudo de maneira clara e detalhada e esclareci minhas dúvidas. Sei que a qualquer momento poderei solicitar novas informações, e o meu responsável poderá modificar a decisão de participar se assim o desejar. Tendo o consentimento do meu responsável já assinado, declaro que concordo em participar desse estudo. Recebi uma cópia deste termo de assentimento e me foi dada a oportunidade de ler e esclarecer as minhas dúvidas.

Belo Horizonte, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20 \_\_\_\_ .

---

Assinatura do(a) menor

Declaro que expliquei os objetivos deste estudo para o voluntário, dentro dos limites dos meus conhecimentos científicos.

---

Pesquisador: Dr. André Gustavo Pereira de Andrade

Pesquisador: Dr. André Gustavo Pereira de Andrade

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional.

Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 – Campus Pampulha – Belo Horizonte, MG

CEP 31270-901

Tel.: (31)3409-2359

Em caso de dúvidas com respeito aos aspectos éticos deste estudo, você poderá consultar:

COEP – Comitê de Ética em Pesquisa

Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Unidade Administrativa II – 2o andar – Sala 2005

Campus Pampulha – Belo Horizonte, MG

CEP: 31270.901

E-mail: [coep@prpq.ufmg.br](mailto:coep@prpq.ufmg.br)

Telefax: (31) 3409-4592.

