UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Programa de Pós-Graduação em Ciências do Esporte

Natália Scalabrini Taurinho

VALIDADE E CONFIABILIDADE DO SENSOR INERCIAL DE BAIXO CUSTO NO AMBIENTE DE PRÁTICA E TREINAMENTO ESPORTIVO DO VOLEIBOL

Belo Horizonte
2022

Natália Scalabrini Taurinho

VALIDADE E CONFIABILIDADE DO SENSOR INERCIAL DE BAIXO CUSTO NO AMBIENTE DE PRÁTICA E TREINAMENTO ESPORTIVO DO VOLEIBOL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Esporte, da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial a para a obtenção do título de Mestra em Ciências do Esporte.

Linha de Pesquisa: Análise de métodos para o desempenho humano esportivo

Orientador: Prof. Dr. André Gustavo Pereira de Andrade

Belo Horizonte

2022

T227v Taurinho, Natália Scalabrini
2022 Validade e confiabilidade do sensor inercial de baixo custo no ambiente de prática e treinamento esportivo do Voleibol [recurso eletrônico] / Natália Scalabrini Taurinho – 2022.
1 recurso online (78 f. : il.) : pdf.

Orientador: André Gustavo Pereira de Andrade

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

Inclui bibliografia

1. Voleibol – Teses. 2. Voleibol – Treinamento técnico – Teses. 3. Cinemática – 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 bibliotecária Sheila Margareth Teixeira Adão, CRB 6: n° 2106, da Biblioteca da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA, FISIOTERAPIA E TERAPIA OCUPACIONAL
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO ESPORTE

ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

NATÁLIA SCALABRINI TAURINHO

Às **09:00 horas** do dia **18 de novembro de 2022**, reuniu-se por videoconferência a Comissão Examinadora de Dissertação, indicada pelo Colegiado do Programa para julgar, em exame final, o trabalho intitulado "**Validade e confiabilidade do sensor inercial de baixo custo no ambiente de prática e treinamento esportivo do Voleibol".** Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, Prof. Dr. André Gustavo Pereira de Andrade (UFMG), orientador, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra para a candidata, para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa da candidata. Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença da candidata e do público, para julgamento e expedição do resultado.

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. André Gustavo Pereira de Andrade (ORIENTADOR) - EEFFTO/UFMG
Prof. Dr. Mauro Heleno Chagas (MEMBRO TITULAR) - EEFFTO/UFMG
Prof. Dr. Juliano Dal Pupo - UFSC

Após as indicações a candidata foi considerada: **APROVADA**

O resultado foi comunicado publicamente para a candidata pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora.

Belo Horizonte, 18 de novembro de 2022.

Documento assinado eletronicamente por **Gustavo Pereira Cortes**, **Diretor(a) de unidade**, em 29/11/2022, às 16:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Juliano Dal Pupo**, **Usuário Externo**, em 30/11/2022, às 20:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Andre Gustavo Pereira de Andrade**, **Coordenador(a) de curso de pós-graduação**, em 16/03/2023, às 08:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Mauro Heleno Chagas**, **Membro**, em 16/03/2023, às 17:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1927731** e o código CRC **EBCED8E6**.

Referência: Processo nº 23072.269996/2022-41 SEI nº 1927731

Dedico esse trabalho aos meus pais, irmão, tias, família e amigos que me apoiaram nesse processo. E também a quem me pediu essa conclusão como presente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por me dar as oportunidades e me guiar em minhas escolhas.

Agradeço à minha família. Especialmente aos meus pais que me deram e me dão todo o suporte em tudo e para tudo, vocês sempre serão minha base. Agradeço às minhas tias, que ficaram mais felizes do que eu pela continuidade dos estudos e que me incentivaram de todos os jeitos, seja com uma fala, com uma dose extra de energia, através dos chocolates da Jaca ou pelo empréstimo do computador da Rose. Agradeço ao Mininu, meu irmão, que hoje mesmo de longe tenho certeza de que está feliz por mim. Agradeço aos meus avós que me dão todo o carinho mesmo sem entender esse processo, mas tenho certeza que um dia isso tudo fará sentido. Amo todos vocês!

Obrigada aos meus amigos, que não me deixaram desistir do meio para o final e que possuem cada um a sua parcela de contribuição nesse processo. Camila e Eder, mais que amigos vocês são família. Agradeço de coração todo o amor e puxões de orelha que recebi. Bella, muito obrigada por estar sempre presente, mesmo eu estando sempre em falta com você. Ju Pintinha e Vene, sem saber vocês me colocaram de volta nas quadras em um momento tão necessário. E foi das quadras que reapareceu uma antiga amizade, que de treinador se tornou colega de mestrado. A você Elano, só posso agradecer toda a parceria nesses dois anos de muito aprendizado.

Unidas pela UFMG desde 2009, para minha panela me faltam palavras. Ju, Fusca e Jeje, amo vocês como amo a poucas pessoas desse mundo. Muito obrigada por tudo e por sempre serem meu apoio!

Um agradecimento mais que especial a você que fez isso ser possível, que criou sonhos e me fez chegar até aqui. Hoje o presente está entregue.

Ao André, só posso agradecer por todo apoio que recebi, seja ele acadêmico ou pessoal. Você é um ser humano gigante, tanto por fora quanto por dentro. Espero de alguma forma poder retribuir todo o carinho e entendimento com meus problemas pessoais e dificuldades apresentadas. Infelizmente o propósito pelo qual ingressei nesse processo hoje já não é realidade, mas tenho certeza que um dia tudo vai fazer e ter sentido.

Obrigada Gis e Giovana pela noite de ajustes urgentes com os equipamentos e pelos esclarecimentos em dias e horários nada comerciais. Agradeço ao Raffi pelo empréstimo do sensor inercial e ao Felipe pela reunião esclarecedora no início das análises. Sara, você jamais poderia ficar de fora, agradeço por toda ajuda, colo e disponibilidade de sempre.

Agradeço ao Olympico pelos materiais, equipamentos e disponibilidade. Agradeço aos atletas que foram muito mais que voluntários, demonstrando total interesse e apoio nas coletas. Agradeço ao Ediney por tantas conversas e histórias no Vôlei e também pelo auxilio com os atletas, assim como feito pelos demais treinadores, Carol e Giovanni. Muito obrigada Mateus, por toda a parceria nas coletas e nas conversas. Sofia, você foi muito mais que chefe e colega de profissão, você é uma amiga para todas as horas e aqui fica meu agradecimento especial, por todas as liberações para aulas, coletas e reuniões no horário de trabalho, sem isso e sem todo o apoio e carinho não seria possível concluir esse processo. Muito obrigada a todos os amigos do meu “lado de cá do muro de Berlim”.

Agradeço ao Minas e ao Breno pelas liberações nos momentos finais de escrita e apresentação. Sem deixar de mencionar os meus amigos de sala aos quais agradeço por todos os momentos de descontração, de atividade física, de sorvetinhos e encontros que me ajudam tanto.

Como o choro precisa cessar, finalizo agradecendo a todos que de alguma forma contribuíram da melhor maneira possível para minha formação!

“Se não for hoje, um dia será. Algumas coisas, por mais impossíveis e malucas que pareçam, a gente sabe, bem no fundo, que foram feitas para um dia dar certo”

Caio Fernando Abreu

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi verificar a validade e confiabilidade do sensor inercial de baixo custo para a mensuração da altura em saltos verticais padronizados, saltos de bloqueio com e sem passada lateral e saltos de ataque (*step close*) do voleibol no ambiente de prática esportiva. Participaram do estudo 64 jogadores de voleibol, do sexo masculino e feminino com idade entre 15 e 18 anos. Esses atletas realizaram, em dois momentos distintos, tarefas de saltos verticais padronizados e um circuito de ações específicas do voleibol. Para mensuração da performance nos saltos foram utilizados o sensor inercial, o tapete de contato e a câmera de ação. A validade concorrente foi verificada por meio do procedimento de Bland-Altman e a confiabilidade das medidas realizada através do Coeficiente de Correlação Intraclasse ($CCI_{2,k}$) e do erro padrão da medida (EPM). Em todas as análises o nível de significância adotado foi de 5%. Em ambas as análises de validade concorrente o viés não foi significativo pelo teste t de amostra única. Já os resultados de CCI foram significativos, considerados excelentes (valores > 0,9) e com baixos valores de EPM para todos os saltos. Conclui-se que os sensores inerciais de baixo custo são válidos e confiáveis para verificar a mensuração da altura de saltos verticais agachado e com contramovimento, assim como de saltos de bloqueio com e sem passada lateral e de ataque em ambiente de prática esportiva.

Palavras-chave: unidade de medida inercial; altura de salto; saltos verticais; salto de bloqueio; salto de bloqueio com passada lateral; step close.

ABSTRACT

The aim of the present study was to verify the validity and reliability of the low cost inertial sensor for the measurement of height in standardized vertical jumps, blocking jumps with and without side step and attack jumps (step close) of volleyball in the environment of sports practice. Sixty four male and female volleyball players aged between 15 and 18 years participated in the study. These athletes performed, at two different moments, standardized vertical jump tasks and a circuit of specific volleyball skills. To measure the performance in the jumps, an inertial sensor, a contact mat and an action camera was used. Concurrent validity was verified using the Bland-Altman procedure, and the reliability of measurements was performed using the Intraclass Correlation Coefficient ($ICC_{2.k}$) and the standard error of the measurement. In all analyses, the significance level adopted was $\alpha<0.05$. In both concurrent validity analyses, bias was not significant by the single-sample t test. On the other hand, the ICC results were significant, considered excellent (values > 0.9), and with low EPM values for all jumps. We conclude that low-cost inertial sensors are valid and reliable to verify the measurement of the height of crouching and counter-movement vertical jumps, as well as blocking jumps with and without side step and attack jumps in a sports practice environment.

Keywords: inertial measurement unit; jump height; vertical jumps; block jump; block jump with side step; step close.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Delineamento do estudo 28

Figura 2 – Procedimentos do estudo 29

Figura 3 – Instrumentos utilizados para avaliação antropométrica **-** balança antropométrica (A) e adipômetro (B) 30

Figura 4 – Cinto elástico com sensor acoplado 31

Figura 5 – Fases do salto vertical agachado 33

Figura 6 – Fases do salto vertical com contramovimento 34

Figura 7 – Espaço de coleta do circuito de ações específicas do Voleibol 35

Figura 8 – Descrição do circuito de ações específicas do Voleibol 36

Figura 9 – Salto de bloqueio no circuito de ações específicas do Voleibol 36

Figura 10 – Salto de bloqueio com passada lateral deslizante para esquerda no circuito de ações específicas do Voleibol 37

Figura 11 – Salto de bloqueio com passada lateral cruzada para direita no circuito de ações específicas do Voleibol 37

Figura 12 – Salto de ataque no circuito de ações específicas do Voleibol 37

Figura 13 – Sensor inercial utilizado na coleta, composto por acelerômetro, giroscópio e magnetômetro 39

Figura 14 – Tapete de contato *Cefise* com *software Jump System 1.0* 40

Figura 15 – Câmera GoPro Hero 8 Black® 40

Figura 16 – Comparação dos gráficos de aceleração com e sem filtro de médias móveis do SA 41

Figura 17 – Comparação dos gráficos de aceleração com e sem filtro de médias móveis do SCM 42

Figura 18 – Comparação dos gráficos de aceleração com e sem filtro de médias móveis do circuito de Vôlei 42

Figura 19 – Gráfico de aceleração do SA com explicação sobre a definição do cálculo da altura do salto 44

Figura 20 – Gráfico de aceleração do SCM com explicação sobre a definição do cálculo da altura do salto 45

Figura 21 – Gráfico de aceleração do circuito com explicação sobre a definição do cálculo das alturas dos SB e SBL 46

Figura 22 – Gráfico de aceleração do circuito com explicação sobre a definição do cálculo da altura do SAT 47

Figura 23 – Momento de perda de contato com o solo em um salto de ataque 49

Figura 24 – Momento de retomada de contato com o solo em um salto de bloqueio com passada lateral para esquerda 49

Figura 25 – Gráfico de Bland-Altman da altura do salto mensurada pelo tapete de contato e sensores inerciais no SA (n=53) 54

Figura 26 – Gráfico de Bland-Altman da altura do salto mensurada pelo tapete de contato e sensores inerciais no SCM (n=53) 54

Figura 27 – Gráfico de Bland-Altman da altura do salto mensurada pela análise de vídeo e sensores inerciais no SB (n=27) 55

Figura 28 – Gráfico de Bland-Altman da altura do salto mensurada pela análise de vídeo e sensores inerciais no SBL (n=27) 56

Figura 29 – Gráfico de Bland-Altman da altura do salto mensurada pela análise de vídeo e sensores inerciais no SAT (n=27) 56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados descritivos da amostra em média (± desvio padrão) 26

Tabela 2 – Teste t e dados descritivos das alturas dos saltos verticais padronizados em centímetros (cm) 52

Tabela 3 – Teste t e dados descritivos das alturas dos saltos de bloqueio em centímetros (cm) 53

Tabela 4 – Resultados da análise de confiabilidade das medidas de altura dos SA e SCM mensuradas pelo tapete de contato e IMU de baixo custo (n=53) 57

Tabela 5 – Resultados da análise de confiabilidade da medida das alturas dos SB, SBL e SAT mensuradas pela análise de vídeo e IMU de baixo custo (n=27) 58

LISTA DE ABREVIATURAS

[µT]	-	Campo magnético
CCI	-	Coeficiente de correlação intraclasse
CEP	-	Comitê de Ética em Pesquisa
CG	-	Centro de gravidade
cm	-	Centímetros
dp	-	Desvio padrão
EPM	-	Erro padrão da medida
EPM%	-	Erro padrão da medida relativo
g	-	Aceleração gravitacional
H	-	Altura
H_0	-	Altura nas condições iniciais
Hz	-	Hertz
IC	-	Intervalo de confiança
Kg	-	Quilograma
M	-	Metro
IMU	-	Unidade de medição inercial
MMII	-	Membros inferiores
S	-	Segundo
SA	-	Salto agachado
SAT	-	Salto de ataque
SB	-	Salto de bloqueio
SBL	-	Salto de bloqueio com passada lateral
SCM	-	Salto com contramovimento
SV	-	Salto vertical
T	-	Tempo de voo
TALE	-	Termo de assentimento livre e esclarecido
TCLE	-	Termo de consentimento livre e esclarecido
UFMG	-	Universidade Federal de Minas Gerais
vo		Velocidade nas condições inicias
°	-	Ângulo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 17
1.1 Objetivos 24
1.2 Hipóteses 24
2. MATERIAIS E MÉTODOS 25
2.1 Aspectos Éticos 25
2.2 Amostra 25
2.3 Delineamento do estudo 27
2.4 Procedimentos 29
2.4.1 Primeira sessão de coleta 29
2.4.1.1 Saltos verticais padronizados 30
2.4.1.1.1 Salto agachado 32
2.4.1.1.2 Salto com contramovimento 33
2.4.2 Segunda sessão de coleta 34
2.4.2.1 Circuito de ações específicas do voleibol 35
2.4.3 Terceira sessão de coleta 38
2.4.4 Quarta sessão de coleta 38
2.5 Equipamentos 38
2.5.1 Sensor inercial 38
2.5.2 Tapete de contato e *software* 39
2.5.3 Câmeras de ação 40
2.6 Processamento de dados 41
2.6.1 Sensores inerciais 41
2.6.2 Análise de vídeos 48
2.7 Validade concorrente, validade ecológica e confiabilidade dos saltos 50
2.8 Análise estatística 51
3. RESULTADOS 52
3.1 Dados referente às variáveis do estudo 52
3.2 Validade concorrente entre tapete de contato e sensor inercial 53
3.3 Validade concorrente entre análise de vídeo e sensor inercial 55
3.4 Confiabilidade das medidas de altura do salto 57
4. DISCUSSÃO 59

4.1 Limitações e sugestões de estudos futuros 64
5. CONCLUSÃO 65
REFERÊNCIAS 66
ANEXOS.....70
APÊNDICES.....75

1. INTRODUÇÃO

O voleibol foi criado em 1895 e em 1957 se tornou um esporte olímpico, sempre passando por diversas alterações, tanto de regras, de materiais utilizados e também na forma táctica e técnica de ser praticado, buscando evoluir e se tornar mais atrativo tanto para os praticantes quanto para o público espectador (Santos Neto, 2004). Atualmente ele é praticado em todos os continentes com inúmeros praticantes no mundo. Essa é uma modalidade complexa de habilidades simples, com o objetivo de passar a bola por cima da rede para que ela aterrisse na quadra adversária e evitar que o mesmo seja realizado pelo adversário (FIVB, 2021). O voleibol se caracteriza por padrões de movimento curtos e explosivos, posicionamento ágil e rápido, realização de saltos e bloqueios (Sattler *et al*., 2015). Durante partidas e treinamentos, os atletas são submetidos a repetidos momentos de atuação em alta intensidade seguidos por períodos de baixa intensidade, que interligados à duração das partidas de voleibol, culmina na necessidade do atleta em ter uma boa capacidade atlética para realizar diferentes tarefas (Gabbett; Georgieff, 2007), sendo que a capacidade de salto para jogadores de voleibol é determinante no estado de desempenho físico. Portanto, a quantificação precisa dessa habilidade pode ser útil tanto para treinamento quanto para competição, pois o desempenho de atletas na prática dessa modalidade esportiva pode estar relacionado à habilidade de saltar em diferentes fundamentos do jogo (Gabbett; Georgieff, 2007).

Esper (2003) verificou que são realizados em média 78 saltos por set em partidas do sexo feminino e Berriel (2004), identificou a média de 117 por set e 470 saltos por partida no vôlei masculino, ambos estudos baseados nos modelos atuais das regras de *Rally Point System* (FIVB, 2021). Esse mesmo autor ainda verificou que dentre todas as técnicas do voleibol que utilizam os saltos, o de bloqueio foi o que apresentou a maior frequência durante as partidas, seguido pelo de saque em suspensão e de ataque (39,4% ações de bloqueio, 19,7% saque, 19,2% ataque, 13,6% levantamento e 8,1% de fintas). Neste sentido, a altura do salto vertical (SV) durante um salto de bloqueio (SB) representa potencialmente uma redução na eficácia do atacante oponente e a altura do salto vertical durante o saque ou ataque permite que o jogador realize contato com a bola acima da rede, permitindo melhores ângulos de ataque ou serviço (Sattler *et al*., 2015). Apesar de serem as

técnicas mais comuns realizadas durante as partidas, tanto o SB quanto o salto de ataque (SAT) possuem diferentes formas de realização. Por exemplo, no salto de bloqueio com passada lateral (SBL) os dois principais tipos de técnicas realizadas são o salto com passada deslizante e o salto com a passada cruzada, e no salto de ataque o *step close* é a variação mais comum da técnica (Wang *et al*., 2010). No salto de bloqueio com passada lateral deslizante para direita, o pé direito do atleta se desloca lateralmente e em seguida, o pé esquerdo acompanha o movimento finalizando com os pés próximos e o salto é executado. Já no salto de bloqueio com passada lateral cruzada para direita, o pé esquerdo inicia o movimento perto da rede, cruzando primeiro sobre o pé direito e em seguida o pé direito fecha o movimento cruzando por trás e com os pés juntos o salto é realizado (Lobietti, 2009). A técnica *step close* de salto de ataque, é caracterizada por uma alternância entre os apoios durante a fase de impulso, com um membro inferior se posicionando à frente do outro no plano sagital (Wang *et al*., 2010). Sendo assim, o monitoramento das atividades esportivas é um grande campo de aplicação de sistemas de reconhecimento de atividade humana e análise de atividades esportivas (Holzemann; Laerhoven, 2018).

Esses achados destacam a importância de desenvolver essas habilidades de salto no voleibol, as quais foram avaliadas em ambiente de prática esportiva no presente estudo. Lidor, Ziv (2010), destacam os saltos como habilidades de papel fundamental no voleibol, portanto, o treinamento desses atributos deve receber especial atenção da equipe técnica da modalidade. Esse tipo de análise pode ser feito de diferentes maneiras, através de vários testes realizados com equipamentos extremamente sofisticados ou maneiras mais simples (Sattler *et al*., 2012), sendo a integração de um sistema de câmeras de alta frequência de aquisição e plataformas de força a forma mais adequada para avaliação dos saltos verticais para assim obter as variáveis dinâmicas e cinemáticas a serem analisadas (Van Der Kruk; Reijne, 2018). Mas a utilização do padrão ouro supracitado para mensuração pode apresentar limitações de utilização como alto custo e baixa portabilidade, impedindo que treinadores e até mesmo pesquisadores tenham acesso a esses equipamentos. Assim, se faz necessário uma otimização de procedimentos que possibilitem feedback ao treinamento da forma mais rápida possível (Bobbert, 1990). Os métodos mais comuns de avaliação do desempenho do salto vertical durante o processo de treinamento são o teste de saltar e alcançar e os saltos realizados

sobre o tapete de contato (Menzel *et al.,* 2010). Para Macdonald *et al*. (2017), se um dispositivo pudesse capturar com precisão tanto a frequência de saltos quanto à altura do salto, ele poderia fornecer uma medida de campo individualizada da carga de salto, o que teria implicações significativas para a prevenção de lesões e condicionamento de força.

Nos últimos anos vem ocorrendo tentativas de melhorias técnicas relacionadas ao monitoramento de atividades esportivas e o desenvolvimento de novas tecnologias aplicadas às ciências do esporte, sendo considerável o desenvolvimento do comércio de tecnologia de dispositivo de rastreamento vestível, parcialmente responsável por essas melhorias (Adesida; Papi; Mcgregor, 2019; Wundersitz *et al*., 2015). Assim tem sido sugerida a utilização de implementos mais acessíveis, mas que sejam válidos e confiáveis para realizar uma medição no ambiente de prática esportiva. De acordo com Thomas, Nelson e Silvervan (2012), uma ferramenta válida é aquela que mede realmente o que se propõe a medir. Já a confiabilidade se refere à consistência ou reprodutibilidade de uma medida (Paula, *et al*., 2012).

Adesida, Papi e Mcgregor (2019) colocam a tecnologia vestível como uma ferramenta alternativa de alto potencial tecnológico para observar atletas fora de um ambiente laboratorial, assim suprindo as limitações de uso em ambiente de prática natural de treinamento, podendo também fornecer feedback em tempo real. Existe uma gama de diferentes tipos de sensores inerciais com diferentes aplicações, capazes de, por exemplo, atuar na caracterização de movimentos angulares (Geraldo, 2020), identificar movimentos (Holzemann; Laerhoven, 2018), quantificar movimentos (Chambers *et al*., 2015; Macdonald *et al*., 2017), classificar atividades (Wundersitz et al., 2015), identificar o nível de habilidade e analisar a técnica de movimento dos atletas (Macdonald *et al*., 2017; Picerno; Camomilla; Capranica, 2011).

No presente estudo foi utilizado um sensor inercial, também denominado unidade de medição inercial (IMUs) de baixo custo, que é um sistema que combina acelerômetros (que fornecem a aceleração [m/s^2]), giroscópios (para medição da velocidade angular [°/s]) e magnetômetros (que mensuram o campo magnético [μT]), permitindo a medição do movimento em três dimensões em tempo real (Macdonald *et al*., 2017). Assim é possível adquirir dados relativos ao movimento e medir a completa orientação no espaço (Adesida; Papi; Mcgregor, 2019; Yang; Hsu, 2010).

Diversos estudos (Adesida; Papi; Mcgregor, 2019; Picerno; Camomilla; Capranica, 2011 e Rantalainen; Finni; Walker, 2019), apresentam como vantagens do sensor inercial o fato de ser pequeno, leve, discreto, extremamente portátil, acessível e apresentar a tecnologia *wireless* (sem fio), características essas que permitem analisar movimentos durante a prática esportiva e facilitam a aquisição de dados fora do ambiente laboratorial com simplicidade operacional. Nesse contexto, a análise biomecânica dos saltos verticais tem utilizado a IMU (Picerno; Camomilla; Capranica, 2011; Macdonald *et al*., 2017; Borges *et al.*, 2017; Rantalainen, Finni; Walker, 2019) como forma de registro e monitoramento dos saltos.

No estudo realizado por Picerno, Camomilla e Capranica (2011), foi avaliado o desempenho do salto com contramovimento (SCM) por meio da análise cinemática 3D utilizando nove câmeras (*Vicon Motion Systems, Oxford, UK*) e um sensor inercial (*Sensorize, Rome, Italy*) localizado na vértebra L5, ambos com frequência de aquisição de 100Hz. O objetivo dos autores foi utilizar um sensor inercial para estimar a altura do SCM, tendo como referência valores obtidos pela análise cinemática 3D. Devido à rotação e inclinação do tronco do indivíduo durante o salto, o sensor inercial e seu sistema de coordenadas de referência se movem, sendo assim, os autores utilizaram uma correção no valor de aceleração vertical considerando o valor inicial de flexão do tronco, essa correção foi realizada por meio de uma matriz de rotação do sistema de referência local para o sistema de referência global. Os resultados mostraram que quando se considera a flexão e extensão do tronco, as alturas dos saltos tiveram uma alta correlação com a análise cinemática 3D (r = 0,87 e CCI = 0,83). Os autores concluíram que a estimativa da altura do salto com os sensores inerciais leva a resultados precisos quando as acelerações medidas são corrigidas para as rotações do tronco por meio das informações obtidas pelos giroscópios.

Macdonald *et al*. (2017) avaliaram, em laboratório, a confiabilidade e validade dos sensores inerciais para estimar a altura de saltos verticais em atletas de voleibol, usando como referência a análise cinemática 3D do movimento (padrão ouro). Um dos objetivos do estudo foi verificar a concordância entre a quantidade de saltos realizados em ambiente de prática esportiva, mensurados pelos sensores inerciais e a contagem visual da gravação de vídeo. O dispositivo identificou corretamente 96,8% dos saltos, se mostrando válido (viés = -2,0; $IC_{95\%}$: -4,2 a 0,2) para quantificação das demandas realizadas tanto em treinamento quanto em jogos.

Além disso, os autores verificaram a validade concorrente entre a IMU e o sistema de análise cinemática 3D. Importante destacar que o IMU subestimou o deslocamento vertical do centro de gravidade quando comparado com a análise de movimento 3D, especialmente para saltos submáximos. As diferenças médias para saltos máximos e submáximos foram de 2,5 cm ($IC_{95\%}$: 4,7 a 9,7) e 4,1 cm ($IC_{95\%}$: 2,9 a 11,1), respectivamente. Sendo assim, ainda existe uma lacuna na literatura no sentido de produzir medidas mais precisas em saltos submáximos.

Borges *et al.*, (2017) verificaram a validade e a confiabilidade do sensor inercial VERT em comparação com uma régua de parede padrão (VERTEC), em ambiente esportivo, para medir o desempenho dado pela altura do salto de ataque e de bloqueio em atletas. Os resultados do estudo mostraram que os escores medidos com o VERT superestimaram a variável critério em ~7,1% (salto de ataque) e ~8,2% (salto de bloqueio). Os autores concluíram que a IMU é uma ferramenta válida e confiável para quantificar as performances de ataque e bloqueio do voleibol em campo, porém sugerem que cuidados devem ser tomados quanto à generalização dos resultados.

O estudo de Rantalainen, Finni e Walker (2019), teve como objetivos, explorar se a utilização de uma nova abordagem analítica minimizaria o viés entre as estimativas de altura de salto medidas pelo IMU e pelo tapete de contato além de fornecer um tutorial completo ao cientista esportivo para facilitar a padronização da estimativa da altura do salto. Quarenta e um indivíduos com idades entre 6 e 77 anos completaram três saltos de contramovimento máximo com e sem o balanço dos braços, e os saltos foram registrados simultaneamente com um tapete de contato e uma IMU fixada na região lombar. Houve uma excelente concordância entre a altura de salto baseada na IMU e altura de salto medida no tapete de contato (média IMU 22,6 [8,3] cm, média tapete de contato 22,7 [8,9]), viés médio -0,1 cm (limites de concordância de 95% [−4,5 cm a 4,4 cm]; $p = 0,826$) e coeficiente de correlação intraclasse 0,97 ($IC_{95\%}$: 0,94 a 0,98, $p < 0,001$). Os autores concluem que os registros inerciais realizados com as IMUs usadas no quadril fornecem uma avaliação válida e confiável da altura do salto entre pessoas com capacidade atlética variável. No presente estudo, foi utilizado para mensuração dos saltos padronizados (SA e SCM) o tapete de contato e o sensor inercial de baixo custo para mensuração da validade concorrente baseado nos resultados de Rantalainen, Finni e Walker (2019).

No que diz respeito aos estudos supracitados que verificaram a validade e a confiabilidade da tecnologia de sensores inerciais para estimar a altura dos saltos verticais (Macdonald *et al*., 2017; Picerno; Camomilla; Capranica, 2011; Borges *et al.*, 2017; Rantalainen; Finni; Walker, 2019), duas limitações podem ser apontadas. A primeira se deve ao fato de que os estudos prévios utilizaram o sistema *Xsens Technologies* B.V. (Enschede, The Netherland) modelo que apresenta um custo médio de $1.000,00 (mil dólares) por unidade mais o software de análise que, em conjunto, levam a mesma limitação de alto custo reportada anteriormente para os sistemas de análise cinemática 3D. Neste sentido, o presente estudo utilizou um sensor inercial de baixo custo, com valor médio por unidade de $160,00 (cento e sessenta dólares) desenvolvido na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) para verificar o desempenho em saltos padronizados e específicos da modalidade voleibol. A segunda limitação é que, no melhor do nosso conhecimento, nenhum estudo prévio teve como objetivo utilizar um sensor inercial de baixo custo para verificar a altura do salto vertical padronizado (SA e SCM) e dos saltos específicos da modalidade voleibol, como por exemplo o salto de bloqueio com deslocamento lateral (SBL) e salto de ataque (SAT), em duas sessões de coleta, aumentando assim sua validade ecológica. Com isso, investigar a validade e confiabilidade de um sistema de baixo custo e portátil na cinemática de alguns saltos do voleibol (*e.g.* salto de bloqueio com deslocamento lateral e salto de ataque), em duas sessões de coleta, é um passo importante para se compreender a real eficácia da utilização destes sensores na prática esportiva. A utilização de outras tecnologias, como o GPS, em ambiente de prática esportiva, já demonstrou elevada variabilidade de resultados baseados em fatores externos, como condições climáticas para diferentes sessões de coleta (Bursais, 2022), o que reforça a importância de mensurar a altura dos SV em diferentes dias.

Cabe destacar que o presente estudo é uma continuidade de estudos prévios de Silva *et al*. (2020) e Geraldo (2020) realizados no laboratório de Biomecânica da Universidade Federal de Minas Gerais (BIOLAB/UFMG). Geraldo (2020) buscou complementar a análise de técnicas específicas da modalidade esportiva voleibol, verificando a validade concorrente e a confiabilidade do sensor inercial de baixo custo em comparação à análise cinemática 3D em jogadores de voleibol durante a realização do salto com contramovimento e do salto de bloqueio com deslocamento lateral e concluiu que os sensores inerciais são válidos e confiáveis (CCI = 0,760 a

0,948; EPM = 1,51 a 5,81 cm) em ambas as tarefas em ambiente laboratorial. Cabe destacar que no estudo de Geraldo (2020) e Silva *et al*. (2020) não estavam presentes diversos fatores da realidade esportiva, como quadra, rede, bola e possíveis adversários e o tamanho amostral foi pequeno, o que diminui a validade ecológica da tarefa por ser realizada em ambiente laboratorial.

Neste sentido, este estudo avança na verificação da viabilidade de utilização dos sensores inerciais de baixo custo no ambiente da prática esportiva, pois conforme sugerido pelos estudos apresentados, essa tecnologia pode proporcionar à equipe técnica avaliar indivíduos em seu ambiente habitual com monitoramento em tempo real de saltos específicos do voleibol realizados por atletas durante treinos e jogos (Rantalainen; Finni; Walker, 2019). De posse desse tipo de informação sobre volume e carga de treinos, a equipe técnica pode monitorar atletas durante partidas e treinamentos, obtendo importantes informações da carga externa realizada pelos atletas, as quais podem ajudar na interpretação e elaboração das cargas internas das sessões de treinamento (Borges *et al*., 2017).

Outra limitação dos estudos de Borges *et al*. (2017), Geraldo (2020), Lobietti *et al*. (2009) e Macdonald *et al*. (2017), foi a não utilização dos sensores para verificação da altura dos saltos no ambiente de prática esportiva, onde estariam presentes diversos fatores da realidade esportiva, como quadra, rede, bola e possíveis adversários. Devido às vantagens apresentadas anteriormente para os sensores, eles possibilitariam a realização de análises biomecânicas no ambiente de atuação do atleta. Embora tenha ocorrido um aumento no uso e disponibilidade de IMU, Chambers *et al.* (2015) afirmaram haver relativamente poucos estudos avaliando confiabilidade e validade do sensor inercial para análise e avaliação de habilidades específicas em contextos esportivos. No presente estudo a coleta ocorreu no ambiente da prática do voleibol, sendo que um dos objetivos do estudo foi utilizar um circuito específico da modalidade em que os atletas foram filmados e utilizaram a IMU durante a prática.

Em resumo, apesar de estudos recentes terem verificado a validade e a confiabilidade da tecnologia de sensores inerciais para estimar a altura dos saltos verticais, ainda assim, se faz necessário novos estudos que utilizem a IMU de baixo custo em ambiente esportivo contextualizado, pois os resultados dos estudos envolvendo a confiabilidade da IMU sobre o desempenho do SV são controversos. Em relação aos estudos revisados, alguns aspectos metodológicos podem ter

contribuído para as diferenças entre os estudos, especialmente a frequência de aquisição e o algoritmo para determinação da altura do salto (Macdonald *et al*., 2017; Picerno; Camomilla; Capranica, 2011; Borges *et al.*, 2017; Rantalainen, Finni; Walker, 2019).

Sendo assim, o presente estudo teve como objetivo analisar se unidade de medição inercial é válida e confiável para mensurar saltos verticais padronizados e saltos presentes em fundamentos do voleibol durante treinamentos rotineiros de uma equipe esportiva em duas sessões de coleta.

1.1 Objetivos

Verificar a validade e confiabilidade do sensor inercial de baixo custo para a mensuração da altura de dois tipos de saltos verticais padronizados (agachado e com contramovimento) em atletas de voleibol em duas sessões de coleta.

Verificar a validade e confiabilidade do sensor inercial de baixo custo para a mensuração da altura dos saltos de bloqueio com e sem passada lateral e da altura dos saltos de ataque (*step close*) do voleibol no ambiente de prática esportiva em duas sessões de coleta.

1.2 Hipóteses

O sensor inercial será válido e confiável para a mensuração da altura do salto nos dois tipos de técnicas analisadas em duas sessões de coleta.

O sensor inercial será válido e confiável para a mensuração da altura de saltos de bloqueio com e sem passada lateral e de saltos de ataque no ambiente de prática esportiva em duas sessões de coleta.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Aspectos Éticos

Esta pesquisa respeitou todas as normas estabelecidas pelo Conselho Nacional em Saúde (2012) envolvendo pesquisas com seres humanos (RES 466/12) e foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (CEP- UFMG) sob o número de parecer 5.073.598 do CAAE 86429718.3.0000.5149 (ANEXO A). Antes de iniciarem a participação na pesquisa, os voluntários receberam todas as informações quanto aos objetivos e ao processo metodológico, receberam o termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) a ser assinado pelos pais e/ou responsáveis e posteriormente assinaram o termo de assentimento livre e esclarecido (TALE). Foram tomadas todas as precauções no intuito de preservar a privacidade dos voluntários, sendo que a saúde e o bem-estar destes estavam sempre acima de qualquer outro interesse. Eles também estavam cientes de que poderiam deixar a pesquisa a qualquer momento sem nenhum prejuízo para os mesmos.

Todos os atletas responderam ao questionário de sintomas para COVID – 19 (ANEXO B) e tiveram a temperatura medida por termômetro digital infravermelho ao entrar nas dependências do clube nos dias de coleta. Os atletas estavam vestidos com uniforme habitual de treino e assim como os pesquisadores, permaneceram de máscara durante todos os procedimentos da coleta. Foi fornecido álcool em gel 70% para higienização das mãos e dos materiais durante todos os procedimentos. Toda a coleta foi realizada sem aglomeração.

2.2 Amostra

A amostra do presente estudo foi estabelecida por conveniência. Participaram da pesquisa 64 jogadores de voleibol, sendo 37 do sexo masculino e 27 do sexo

feminino com idade entre 15 e 19 anos. A Tabela 1 apresenta os dados descritivos da amostra do presente estudo.

Tabela 1 - Dados descritivos da amostra em média (± desvio padrão)

Variável	Homens (n=37)	Mulheres (n=27)
	Média (±dp)	Média (±dp)
Idade (anos)	17,0 (0,9)	16,0 (0,8)
Massa (kg)	72,0 (10,0)	64,0 (9,8)
Estatura (m)	1,84 (0,08)	1,71 (0,06)
Percentual de gordura (%)	9,4 (3,8)	20,8 (4,9)
Experiência (anos)	3,8 (1,6)	4,3 (1,3)

Legenda: n – quantidade de voluntários.

Fonte: Elaboração própria

Os seguintes critérios de inclusão foram adotados:

- Ter no mínimo seis meses de experiência em um processo de treinamento sistematizado na modalidade voleibol;
- Relato da comissão técnica do voluntário de ausência de qualquer tipo de lesão de membros inferiores (MMII) ou coluna vertebral e não estar em processo de reabilitação;
- Não ter sido submetido a algum procedimento cirúrgico nos últimos seis meses;
- Não apresentar fator incapacitante que impedisse a realização dos movimentos necessários ou que comprometesse negativamente o desempenho nos protocolos de avaliação;
- Responder negativamente a todas as perguntas do questionário da COVID - 19.

Os critérios de exclusão adotados foram:

- Não ser capaz de realizar os procedimentos propostos;
- Sofrer alguma lesão ou enfermidade que pudesse influenciar no desempenho nos testes no período de coleta;

- Responder positivamente a qualquer uma das questões do questionário da COVID - 19.

2.3 Delineamento do estudo

O estudo teve o intuito de verificar ações *intraday* de saltos verticais captadas por um modelo de sensor inercial de baixo custo (*MPU6050, Iven Sense*) em atividades realizadas no ambiente de prática e treinamento esportivo.

Primeiramente foi realizada uma conversa com a Coordenação de Esportes de um clube esportivo da cidade de Belo Horizonte para saber do interesse em participar da pesquisa e ceder seus jogadores. Com o retorno positivo, foi enviada à coordenação de esportes uma carta de anuência, e esta concedeu a autorização por escrito para o desenvolvimento da pesquisa com seus jogadores. Os objetivos e procedimentos do estudo foram explicados em uma reunião com os jogadores e treinadores antes da realização das coletas de dados, e somente após darem o consentimento verbal de participação no estudo, foi entregue o termo de consentimento livre esclarecido (APÊNDICE A), para o consentimento por escrito dos pais e/ou responsáveis e além disso, por serem menores de idade, na primeira sessão de coleta, foi entregue o termo de assentimento livre e esclarecido (APÊNDICE B). Todos foram orientados que poderiam deixar de participar da pesquisa a qualquer momento sem nenhum prejuízo ou constrangimento.

A coleta de dados foi realizada sem aglomeração, no local de treinamento dos voluntários em quatro sessões, sendo uma sessão para cada tipo de atividade (FIGURA 1).

Figura 1: Delineamento do estudo

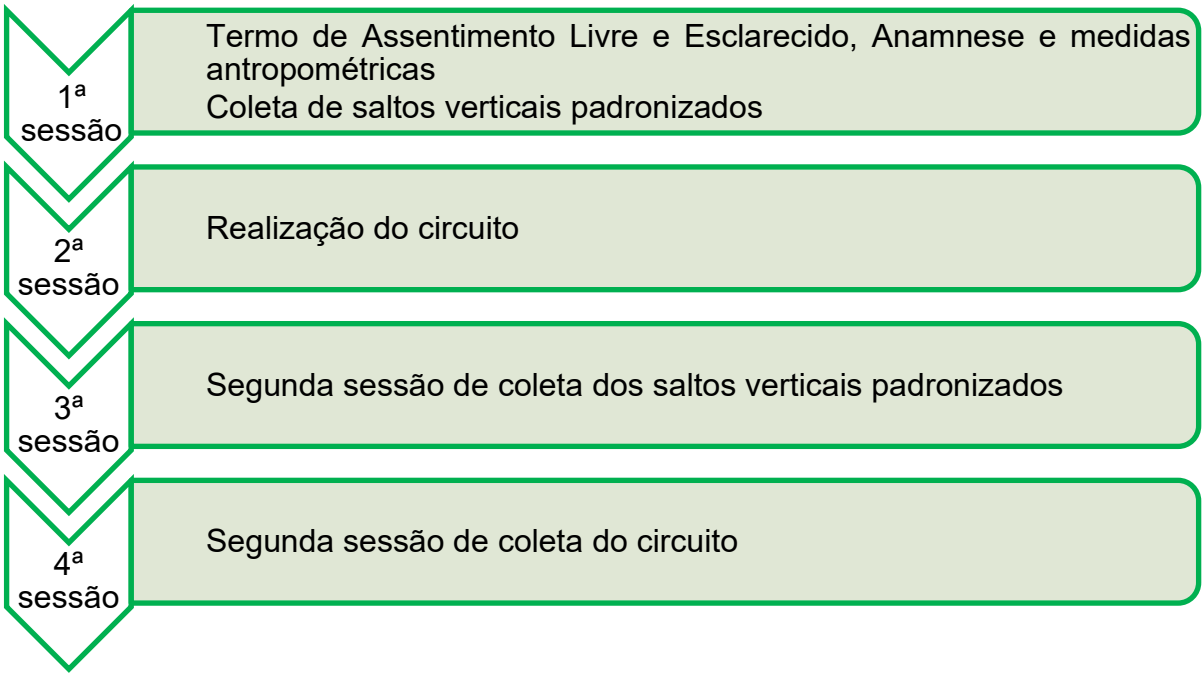
Fonte: Elaboração própria.

Conforme a Figura 1, após a explicação dos procedimentos e recebimento do TCLE assinado pelos pais ou responsáveis, iniciou-se a coleta de dados propriamente dita, realizada de maneira *intraday*. Nessa etapa todos os procedimentos foram filmados por uma câmera (GoPro Hero 8 Black®) posicionada perpendicularmente ao plano de movimento. A coleta foi dividida em quatro sessões, sendo a primeira reservada para assinatura do TALE, preenchimento da anamnese, coleta das medidas antropométricas e realização de saltos padronizados no tapete de contato (*Cefise*, com o *software Jump System 1.0*), sendo três tentativas válidas de cada técnica de salto (SA e SCM). Na segunda sessão foi realizado um circuito de ações específicas da modalidade voleibol. E as duas últimas sessões de coleta foram destinadas à segunda coleta das tarefas (saltos padronizados e circuito), ou seja, foram realizadas as mesmas tarefas pela segunda vez. A definição do intervalo de tempo entre a primeira e segunda coleta de dados de cada tarefa ocorreu de acordo com a disponibilidade do clube e da comissão técnica, pois o objetivo do estudo não seria influenciado por esse período.

2.4 Procedimentos

Os procedimentos do estudo foram divididos em quatro sessões de coleta (FIGURA 2).

Figura 2: Procedimentos do estudo



Fonte: Elaboração própria.

2.4.1 Primeira sessão de coleta

Previamente ao início da execução das tarefas, os voluntários assinaram o TALE e responderam uma anamnese (APÊNDICE C) contendo algumas informações básicas dos voluntários e também sobre a experiência do mesmo na modalidade. Os documentos foram respondidos individualmente em um ambiente sem perturbações e o pesquisador explicou os questionários previamente e esclareceu possíveis dúvidas durante o preenchimento. Todos os questionários do

presente estudo tiveram como alternativa o preenchimento *on-line* via *Google Forms*, e todos os atletas receberam orientações sobre como realizar o preenchimento remoto.

Após a anamnese e o questionário, foram obtidas as medidas antropométricas, massa corporal (kg), estatura do voluntário (m), e o percentual de gordura utilizando respectivamente uma balança antropométrica da marca Líder, modelo P150C (FIGURA 3A) e um adipômetro da marca *Slim Fit* (FIGURA 3B).

Figura 3: Instrumentos utilizados para avaliação antropométrica - balança antropométrica (A) e adipômetro (B)

Fonte: Elaboração própria.

2.4.1.1 Saltos verticais padronizados

Para coleta de saltos padronizados, foram utilizados o salto com contramovimento e salto agachado ambos sem o auxílio dos membros superiores (Linthorne, 2001), sendo ambas as tarefas realizadas no tapete de contato de maneira bipodal (Rantalainen, Finni; Walker, 2019).

A técnica dos saltos verticais (SA e SCM) foi explicada e demonstrada sempre pelo mesmo avaliador experiente. Considerando a amostra do estudo, a experiência e vivência dos atletas, não foi necessária uma sessão de familiarização,

sendo realizados somente um salto de cada técnica para que se familiarizassem com os instrumentos e o ambiente de coleta. Em seguida, foi feito um aquecimento que consistiu de 5 minutos de alongamento e mais 5 minutos de movimentos dinâmicos tipicamente utilizados em partidas de voleibol.

Como o sensor inercial de baixo custo é uma ferramenta sensível, ele precisa estar firmemente encaixado e fixado ao corpo humano, a fim de evitar o movimento relativo entre o mesmo e as partes do corpo, buscando assim minimizar a vibração e deslocamento da IMU que podem produzir ruídos e afetar a precisão de detecção dos dados (Yang; Hsu, 2010). Para garantir a fixação do sensor, antes do início do teste propriamente dito, foi colocado um cinto elástico (FIGURA 4) no voluntário com o sensor inercial de baixo custo fixado a este e posicionado na linha da cintura do voluntário, na região das vértebras L5 e S1, uma vez que usado na região lombar ele causa menos restrições ao movimento corporal, minimizando desconfortos e fornecendo as medidas de acelerações de um ponto razoavelmente próximo ao centro de massa do corpo durante os saltos, dessa forma a altura do salto pode ser estimada como normalmente é feito com plataformas de força (Rantalainen, Finni; Walker, 2019).

Figura 4: Cinto elástico com sensor acoplado

Fonte: Elaboração própria.

Em seguida, a partir das instruções da pesquisadora, os voluntários realizaram as tarefas nas quais já estavam familiarizados. Foram realizados três saltos válidos de cada técnica (SA e SCM) obedecendo a um intervalo de 20

segundos entre cada tentativa, e 1 minuto entre cada técnica, para assim otimizar o tempo de coleta, visto que 15 segundos é tempo suficiente para recuperação entre uma repetição e outra no treinamento com a técnica de SCM de até 15 saltos máximos (Oliveira *et al*., 2018). Como o estudo não possui classificação temporal longitudinal, a ordem de realização das tarefas não foi aleatória, sendo realizados três saltos agachados e em seguida três saltos com contramovimento. Para realizar os saltos verticais, os atletas foram orientados a saltar o mais alto possível, para atingir a maior elevação possível do centro de gravidade (CG) (Menzel; Chagas; Cruz, 2006).

2.4.1.1.1 Salto agachado

Nesse salto, o indivíduo deveria realizar apenas uma contração concêntrica, partindo da posição inicial agachada, e realizando o movimento ascendente, estendendo as articulações do quadril, joelhos e tornozelos, não sendo permitida nenhuma realização de movimento descendente (Linthorne, 2001) (FIGURA 5). A angulação para realização do salto foi a preferida pelo atleta, uma vez que conforme descrito por Lima (2015), o salto realizado com a posição autosselecionada, apresentou altura semelhante à atingida pela posição inicial com 90° de flexão de joelhos e significativamente maior do que a atingida pela posição inicial com 120° de flexão de joelhos.

A posição inicial foi mantida por alguns segundos, e durante a execução as mãos permaneceram fixas na cintura. Foram invalidadas as tentativas em que os voluntários cometeram algum dos seguintes erros: realizar um contramovimento, mesmo que mínimo, antes do movimento ascendente, tirar mão da cintura em qualquer momento da realização do salto, flexionar os joelhos durante a fase de voo do salto e/ou não aterrissar primeiramente com a ponta dos pés.

Figura 5: Fases do salto vertical agachado

Fonte: Elaboração própria.

2.4.1.1.2 Salto com contramovimento

Na execução desse salto o indivíduo partiu da posição inicial em pé com as mãos na cintura e executou um movimento descendente, com flexão de quadril, joelhos e tornozelos para em seguida realizar o movimento ascendente máximo, estendendo essas articulações (FIGURA 6), sendo que não houve restrição de amplitude, em termos de graus em nenhum dos movimentos (Linthorne, 2001). Foi orientado aos voluntários que mantivessem os joelhos estendidos e os pés em flexão plantar durante a fase de voo. Foram invalidadas as tentativas em que os voluntários cometeram algum dos seguintes erros: tirar a mão da cintura em qualquer momento da realização do salto, flexionar os joelhos durante a fase de voo do salto e/ou não aterrissar primeiramente com a ponta dos pés.

Figura 6: Fases do salto vertical com contramovimento

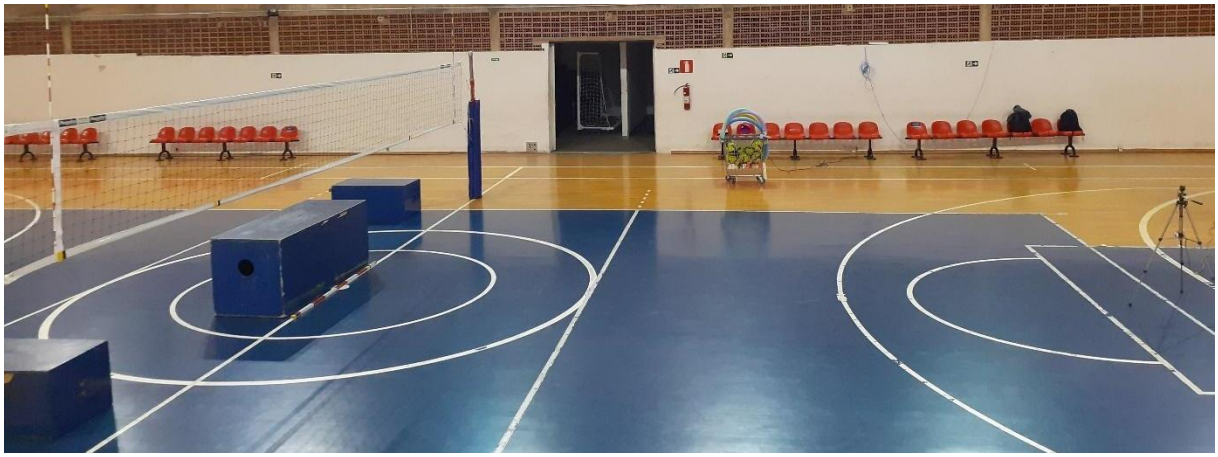
Fonte: elaboração própria.

2.4.2 Segunda sessão de coleta

A segunda sessão de coleta foi reservada para a realização do circuito esportivo de técnicas específicas do voleibol, o qual foi baseado nas ações técnicas realizadas por um atleta da modalidade, durante treinos e jogos, sendo elas os saltos de bloqueio com e sem deslocamento lateral, o toque por cima, o toque por baixo (manchete) e o salto de ataque. Assim como na primeira sessão de coleta, os procedimentos iniciaram com uma passagem pelo circuito para familiarização com os instrumentos e o ambiente de coleta. Logo após, foi realizado o aquecimento e em sequência, o circuito de ações específicas do voleibol foi realizado seis vezes por cada atleta, sendo três vezes com o salto de ataque realizado pela entrada de rede e três vezes pela saída de rede, sempre utilizando o cinto com o sensor inercial acoplado.

Todo o circuito foi filmado por uma câmera de ação (GoPro Hero 8 Black®) posicionada perpendicularmente ao plano de movimento e sobre a linha do fundo da quadra de vôlei, a nove metros da rede de maneira a captar todas as ações realizadas pelo atleta (FIGURA 7). Assim, os saltos de bloqueio e de ataque foram analisados através da cinemática em duas dimensões (2D) e a mensuração da altura comparada à altura obtida pelo sensor inercial de baixo custo.

Figura 7: Espaço de coleta do circuito de ações específicas do Voleibol

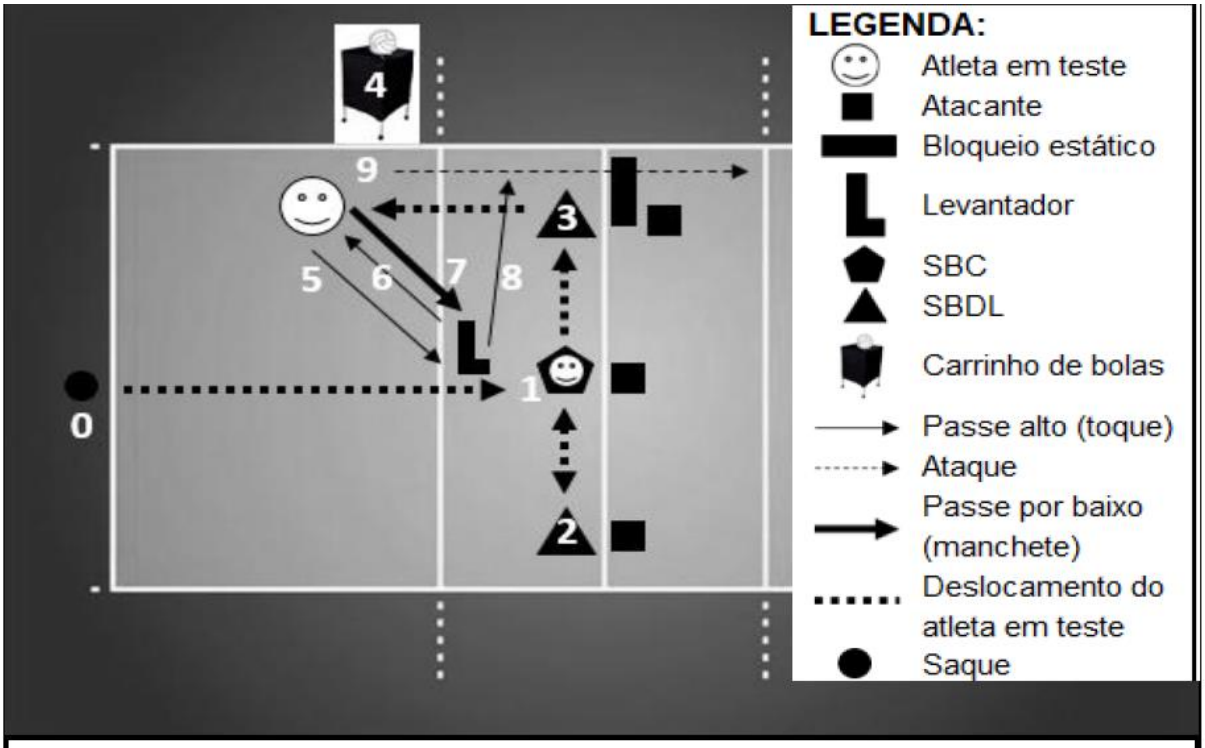


Fonte: Elaboração própria.

2.4.2.1 Circuito de ações específicas do voleibol

A Figura 8 ilustra a sequência das ações executadas no circuito específico do Voleibol, que iniciou com o atleta em teste na posição inicial no fundo de quadra (posição 0), na qual o mesmo deveria ficar parado e em pé. Ao comando do pesquisador o atleta realizou um saltito para marcar o início da coleta, em seguida, realizou um saque e se deslocou para a posição 1, na qual se posicionou e realizou um salto com as mãos posicionadas à frente do peito (FIGURA 9), com o intuito de bloquear a bola atacada do outro lado da rede. Esse movimento inicial foi sucedido em sequência por dois saltos de bloqueio com deslocamento lateral (posição 2 e 3) (FIGURAS 10 e 11), ambos com o intuito de também bloquear as bolas atacadas. Após os bloqueios, o atleta pegou uma bola no carrinho (4) para executar um toque por cima (5) para o levantador situado ao centro e próximo à rede, o levantador devolveu a bola para o atleta em teste (6) que executou um toque por baixo (7), retornando a bola para o levantador. Em seguida, o levantador realizou um levantamento (8) para que o atleta em teste executasse o movimento de ataque (9) com presença de bloqueio estático (FIGURA 12). Caso a bola encostasse no chão entre a sequência de ações 5 a 9, o atleta em teste deveria retornar à posição 4, pegar uma nova bola para realizar novamente o restante do circuito.

Figura 8: Descrição do circuito de ações específicas do Voleibol



Atleta em teste realiza um saque e se desloca para a posição 1, onde executa um salto de bloqueio. Em seguida, serão executados dois SBDL (2 e 3). Após os bloqueios, o atleta em teste pega uma bola e executa um toque por cima (5) para o levantador que devolvera a bola para o atleta em teste (6) executar um toque por baixo (7), retornando a bola para o levantador. Em seguida, o levantador realiza um levantamento (8) para que o atleta em teste execute o movimento de ataque (9) com presença de bloqueio estático.

Fonte: Elaboração própria

Figura 9: Salto de bloqueio no circuito de ações específicas do Voleibol

Fonte: Elaboração própria

Figura 10: Salto de bloqueio com passada lateral deslizante para esquerda no circuito de ações específicas do Voleibol

Fonte: Elaboração própria

Figura 11: Salto de bloqueio com passada lateral cruzada para direita no circuito de ações específicas do Voleibol

Fonte: Elaboração própria

Figura 12: Salto de ataque no circuito de ações específicas do Voleibol

Fonte: Elaboração própria

2.4.3 Terceira sessão de coleta

O terceiro dia de coleta foi reservado para a segunda sessão de coleta dos saltos verticais padronizados com o voluntário sobre o tapete de contato utilizando o cinto com o sensor acoplado.

2.4.4 Quarta sessão de coleta

O quarto dia de coleta foi reservado para a segunda sessão de coleta do circuito específico do voleibol com o voluntário utilizando o cinto com o sensor acoplado e a filmagem sendo realizada para posterior análise 2D.

2.5 Equipamentos

2.5.1 Sensor inercial

Foi utilizado o mesmo sensor de trabalhos já previamente realizados (Silva *et al.,* 2020; Geraldo, 2020), uma unidade de medida inercial tri-axial de baixo custo, composto por acelerômetro, giroscópio e magnetômetro (*MPU6050, Iven Sense*) (FIGURA 13), com frequência média de aquisição de dados 150 Hz, fixado na linha da cintura do voluntário, na região das vértebras L5 e S1. Os três planos ortogonais do sensor (vertical, anteroposterior e mediolateral) foram determinados com o voluntário em posição ortostática. O sensor trabalha em conjunto com um aplicativo para celular (*Smove Research 0.5.2, Smove Systems*) desenvolvido por uma empresa nacional conceituada no mercado, o aplicativo é responsável pelo registro e aquisição de dados em tempo real via conexão w*i-fi.* Antes de cada tarefa, o voluntário foi orientado a realizar um saltito, este procedimento auxilia o avaliador a sincronizar os equipamentos de coleta para início da captura de dados.

Figura 13: Sensor inercial utilizado na coleta, composto por acelerômetro, giroscópio e magnetômetro

Fonte: Elaboração própria

2.5.2 Tapete de contato e *software*

Para as tarefas de saltos verticais padronizados foi utilizado o tapete de contato da marca *Cefise*, com o *software Jump System 1.0* (FIGURA 14), equipamento desenvolvido para medir tempo de contato e tempo de voo em saltos verticais medindo 1000 x 600 x 8 mm.

Equipamento esse confiável e de referência, que ao ser testado para mensuração da altura dos saltos verticais junto a uma plataforma de força (padrão ouro), não apresentou erro randômico e se apresentou válido (Ferreira; Carvalho; Szmuchrowski, 2008).

Aragón-Vargas (2000) comparou diferentes métodos para avaliar a altura do salto e concluiu que o uso do tapete de contato pouco compromete a confiabilidade e validade da medida da altura do salto.

Figura 14: Tapete de contato *Cefise* com *software Jump System 1.0*

Fonte: http://www.cefise.com.br/produto/44/30/jump-system-pro

2.5.3 Câmeras de ação

Para realização, registro das coletas, análise e verificação da altura dos saltos de bloqueio e ataque no circuito específico, foi utilizada uma câmera GoPro Hero 8 Black® (GoPro, San Mateo, EUA) (FIGURA 15) a uma taxa de amostragem de 120Hz, lente linear e resolução full HD (1920 x 1080 pixels). A câmera foi fixada sobre dispositivos ajustáveis de apoio para captar todas as ações realizadas pelo atleta. As imagens foram registradas em um micro cartão de memória SDXC com capacidade de 64gb para posterior análise.

Figura 15: Câmera GoPro Hero 8 Black®

Fonte: Elaboração própria

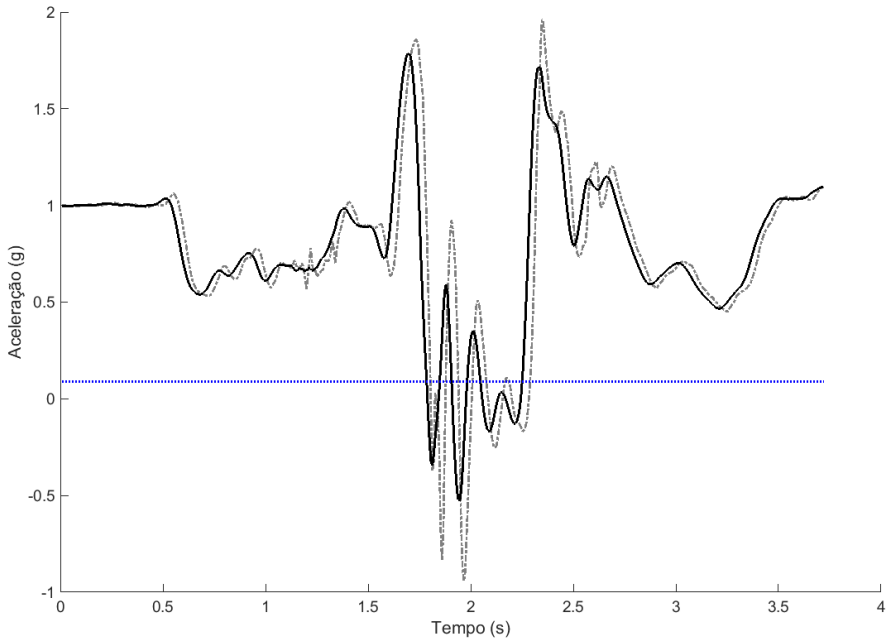
2.6 Processamento de dados

2.6.1 Sensores inerciais

Durante a coleta de dados, o sensor inercial permaneceu conectado via *wi-fi* a um aplicativo de celular denominado *Smove Research 0.5.2, Smove Systems* no qual os dados foram salvos e ao término da coleta de dados os arquivos de cada voluntário foram exportados em formato XLS (Excel) para posterior análise.

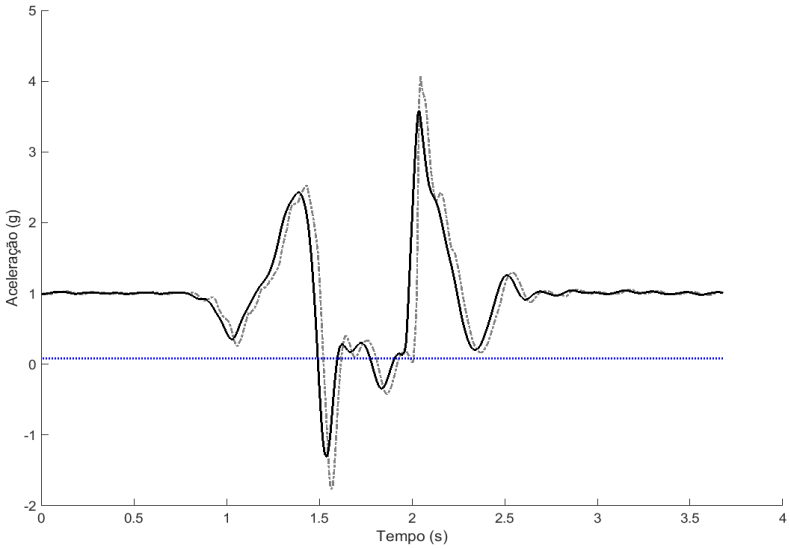
Na coleta de saltos verticais padronizados, foram analisados os dados de aceleração, sendo que os dados brutos coletados passaram pela realização de um filtro de médias móveis de dez dados para atenuar os picos de aceleração (FIGURAS 16, 17 e 18), pois como o sensor é muito sensível, os ruídos podem ser oriundos de um movimento inesperado da faixa elástica ou do próprio sensor e não propriamente do corpo do voluntário em movimento.

Figura 16: Comparação dos gráficos de aceleração com e sem filtro de médias móveis do SA



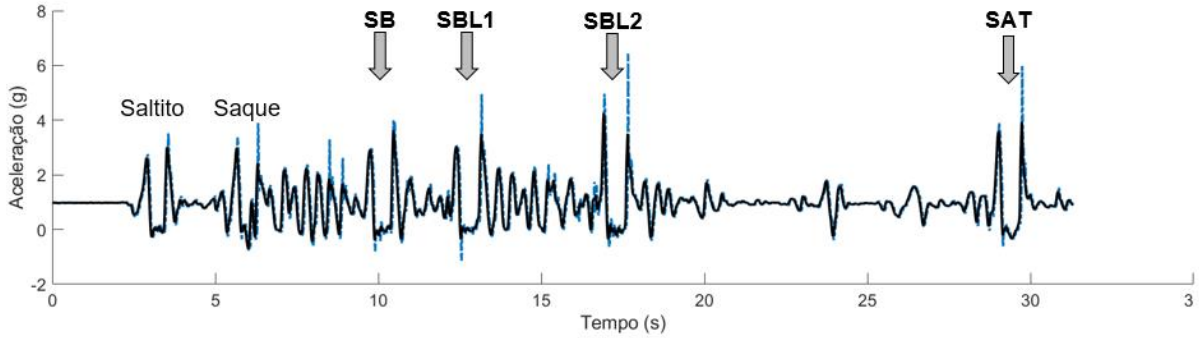
Legenda: Linha contínua preta – gráfico com filtro; Linha tracejada cinza – gráfico sem filtro; Linha pontilhada horizontal azul – limiar estabelecido.
Fonte: Elaboração própria.

Figura 17: Comparação dos gráficos de aceleração com e sem filtro de médias móveis do SCM



Legenda: Linha contínua preta – gráfico com filtro; Linha tracejada cinza – gráfico sem filtro; Linha pontilhada horizontal azul – limiar estabelecido.
Fonte: Elaboração própria.

Figura 18: Comparação dos gráficos de aceleração com e sem filtro de médias móveis do circuito de Vôlei



Legenda: Linha contínua – gráfico com filtro; Linha tracejada – gráfico sem filtro; SB – salto de bloqueio; SBL1 – primeiro salto de bloqueio com passada lateral; SBL2 - segundo salto de bloqueio com passada lateral; SAT – salto de ataque.
Fonte: Elaboração própria.

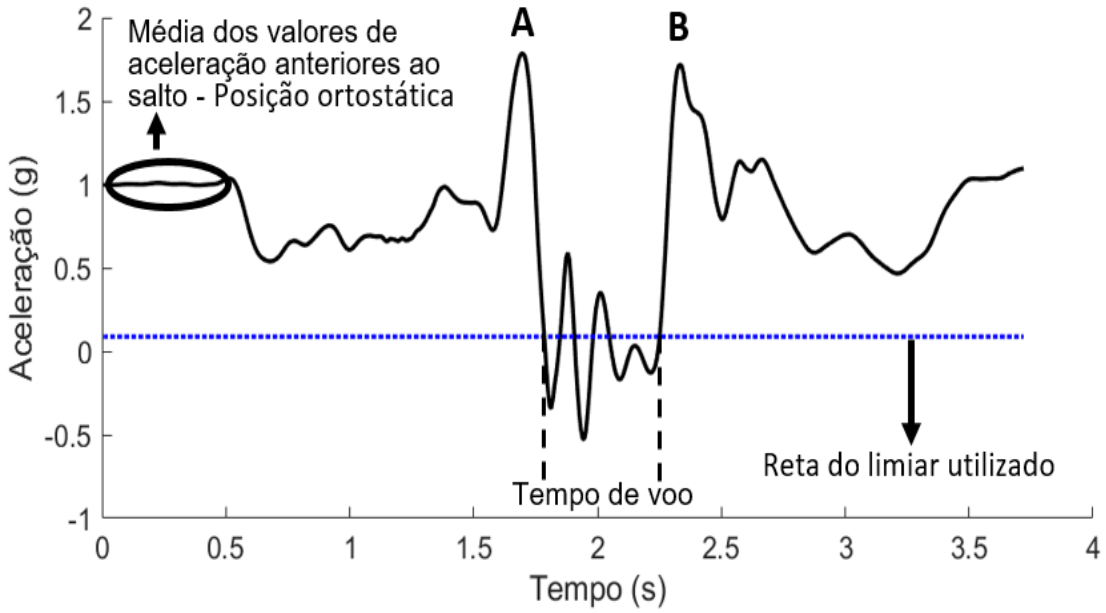
Após analisar o tempo de voo dos diferentes tipos de saltos realizados nas coletas, e verificar que o tempo de subida foi igual ao tempo de descida, o tempo de voo foi utilizado para a mensuração de todos os saltos realizados no presente

trabalho. No estudo de Silva *et al*. (2020) dois critérios foram utilizados para definição da fase de voo dos saltos. Para ambos os critérios, a fase de voo se inicia quando a aceleração registrada se torna inferior a um limiar após um pico significativo (FIGURAS 19, 20, 21 e 22, Ponto A), referente ao início da fase de extensão de joelhos e quadril, e finaliza quando a mesma avança a valores superiores a esse limiar precedendo outro valor de pico significativo (FIGURAS 19, 20, 21 e 22, Ponto B), referente ao “pico de impacto” da aterrisagem. Os dois critérios utilizados no estudo de 2020 para a IMU diferem entre si quanto ao limiar definido, sendo um 10% da média dos valores de aceleração na fase em que o indivíduo se encontra na posição ortostática (FIGURAS 19, 20, 21 e 22) antecedendo o salto, e o outro 20% da mesma média. A utilização dos dois critérios tem como fim compará-los, tendo em vista que quanto mais precisa a definição do período de voo, mais precisa será a estimativa da altura do salto (Monnet *et al*., 2014). O presente estudo utiliza o critério de 10% para o limiar, essa definição foi tomada com base nos resultados obtidos no trabalho de Silva *et al*. (2020) no qual a utilização do limiar de 10% apresentou menores valores de erro (EPM = 2,71 para limiar de 10% e EPM = 3,85 para limiar de 20%) e maior correlação, entre o sensor e o padrão ouro utilizado (plataforma de força) (r = 0,919; CCI = 0,921 para limiar de 10% e r = 0,906; CCI = 0,839 para limiar de 20%), indicando que tal critério tende a indicar resultados mais próximos da referência do que utilizando o limiar de 20% da aceleração média inicial para a determinação do tempo de voo.

Picerno, Camomilla e Capranica (2011), investigaram a utilização de sensor inercial posicionado próximo à lombar de atletas para estimativa de tempo de voo e altura do salto através da velocidade de decolagem, tendo como referências valores obtidos da análise estereofotogamétrica e da plataforma de força, respectivamente. Devido à rotação e inclinação do tronco durante o salto, o sensor e seu sistema de coordenadas de referência se movem. Visando corrigir tais problemas de orientação para melhor precisão na estimativa da altura do salto, os autores desenvolveram uma rotina de correção para as acelerações obtidas pelo sensor com base nos dados do acelerômetro e do giroscópio, obtendo resultados com os dados corrigidos de excelente correlação (r = 0,31 e CCI = 0,89 sem utilização da rotina e r = 0,87 e CCI = 0,83 para o tempo de voo com utilização da rotina). Os resultados da pesquisa de Silva *et al*. (2020) que utilizaram sensores inerciais de baixo custo e o tempo de voo para o cálculo da altura do salto não evidenciou as mesmas magnitudes de

diferença entre os valores com e sem a utilização da rotina (r = 0,919 e CCI = 0,921 sem utilização da rotina e r = 0,907 e CCI = 0,854 com utilização da rotina), revelando que a compensação teve pouco influencia no formato da curva do SV. Porém, é possível ver que a aceleração medida pelo sensor sem a compensação apresenta valores próximos de 7,5m/s² no período que antecede o salto, enquanto após a aplicação da rotina de compensação esses valores passam a se aproximar de 9,5m/s² no mesmo período, em um instante que a aceleração vertical deveria ser próxima da aceleração da gravidade local (em módulo, aproximadamente 9,78m/s² em Belo Horizonte). Como, o presente estudo utiliza sensores inerciais de baixo custo e analisa as alturas dos saltos através do tempo de voo, não foi realizada nenhuma rotina para correção da altura dos diferentes saltos.

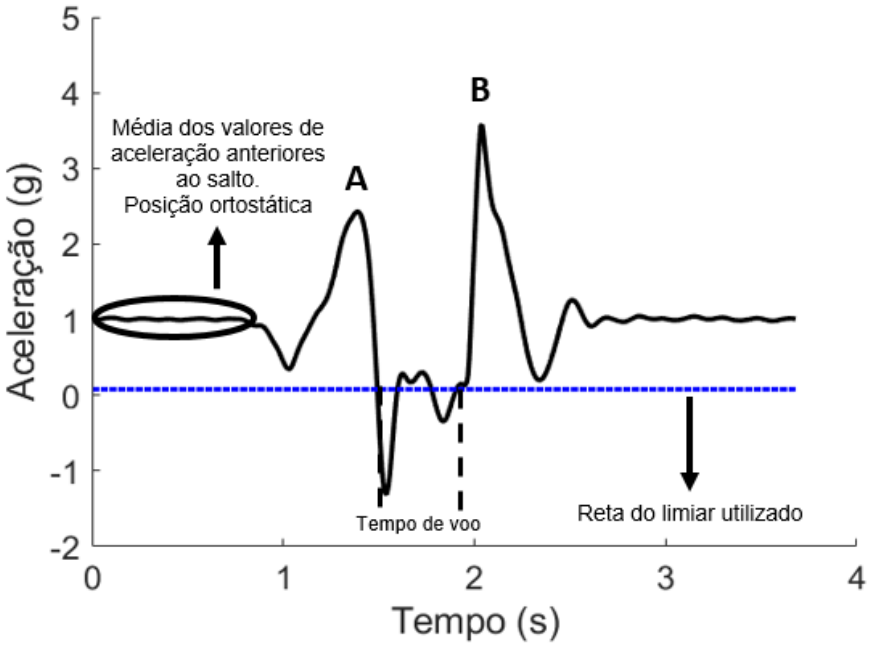
Figura 19: Gráfico de aceleração do SA com explicação sobre a definição do cálculo da altura do salto



Legenda: Linha contínua – gráfico com filtro; Linha pontilhada horizontal – limiar estabelecido; SA – salto agachado.

Fonte: Elaboração própria.

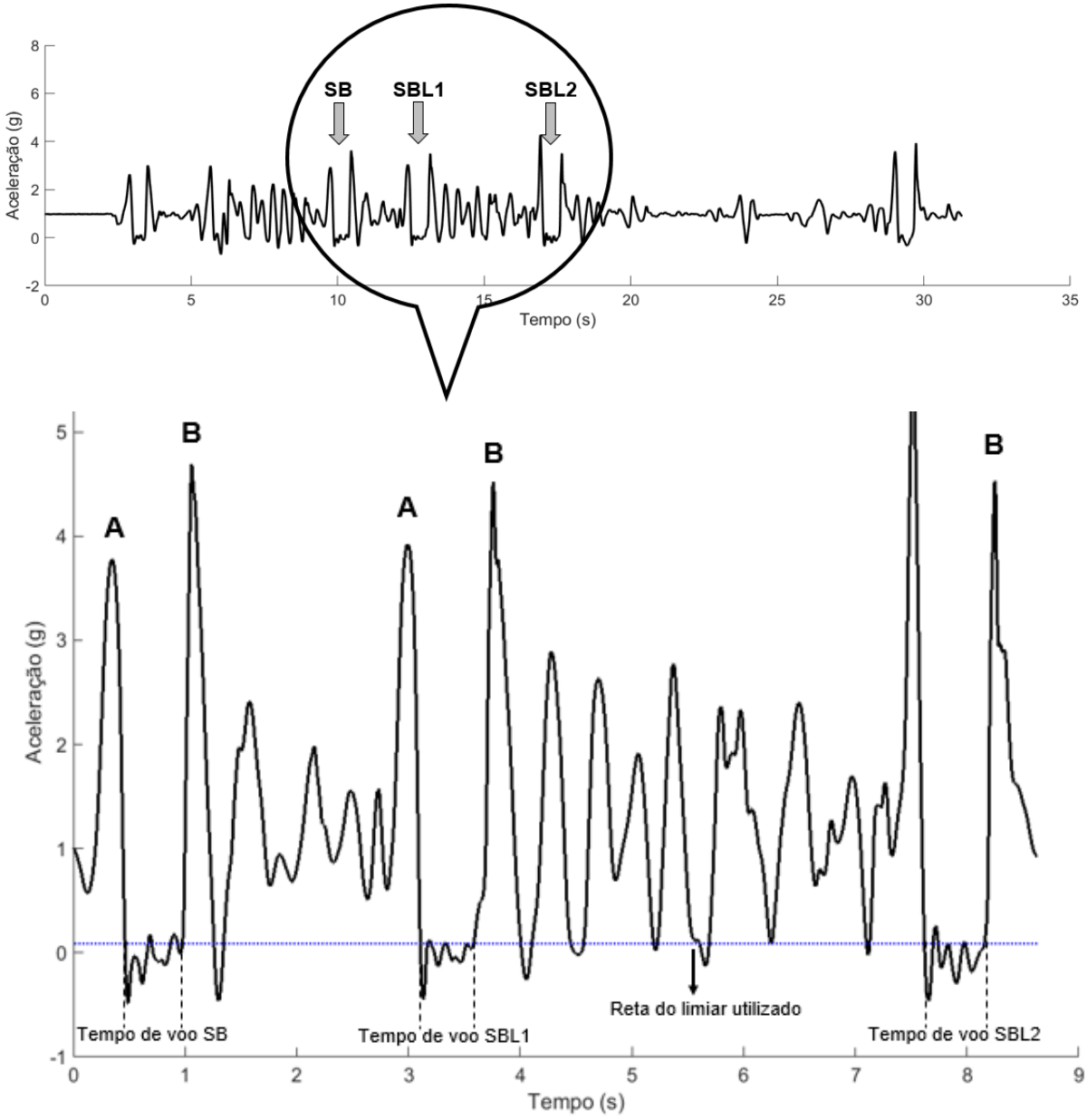
Figura 20: Gráfico de aceleração do SCM com explicação sobre a definição do cálculo da altura do salto



Legenda: Linha contínua – gráfico com filtro; Linha pontilhada horizontal – limiar estabelecido; SCM – salto com contramovimento.

Fonte: Elaboração própria.

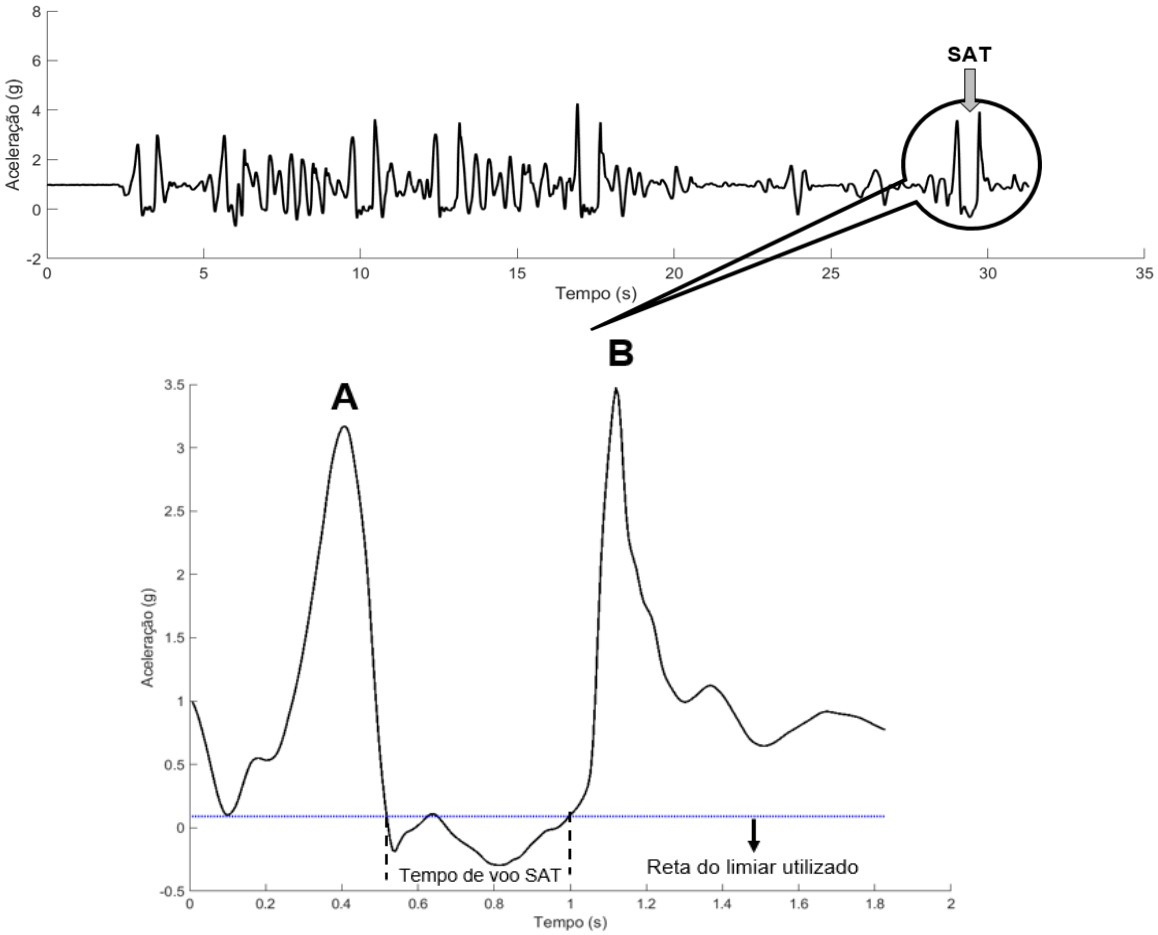
Figura 21: Gráfico de aceleração do circuito com explicação sobre a definição do cálculo das alturas dos SB e SBL



Legenda: Linha contínua – gráfico com filtro; Linha pontilhada horizontal – limiar estabelecido; SB – salto de bloqueio; SBL1 – primeiro salto de bloqueio com passada lateral; SBL2 - segundo salto de bloqueio com passada lateral.

Fonte: Elaboração própria.

Figura 22: Gráfico de aceleração do circuito com explicação sobre a definição do cálculo da altura do SAT



Legenda: Linha contínua – gráfico com filtro; Linha pontilhada horizontal – limiar estabelecido; SAT – salto de ataque.

Fonte: Elaboração própria.

Para encontrar o tempo de voo, foram utilizados os dados do sensor referentes à frequência média de aquisição e o gráfico oriundo dos dados de aceleração coletados nos saltos, em que a altura máxima do indivíduo durante o movimento de queda-livre foi obtida com a equação 1, derivada da equação de Torricelli abaixo:

$$H_{(t)} = H_0 + v_0.t - (g.t^2/ 2) \quad (1)$$

Onde *H(t)* é a altura em função do tempo *t*, H_0 e *vo* a altura e velocidade nas condições iniciais e *g* a aceleração gravitacional.

Considerando o movimento de queda livre, a equação acima pode ser adaptada para a equação (2):

$$H = g.t^2/ 2 \quad (2)$$

Na qual *H* representa a altura da queda, *g* corresponde à aceleração da gravidade e *t* o tempo da queda.

Como a única aceleração vertical presente no período de voo de um salto é a aceleração da gravidade, constante ao longo de todo o salto, o tempo de voo pode ser dividido em duas partes iguais: tempo de subida, em que o indivíduo está em ascensão até atingir a altura máxima, e o tempo de descida, em que após atingir a altura máxima o indivíduo se encontra em queda livre até retornar ao solo. Sendo assim, utiliza-se a equação (2) para cálculo da altura máxima do salto ao se considerar a altura de queda *H* como a altura máxima do salto e o tempo de queda *t* como o tempo de descida, igual à metade do tempo de voo.

Para a obtenção da altura (H) em função do tempo utilizando o sensor inercial durante o circuito, o cálculo foi feito através do tempo de voo (t), em que a altura máxima foi determinada como o maior deslocamento vertical do marcador fixado entre L5 e S1 do indivíduo durante o salto, conforme com a equação 3:

$$H = (g.t^2)/ 8 \quad (3)$$

Na qual *H* representa a altura do salto, *g* corresponde à aceleração da gravidade e *t* o tempo de voo.

Dessa maneira, para obtenção de valores precisos de altura máxima do salto é necessária a estimativa, também precisa, do tempo de voo do salto.

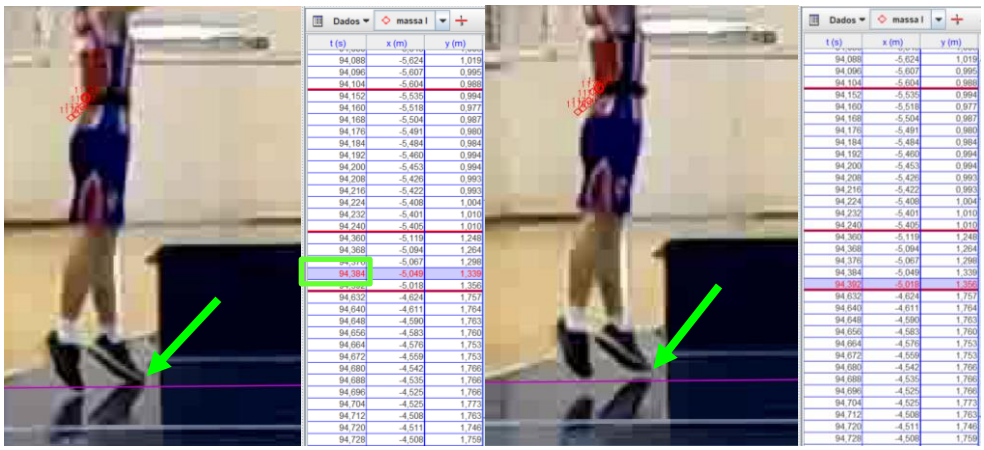
2.6.2 Análise de vídeos

Na coleta de dados realizada no circuito, os vídeos foram utilizados de maneira quantitativa. Após a filmagem do circuito, os vídeos foram exportados para um computador e analisados no programa *Tracker Video Analysis and Modeling Too*

6.0.4 para, através da cinemática, realizar a análise de vídeo 2D e verificar se as alturas dos saltos provenientes do sensor seriam as mesmas obtidas através da filmagem (Kröll *et al.*, 2017).

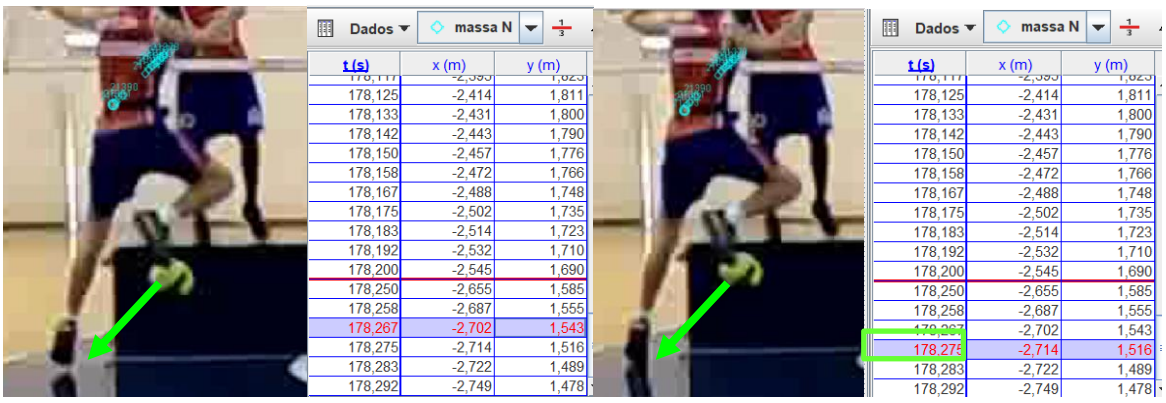
A análise no programa foi feita através do tempo de voo, analisando o momento em que o voluntário perde o contato com o solo (FIGURA 23) e o momento em que ele retoma esse contato (FIGURA 24) (Kröll *et al.*, 2017).

Figura 23: Momento de perda de contato com o solo em um salto de ataque



Fonte: Elaboração própria

Figura 24: Momento de retomada de contato com o solo em um salto de bloqueio com passada lateral para esquerda



Fonte: Elaboração própria

2.7 Validade concorrente, validade ecológica e confiabilidade dos saltos

Com o intuito de obter parâmetros sobre os sensores inerciais, e confirmar a possibilidade de sua utilização como uma ferramenta de mensuração da altura de saltos verticais, foi preciso verificar a validade e a confiabilidade do sistema. A validade concorrente envolve a correlação entre um instrumento e um critério utilizado concorrentemente, ela também pode ser empregada para substituir um critério de difícil mensuração por um teste mais facilmente executável (Thomas; Nelson; Silvervan, 2012). E a validade ecológica é entendida como um fenômeno transitório caracterizado por tentativas fundamentadas e sistemáticas para análise de comportamento atual dentro de contextos ambientais específicos, utilizando método de investigação discreto, realista e fidedigno (Davids, 1988). Ainda segundo Davids (1988), são propostos três critérios para a concepção de validade ecológica, sendo eles o realismo, a união e análise eclética. Diante disso, pode-se sugerir que a validade ecológica é a medida de aproximação da pesquisa ao mundo real, e quanto mais a condição de coleta se aproximar do "mundo real", maior será o nível de validade ecológica da situação experimental.

Como os dados dos dois tipos de SV foram coletados pelas duas ferramentas de forma simultânea, a validade concorrente foi evidenciada neste estudo para verificar se as alturas obtidas pelo sensor nos SV se aproximam ao máximo dos dados obtidos por meio da utilização do tapete de contato, o qual é um equipamento de referência.

Para evidenciar a validade concorrente e ecológica, as alturas dos saltos de ataque e de bloqueio com e sem passada lateral, realizados no circuito de realidade esportiva, foram analisadas e comparadas por duas ferramentas de forma simultânea, sendo elas o sensor inercial e a análise de vídeo.

Para a utilização dos sensores inerciais como uma ferramenta prática de uso diário nos treinamentos, é preciso verificar se ela é confiável e aplicável ao ambiente esportivo. Para isso, os protocolos de salto e os circuitos foram repetidos na segunda coleta para a determinação da confiabilidade dos dados.

2.8 Análise estatística

A caracterização da variável do estudo (altura do salto) foi realizada por meio de uma análise descritiva de medidas de tendência central (média), dispersão (desvio padrão) e amplitude (mínimo e máximo) nos diferentes tipos de saltos verticais. Os pressupostos de normalidade para análise paramétrica (normalidade e esfericidade dos dados), foram verificados pelo teste de *Shapiro-Wilk* e teste de *Mauchly*, respectivamente. Para desvios significativos da esfericidade utilizou-se a correção de *Greenhouse-Geisser*.

Para verificar a concordância entre a altura dos saltos obtidas pelos diferentes instrumentos de medida foi empregado um gráfico de dispersão de Bland-Altman.

A confiabilidade entre as alturas estimadas através dos métodos de medição utilizados no estudo foi realizada por meio do coeficiente de correlação intraclasse ($CCI_{2,K}$). A escolha do $CCI_{2,K}$ se deu pelo fato de que esse tipo de CCI leva em consideração a presença do erro sistemático e é calculado a partir da média das tentativas (k). As classificações adotadas para os valores de CCI foram “pobre” (<0,4), “justo” (0,4-0,59), “bom” (0,6-0,74) e “excelente” ($\geq$0,75) (CICCHETTI, 1994). Também foi utilizado o erro padrão da medida (EPM), que é um índice utilizado para quantificar a variação aleatória entre as diferentes medidas realizadas.

A análise estatística foi realizada utilizando o *Statistical Package of the Social Sciences* versão 21.0 (IBM SPSS Statistics for Windows, version 21.0. Armonk, NY, USA: IBM Corp.). Em todas as análises o nível de significância adotado foi de $\alpha<0,05$.

3. RESULTADOS

Inicialmente serão apresentados os dados descritivos referentes às variáveis do estudo. No segundo momento, serão apresentados os resultados do procedimento de Bland-Altman. E por fim, os valores de confiabilidade das variáveis do estudo.

A análise de dados foi realizada *intraday* para de ambas as coletas. Para os saltos padronizados no tapete de contato com o sensor inercial de baixo custo, foram utilizadas a média das alturas obtidas nas três tentativas de cada tarefa executada (SA e SCM). Nas tarefas realizadas na primeira e na segunda coleta do circuito de ações específicas (SB, SBL e SAT), a análise de dados foi realizada a partir da média das alturas obtidas em três execuções aleatórias de cada tipo de salto.

3.1 Dados referente às variáveis do estudo

As Tabelas 3 e 4 mostram os valores dos resultados do Test t pareado e a análise descritiva das alturas dos saltos verticais obtidas através dos diferentes instrumentos de mensuração utilizados.

Tabela 2 – Teste t e dados descritivos das alturas dos saltos verticais padronizados em centímetros (cm)

	TESTE T	TAPETE DE CONTATO		SENSOR INERCIAL	
		Média (± dp)	Amplitude	Média (± dp)	Amplitude
SA - 1ª coleta	0,417	31,5 ± 7,4	19,0 - 46,4	31,3 ± 7,7	17,3 - 48,5
SCM - 1ª coleta	0,064	32,3 ± 7,9	18,3 - 47,7	31,8 ± 7,8	16,9 - 49,9
SA - 2ª coleta	0,177	35,4 ± 7,7	19,9 - 49,5	35,7 ± 7,5	19,5 - 50,3
SCM - 2ª coleta	0,159	36,1 ± 7,6	20,3 - 49,7	36,4 ± 7,9	17,5 - 51,7

Legenda: DP – desvio padrão; SA – salto agachado; SCM – salto com contramovimento.
Fonte: Elaboração própria.

Tabela 3 - Teste t e dados descritivos das alturas dos saltos de bloqueio em centímetros (cm)

	TESTE T	ANÁLISE DE VÍDEO		SENSOR INERCIAL	
		Média (± dp)	**Amplitude**	**Média (± dp)**	**Amplitude**
SB - 1ª coleta	0,114	34,3 ± 8,9	15,6 – 48,3	34,0 ± 8,4	14,6 – 47,6
SBL - 1ª coleta	0,175	38,7 ± 9,9	17,77 – 51,1	87,4 ± 9,5	17,6 – 57,0
SAT - 1ª coleta	0,169	37,0 ± 10,5	12,7 – 55,4	36,6 ± 10,4	13,4 – 53,0
SB - 2ª coleta	0,099	34,9 ± 8,0	16,1 – 44,9	34,4 ± 8,2	14,3 – 46,0
SBL - 2ª coleta	0,223	37,2 ± 9,9	16,5 – 54,5	37,2 ± 9,9	16,6 – 53,4
SAT - 2ª coleta	0,174	35,6 ± 9,8	13,6 – 50,0	35,2 ± 10,2	13,5 – 50,9

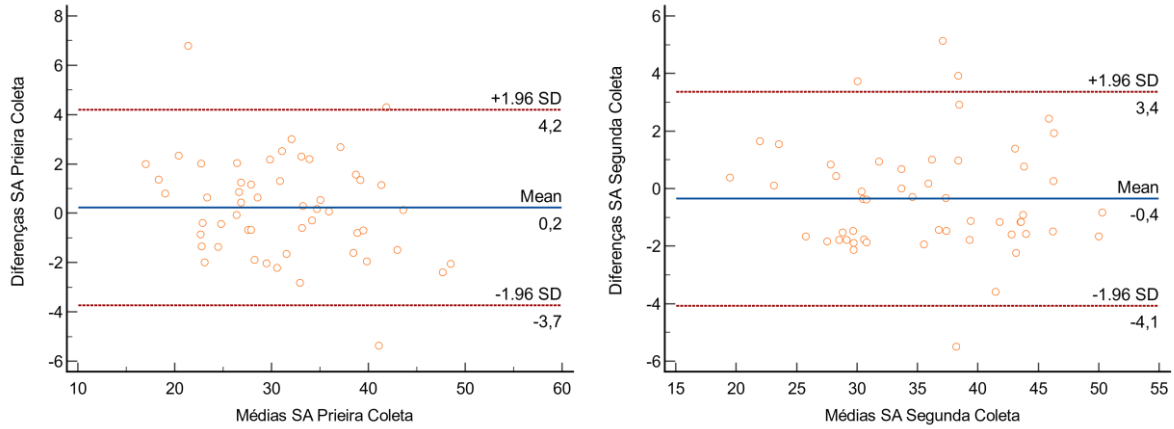
Legenda: DP – desvio padrão; SB – salto de bloqueio; SBL – salto de bloqueio com passada lateral; SAT – salto de ataque.
Fonte: Elaboração própria.

3.2 Validade concorrente entre tapete de contato e sensor inercial

A validade dos valores obtidos pelo tapete de contato e os sensores inerciais, foi analisada através do gráfico de dispersão de Bland-Altman, este método quantifica a concordância entre duas medidas. Em ambas as análises de validade concorrente o viés não foi significativo pelo teste t de amostra única.

A Figura 25 mostra a validade concorrente entre as médias das alturas dos saltos agachados obtidos pelo tapete de contato e sensores inerciais, na primeira (viés: 0,23; $IC_{95\%}$: -3,74 a 4,20) e segunda (viés: -0,35; $IC_{95\%}$: -4,07 a 3,37) coletas realizadas.

Figura 25: Gráfico de Bland-Altman da altura do salto mensurada pelo tapete de contato e sensores inerciais no SA (n=53)

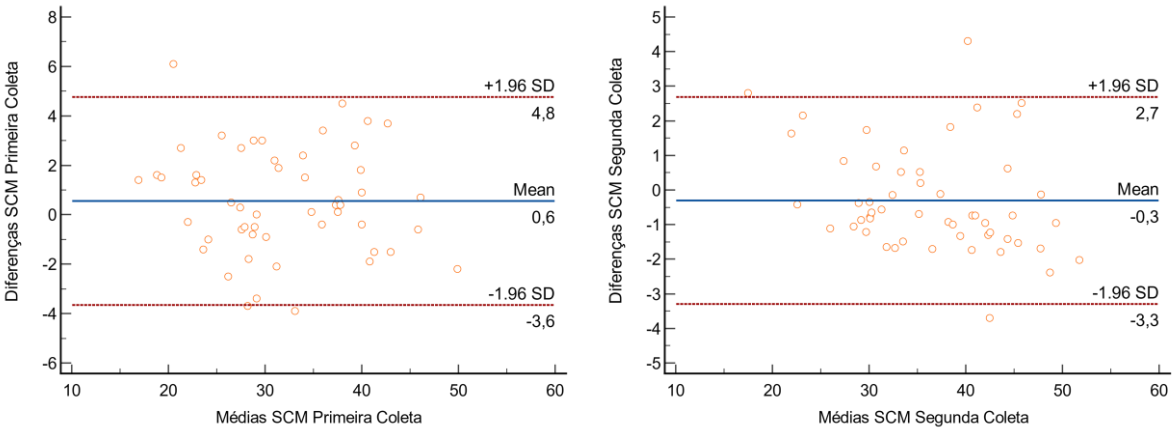


Legenda: SA – Salto agachado; n – quantidade de voluntários.

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 26 mostra a validade concorrente entre as médias das alturas dos saltos com contramovimento obtidos pelo tapete de contato e sensores inerciais, na primeira (viés: 0,56; $IC_{95\%}$: -3,67 a 4,78) e segunda (viés: -0,30; $IC_{95\%}$: -3,29 a 2,69) coletas realizadas.

Figura 26: Gráfico de Bland-Altman da altura do salto mensurada pelo tapete de contato e sensores inerciais no SCM (n=53)



Legenda: SCM – Salto com contramovimento; n – quantidade de voluntários.

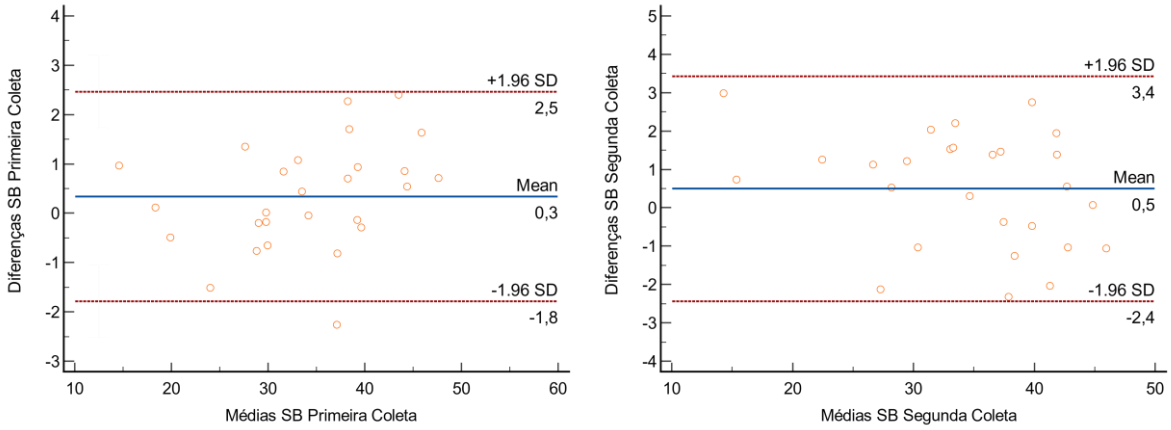
Fonte: Elaboração própria.

3.3 Validade concorrente entre análise de vídeo e sensor inercial

A validade dos valores obtidos pela análise de vídeo e os sensores inerciais, também foi analisada através do gráfico de dispersão de Bland-Altman. Em todas as análises de validade concorrente o viés não foi significativo pelo teste t de amostra única.

A Figura 27 mostra a validade concorrente entre as médias das alturas dos saltos de bloqueio obtidos pela análise de vídeo e sensores inerciais, na primeira (viés: 0,34; $IC_{95\%}$: 2,46 a -1,78) e segunda (viés: 0,49; $IC_{95\%}$: 3,43 a -2,44) coletas realizadas.

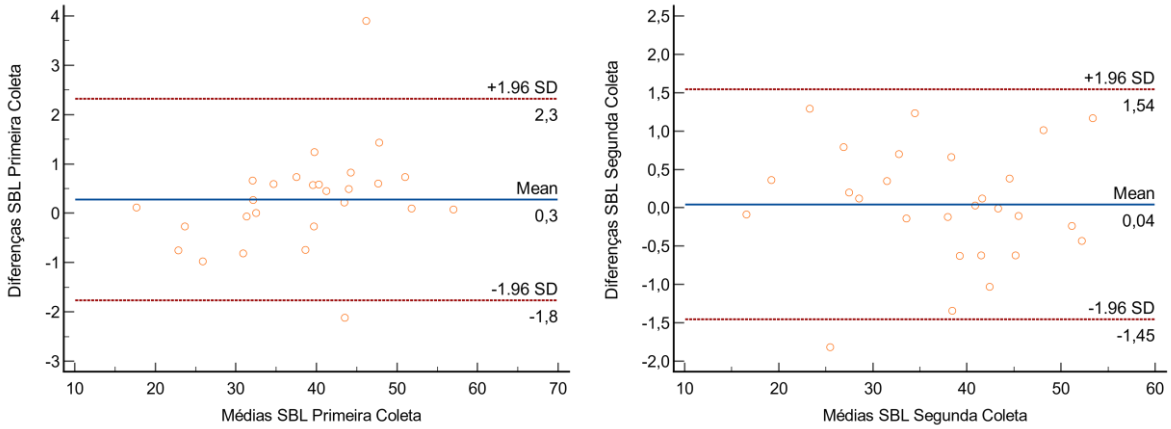
Figura 27: Gráfico de Bland-Altman da altura do salto mensurada pela análise de vídeo e sensores inerciais no SB (n=27)



Legenda: SB – Salto de bloqueio; n – quantidade de voluntários.
Fonte: Elaboração própria.

A Figura 28 mostra a validade concorrente entre as médias das alturas dos saltos de bloqueio com passada lateral obtidos pela análise de vídeo e sensores inerciais, na primeira (viés: 0,28; $IC_{95\%}$: 2,32 a -1,76) e segunda (viés: 0,04; $IC_{95\%}$: 1,54 a -1,45) coletas realizadas.

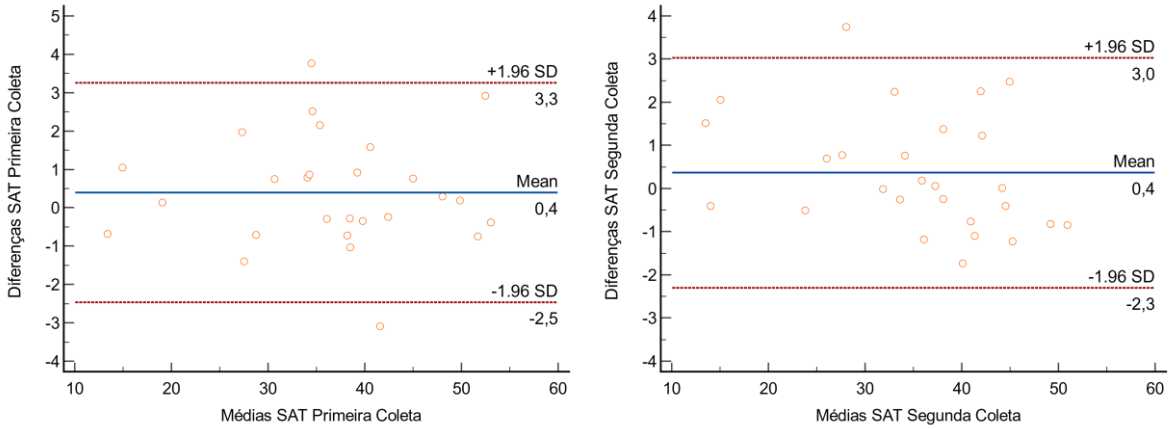
Figura 28: Gráfico de Bland-Altman da altura do salto mensurada pela análise de vídeo e sensores inerciais no SBL (n=27)



Legenda: SBL – Salto de bloqueio com passada lateral; n – quantidade de voluntários.
Fonte: Elaboração própria.

A Figura 29 mostra a validade concorrente entre as médias das alturas dos saltos de ataque obtidos pela análise de vídeo e sensores inerciais, na primeira (viés: 0,40; $IC_{95\%}$: 3,26 a -2,47) e segunda (viés: 0,37; $IC_{95\%}$: 3,03 a -2,30) coletas realizadas.

Figura 29: Gráfico de Bland-Altman da altura do salto mensurada pela análise de vídeo e sensores inerciais no SAT (n=27)



Legenda: SAT – Salto de ataque; n – quantidade de voluntários.
Fonte: Elaboração própria.

3.4 Confiabilidade das medidas de altura do salto

A confiabilidade mensurada pelo coeficiente de correlação intraclasse, o erro padrão da medida absoluto e relativo (EPM%) consideraram os valores médios obtidos nas tentativas dos saltos executados para as análises realizadas no estudo. Os resultados da análise entre o tapete de contato e o sensor inercial de baixo custo nos saltos padronizados estão descritos na Tabela 5 e a Tabela 6 apresenta os resultados entre a análise de vídeo e o sensor inercial de baixo custo nos SB, SBL e SAT realizados no circuito de ações especificas.

Tabela 4 - Resultados da análise de confiabilidade das medidas de altura dos SA e SCM mensuradas pelo tapete de contato e IMU de baixo custo (n=53)

Análise	Tipo de salto (coleta)	$CCI_{2,K}$	EPM (cm)	EPM%
Tapete de contato e Sensor inercial	SA (1ª coleta)	0,982*	1,43	5%
	SCM (1ª coleta)	0,980*	1,52	5%
	SA (2ª coleta)	0,984*	1,34	4%
	SCM (2ª coleta)	0,990*	1,08	3%

Legenda: n – quantidade de voluntários; CCI – coeficiente de correlação intraclasse; EPM – erro padrão da medida; EPM% – percentual do EPM em relação à média dos valores obtidos pelo sensor inercial; SA – salto agachado; SCM – salto com contramovimento; *(p=0,001).
Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5 - Resultados da análise de confiabilidade da medida das alturas dos SB, SBL e SAT mensuradas pela análise de vídeo e IMU de baixo custo (n=27)

Análise	Tipo de salto (coleta)	$CCI_{2,K}$	EPM (cm)	EPM%
Análise de vídeo e Sensor inercial	SB (1ª coleta)	0,996*	0,59	2%
	SBL (1ª coleta)	0,997*	0,54	2%
	SAT (1ª coleta)	0,995*	1,03	3%
	SB (2ª coleta)	0,991*	1,06	3%
	SBL (2ª coleta)	0,997*	0,54	1%
	SAT (2ª coleta)	0,995*	0,96	3%

Legenda: n – quantidade de voluntários; $CCI_{2,k}$ – coeficiente de correlação intraclasse; EPM – erro padrão da medida; EPM% – percentual do EPM em relação à média dos valores obtidos pelo sensor inercial; SB – salto de bloqueio; SBL – salto de bloqueio com passada lateral; SAT – salto de ataque; *(p=0,001).
Fonte: Elaboração própria.

Todas os resultados apresentaram valores de CCI significativos, maiores ou igual à 0,9, caracterizando confiabilidade excelente (Cicchetti, 1994). Os valores de EPM (%) variaram de 1% a 5%, indicando baixa variação do erro aleatório.

4. DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivos verificar a validade e confiabilidade do sensor inercial de baixo custo para a mensuração da altura dos saltos verticais agachado e com contra movimento, e a altura dos saltos de bloqueio com e sem passada lateral e altura dos saltos de ataque em atletas de voleibol no ambiente de prática esportiva. Os resultados do gráfico de Bland-Altman mostraram concordância da altura do salto obtida pelos sensores inerciais tanto com o tapete de contato nos saltos padronizados (SA e SCM), quanto nos saltos específicos do voleibol (SB, SBL e SAT) comparado à análise cinemática 2D. Em ambas as análises, o viés não foi significativo pelo teste t de amostra única, o que mostra que a altura do salto obtida pelo sensor inercial não foi super ou subestimada em relação à altura obtida utilizando os outros instrumentos. Além disso, os níveis de confiabilidade mensurados pelo coeficiente de correlação intraclasse em todos os saltos foram classificados como excelentes (CCI $\geq$ 0,75), sugerindo que os valores de altura coletados pelos sensores foram consistentes. Os resultados do erro padrão de medida percentual (EPM%) variaram de 1% a 5%, indicando baixa variação do erro aleatório em todos os saltos analisados. Em conjunto, esses resultados confirmam as hipóteses do presente estudo.

Como a habilidade de salto para jogadores de voleibol tem papel importante em relação ao nível de condicionamento físico, a quantificação precisa dessa habilidade pode ser útil tanto para treinamento quanto para competição (SATTLER *et al*., 2012). Neste sentido, os resultados de confiabilidade e validade referentes ao primeiro objetivo do estudo corroboram com diversos estudos que mensuraram a altura nos saltos padronizados (Macdonald *et al.,* 2017; Picerno, Camomilla, Capranica, 2011; Rantalainen, Finni, Walker, 2019; Silva *et al*., 2020). Os resultados do presente estudo concordam com os resultados do estudo de Rantalainen, Finni e Walker (2019), que realizaram os registros de SCM sobre o tapete de contato e identificaram um viés pequeno e não significativo entre a IMU e o tapete (viés = -0,1; $IC_{95\%}$: -4,5 a 4,4). Nossos resultados também mostraram um viés pequeno e não significativo entre a altura do salto obtida no tapete de contato e na IMU (viés = 0,56 cm; $IC_{95\%}$: -3,67 a 4,78 para primeira coleta e viés = -0,3 cm; $IC_{95\%}$: -3,29 a 2,69 para segunda coleta).

Cabe ressaltar que a escolha do tapete de contato como instrumento de referência foi no sentido de ampliar a validade ecológica ao realizar a coleta no ambiente de prática do voleibol. Os estudos prévios realizados pelo grupo (Geraldo, 2020; Silva *et al*., 2020), buscaram, em laboratório, verificar a validade e a confiabilidade do sensor inercial de baixo custo em comparação à analise cinemática 3D e plataforma de força, para medidas cinemáticas angulares de flexão-extensão dos joelhos e para a altura do salto, respectivamente, em atletas de voleibol durante a realização do SCM e do SBL. Ambos os estudos apresentaram altos valores de CCI, variando de 0,853 a 0,948 no estudo de Geraldo (2020) e de 0,980 a 0,997 no trabalho em questão e baixos valores de EPM (1,51 a 5,06 no estudo de 2020 e de 0,54 a 1,52cm no presente estudo). Já em Silva *et al*. (2020), a análise de concordância para a altura do SCM por meio do gráfico de dispersão de Bland-Altman entre a plataforma de força e o sensor com limiar de 10% e sem utilização da rotina de compensação do tronco, mostrou um viés não significativo (0,03), assim como o presente estudo, que o viés variou de 0,3 a 0,56 nas duas coletas para o SCM e de -0,35 a 0,23 no SA. Na análise de confiabilidade da altura do SCM, o estudo de Silva *et al*. (2020), apresentou altos valores de CCI (0,921) e baixos valores de EPM (2,71 cm), assim como o presente estudo em ambos os saltos verticais padronizados (CCI = 0,980 para primeira coleta e 0,990 para segunda coleta e EPM = 1,52cm para primeira coleta e 1,08cm para segunda coleta de SCM e CCI = 0,982 para primeira coleta e 0,984 para segunda coleta e EPM = 1,43cm para primeira coleta e 1,34cm para segunda coleta de SA). Além disso, Menzel *et al*. (2010) utilizaram o tapete de contato para verificar a validade e confiabilidade do teste de saltar e alcançar e na avaliação de SA, SCM e *salto em profundidade.* Assim como o presente estudo que apresentou elevados valores de confiabilidade e pequeno erro de medida para os diferentes saltos padronizados (CCI = 0,982 a 0,984 para SA e 0,980 a 0,990 para o SCM; EPM = 1,34 a 1,43cm no SA e 1,08 a 1,52cm no SCM), os resultados de Menzel *et al*. (2010) apresentaram excelentes valores de CCI e baixos valores de EPM (CCI = 0,960 para SA e 0,970 para o SCM; EPM = 0,92cm no SA e 0,80cm no SCM) para o SA e o SCM, o que permite inferir que se a técnica de SV for supervisionada por um avaliador experiente e for realizada corretamente, sem retirar as mãos da cintura, sem flexionar o tronco e joelhos na fase de voo e realizando a perda e retomada de contato com o solo em

flexão plantar, a medida obtida pelo tapete de contato pode ser confiável e com baixo erro de medida.

Outro aspecto a ser considerado é o algoritmo utilizado para o cálculo da altura do salto. Diversos algoritmos têm sido propostos na literatura (Macdonald *et al.,* 2017; Picerno, Camomilla, Capranica, 2011; Rantalainen, Finni, Walker, 2019; Silva *et al*., 2020). No presente estudo, o algoritmo para determinação da altura do salto utilizado foi o tempo de voo definido por dois instantes 1) quando a componente vertical da aceleração registrada se tornava inferior a um limiar após um pico significativo, referente ao início da fase de extensão de joelhos e quadril, e 2) quando a componente vertical da aceleração alcançasse valores superiores a esse limiar precedendo outro valor de pico significativo, referente ao "pico de impacto" da aterrissagem (Monnet *et al.,* 2014) e foi utilizado em um estudo prévio do nosso grupo de pesquisa (SILVA *et al*., 2020). Silva *et al*. (2020) verificaram a validade e confiabilidade da altura do SCM utilizando o mesmo sensor inercial, e verificaram uma elevada confiabilidade e um viés não significativo em relação a plataforma de força, sendo que o cálculo da altura do salto foi realizado pelo teorema do impulso-momento. Picerno, Camomilla e Capranica (2011), calcularam a estimativa de tempo de voo e altura do SCM através da velocidade de decolagem, utilizando uma rotina de correção do valor de componente vertical da aceleração pelo giroscópio, da rotação e inclinação do tronco durante o salto e obtiveram valores de confiabilidade da altura do salto classificado como excelente (CCI = 0,83) quando empregada a rotina de correção, classificação esta que se assemelha a do presente estudo (CCI = 0,980 a 0,990). Rantalainen, Finni e Walker (2019) utilizaram dois métodos para o cálculo da altura do SCM, sendo um através do tempo de voo, observando a aceleração de decolagem e aterrisagem, e o segundo integrando o sinal de aceleração vertical por integração trapezoidal e obtendo a velocidade e posteriormente a altura do salto. Contudo, os autores colocam algumas limitações que precisam ser consideradas ao interpretar os achados. No primeiro método, por exemplo, a velocidade máxima positiva e velocidade negativa foram usados como os instantes de decolagem e aterrissagem na definição do tempo de voo. Isso leva a uma superestimação do tempo de voo porque a velocidade máxima ocorre antes da decolagem real e a velocidade mínima ocorre após a aterrissagem. Desta forma, o fato de no presente estudo, não utilizarmos a integração da curva de aceleração como em Rantalainen, Finni e Walker (2019), ou a rotina para corrigir o valor de

aceleração pelo giroscópio proposta por Picerno, Camomilla e Capranica (2011), não resultou em uma redução na confiabilidade da medida e/ou no aumento do viés de medida da altura do salto. Mesmo com a utilização de diversos algoritmos, é possível verificar que os resultados dos estudos citados convergem, apresentando valores de confiabilidade e erro similares para os saltos padronizados (SA e SCM) aos do presente estudo. Neste sentido, outros aspectos relacionados ao custo computacional de implementação desse algoritmos, pensando na viabilidade para utilização no ambiente da prática com o avanço das técnicas de aprendizado de máquina, deveriam ser considerados na escolha do algoritmo mais adequado para o cálculo da variável altura do salto, considerando que os valores de confiabilidade e de erro são similares entre os diversos estudos nos saltos padronizados. Estudos futuros deveriam realizar uma comparação entre os diferentes algoritmos propostos na literatura, em termos de custo computacional e verificação de uma possível diferença nos valores de altura do salto. Se não houver diferença entre os algoritmos, sugere-se o de mais fácil implementação e de menor custo computacional.

Finalmente, os resultados de confiabilidade e validade referentes ao segundo objetivo do estudo corroboram com Borges *et al*. (2017), sendo que o sensor inercial utilizado foi uma ferramenta válida e confiável para mensurar as performances de SB e SAT fora do ambiente laboratorial, com valores similares entre os dois estudos. Ao analisar a concordância das alturas obtidas nos saltos específicos do voleibol (SB e SAT), é possível observar um viés não significativo no estudo de Borges *et al*. (2017) (viés = -4,77; $IC_{90\%}$: 0,67 a 0,81 para SB e viés = -5,45; $IC_{90\%}$: 0,68 a 0,81 para SAT), assim como no presente estudo (viés = 0,34; $IC_{95\%}$: 2,46 a -1,78 para SB na primeira coleta; viés = 0,49; $IC_{95\%}$: 3,43 a -2,44 para SB na segunda coleta; viés = 0,4; $IC_{95\%}$: 3,26 a -2,47 para SAT na primeira coleta e viés = 0,37; $IC_{95\%}$: 3,03 a -2,30 para SAT na segunda coleta). Borges *et al*. (2017) obtiveram valores de correlação moderados (r = 0,75) nos saltos de ataque e de bloqueio, enquanto o presente estudo mostra valores excelentes de correlação (CCI = 0,996 para primeira coleta de SB; CCI = 0,991 para segunda coleta de SB; CCI = 0,995 para ambas as coletas de SAT). Ao avaliar as diferenças médias entre as alturas obtidas pelo sensor e os valores de referência da análise de vídeo, o presente estudo apresenta, valores de erro aleatório (EPM% = 2% na primeira coleta, EPM% = 3% na segunda coleta; EPM% = 3% para SAT) menores do que os obtidos no estudo de 2017 (EPM% =

7,9% para SB; EPM% = 7,8% para SAT). Cabe destacar um aspecto importante de como foram mensuradas a concordância entre o nosso estudo e o de Borges *et al*. (2017). Entende-se que a medição de variáveis sempre implica em algum grau de erro quando dois instrumentos são comparados, pois nenhum dos dois fornece uma solução inequivocamente correta da medição, e, portanto, torna-se interessante avaliar o grau de concordância entre os dois instrumentos (Giavarina, 2015). Para avaliar esse grau de concordância, a correta abordagem estatística não é óbvia. O estudo de Borges *et al*. (2017), utilizou o coeficiente de correlação produto-momento (r) de Pearson entre os resultados de dois métodos de medição como um indicador de concordância. No entanto, a correlação estuda a relação entre uma variável e outra, não as diferenças, e não é recomendado como método para avaliar a comparabilidade entre métodos (Giavarina, 2015). Neste sentido, a utilização do gráfico de Bland-Altman como indicador da concordância entre os dois instrumentos, é a ferramenta estatística mais indicada (Bland, Altman, 1986) e os resultados serão discutidos em função dessa abordagem estatística. Como mostrado nas figuras 27 e 29, 95% dos resíduos ficaram dentro dos limites de concordância de Bland-Altman, indicando uma elevada validade concorrente entre os instrumentos e com um viés não significativo (viés = 0,34 para SB na primeira coleta; viés = 0,49 para SB na segunda coleta; viés = 0,4; para SAT na primeira coleta e viés = 0,37 para SAT na segunda coleta). Esses resultados demonstram que o algoritmo utilizado no presente estudo, também se mostrou válido e confiável na determinação da altura dos saltos específicos do voleibol (SB, SBL e SAT). Conforme sugerido previamente, estudos futuros deveriam comparar a performance de diferentes algoritmos na determinação da altura do salto. Além disso, pode-se especular que o algoritmo proposto por Rantalainen, Finni e Walker (2019), poderia apresentar maiores erros no processo de integração, pois os limites de integração não estariam bem definidos o que poderia levar ao *drift* no processo de integração numérica o que acarretaria um erro maior no cálculo da altura do salto.

4.1 Limitações e sugestões de estudos futuros

Uma das limitações do presente estudo é que os sensores inerciais foram configurados para registrar os dados a 150Hz, mas o mesmo tende a apresentar ligeiras oscilações próximas ao valor configurado previamente. E nos dados emitidos, é apresentada apenas a frequência média de aquisição a longo da coleta, e não a frequência instantânea em que cada dado é coletado. Considerando que o método utilizado para obtenção da altura máxima do salto nesse estudo está relacionado diretamente à medida do tempo de voo, calculada a partir do número de amostras obtidas entre os instantes definidos, o fato da frequência não ser completamente estável interfere em saber a frequência real durante os saltos analisados. Outra limitação deste estudo é que cuidados devem ser tomados na generalização desses resultados. Os atletas que realizaram os saltos neste estudo eram das categorias sub-16 a sub-19, o que implica que ainda não são experts na realização de tais saltos e, portanto, apresentam uma maior variabilidade na execução do gesto técnico do salto de bloqueio e/ou ataque.

Sugestões futuras são dadas para a realização de estudos que avaliem a validade e confiabilidade dos sensores inerciais de baixo custo em ambiente de prática esportiva, utilizando-se a frequência instantânea ao invés da frequência média de aquisição. Outra sugestão é realizar a análise da altura do salto vertical de forma concomitante em vários jogadores da equipe, com mais unidades de sensor inercial para verificar a confiabilidade intra e inter IMUs. Além disso, sugere-se que estudos futuros utilizem técnicas de *machine learning* para identificação automática do número de saltos realizados em uma sessão de treinamento.

5. CONCLUSÃO

Os resultados do presente estudo demonstram que houve concordância entre a altura do salto mensurada pelos equipamentos de referência utilizados e o sensor inercial de baixo custo, sendo viável a utilização da IMU em tarefas de salto vertical padronizado e de saltos de ataque e de bloqueio com e sem passada lateral em ambiente esportivo com o objetivo de se mensurar a altura do salto vertical.

REFERÊNCIAS

ADESIDA, Y.; PAPI, E.; MCGREGOR, A.H. Exploring the role of wearable technology in sport kinematics and kinetics: a systematic review. **Sensors**, v.19, n.7, p.1-27, 2019.

ARAGÓN, L. F. Evaluation of Four Vertical Jump Tests: methodology, reliability, validity, and accuracy. **Measurement in Physical Education and Exercise Science**, v. 4, n. 4, p. 215 – 228, 2000.

BERRIEL, G. P.; FONTOURA, A.; FOPPA, G. Avaliação quantitativa de saltos verticais em atletas de voleibol masculino na Superliga 2002/2003. **Revista Digital - Buenos Aires**, ano 10 - n 73, 2004.

BLAND J. M.; ALTMAN D. G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. **Lancet**. Feb 8;1(8476):307-10. PMID: 2868172, 1986.

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

BORGES T.O., MOREIRA A., BACCHI R., *et al*. Validation of the VERT wearable jump monitor device in elite youth volleyball players. **Biol Sport,** 34(3):239-242, 2017.

BURSAIS, A. K. *et al*. The Relationship between Accelerometry, Global Navigation Satellite System, and Known Distance: A Correlational Design Study. **Sensors**. 22. 3360. 10.3390/s22093360. 2022

CICCHETTI D. V. Guidelines, criteria, and rules of thumb for evaluating normed and standardized assessment instruments in psychology. **Psychol Assess**, v. 6, p. 284–90. 1994.

CHAMBERS, R.; GABBETT, T. J.; COLE, M. H. & BEARD, A. The use of Wearable Microsensors to quantify sport-specific movements. **Sports Medicine**, 45, 1065-1081. 2015.

DAVIDS, K. Ecological validity in understanding sport performance: some problems of defi nition. **Quest**, Champaign, v.40, p.126-36, 1988.

ESPER, A. Cantidad y tipos de saltos que realizan las jugadoras de voleibol en un partido. **Buenos Aires: revista digital** http://www.efdeportes.com, n 58, 2003.

FEDERAÇÃO INTERNACIONAL DE VOLEIBOL. **Volleyball The game**. Disponível em:https://www.fivb.com/en/volleyball/thegame_glossary/basicvolleyballrules. Acesso em: 23 de julho de 2021.

FERREIRA, J. C.; CARVALHO, R. G. S. ; SZMUCHROWSKI, L. A. Validade e confiabilidade de um tapete de contato para mensuração da altura do salto vertical. **Revista Brasileira de Biomecânica**, v. 9, p. 39-45, 2008.

GABBETT, T.; GEORGIEFF, B. Physiological and anthropometric characteristics of Australian junior national, state and novice volleyball players. **J Strength Cond Res**, v.21, p. 902 – 908, 2007.

GERALDO, G. F. **Validade e confiabilidade do sensor inercial de baixo custo para avaliação cinemática de membros inferiores em atletas de voleibol.** Dissertação (Mestrado em Ciências do Esporte) - Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Universidade Federal de Minas Gerais. 2020.

GIAVARINA, D. Understanding Bland Altman analysis. **Biochemia Medica**. 25. 141-151. 10.11613/BM.2015.015, 2015.

HOLZEMANN, A.; LAERHOVEN, K.V. Using wrist-worn activity recognition for basketball game analysis. **5th International Workshop on Sensor-Based Activity Recognition and Interaction**, 2018, Berlin, Germany. Annals. Berlin: ACM, p.1-6, 2018.

KIBELE, A. Possibilities and Limitations in the Biomechanical Analysis of Countermovement Jumps: A Methodological Study. **Journal Of Applied Biomechanics**, 1998,14,105-117, 1998.

KRÖLL, J.; FRITZ, J.; SCHWAMEDER H. The 2d trochanter tracking method: a low cost alternative when assessing vertical power-force-velocity profiles? **35th Conference of the International Society of Biomechanics in Sports**, Cologne, Germany, June 14-18, 2017.

LIDOR R, ZIV G. Physical and physiological attributes of females volleyball players - A review. **J Strength Cond Res**. 2010; 24: 1963-73.

LIMA, J. S. B. **Efeito da posição inicial do salto agachado no desempenho em jogadores de voleibol.** Dissertação (Mestrado em Ciências do Esporte) - Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Universidade Federal de Minas Gerais. 2015.

LINTHORNE, N. P. Analysis of standing vertical jumps using a force platform. **American Association of Physics Teachers**, v. 69, p. 1198 – 1204, 2001.

LOBIETTI, R. A review of blocking in volleyball: from the notational analysis to biomechanics. **Journal of Human Sport & Exercise**, v. 4, n. 2, p. 93 – 99, 2009.

MACDONALD, K.; BAHR, R.; BALTICH, J.; WHITTAKER, L, J.; MEEUWISSE, H. W.; Validation of an inertial measurement unit for the measurement of jump count and height. **Physical Therapy in Sport** 25, 2017.

MENZEL, H. J.; CHAGAS, M. H.; CRUZ, G. L. H. Identification of bilateral asymmetries in lower limbs of soccer players by vertical jumps on a double force platform**. IXXIVISBS Symposium**. Salzburg, Austria, 1-4 p, 2006.

MENZEL, H. J.; CHAGAS, M. H.; SZMUCHROWSKI, L. A.; ARAUJO, S.; CAMPOS, C. E.; GIANNETTI, M. R. Usefulness of the Jump and Reach Test in Assessment of Vertical Jump Performance. **Perceptual and motor skills.** 110. 150-8. 10.2466/PMS.110.1.150-158, 2010.

MONNET, T.; DECATOIRE, A.; LACOUTURE, P. Comparison of algorithms to determine jump height and flight time from body mounted accelerometers. **Sports Engineering**, 17, 249–259. 2014.

OLIVEIRA, M. P.; COUTO, B P.; MELO, C. C.; JUNIOR, J. L.; FLÔR, C. A. G.; SZMUCHROWSKI, L. A.; ANDRADE, A. G. P. Efeito de diferentes durações de pausas sobre o salto com contramovimento. **J. Phys. Educ.** 29, 2018.

PAULA, J. de; MELO, L.; COLATO, R.; MORAES, E.; BICALHO, M.; HAMDAN, A.; DINIZ, L. Fidedignidade e validade de construto do Teste de Aprendizagem Auditivo-Verbal de Rey em idosos brasileiros. **Revista de Psiquiatria Clínica**, v. 39, p. 19-23, 2012.

PICERNO, P.; CAMOMILLA, V.; CAPRANICA, L. Countermovement jump performance assessment using a wearable 3D inertial measurement unit. **Journal of Sports Sciences.** v. 29, n.2, p.139–146, 2011.

RANTALAINEN, T.; FINNI, T.; WALKER, S. Jump height from inertial recordings: A tutorial for a sports scientist. **Scand J Med Sci Sports.** 00:1–8, 2019.

SANTOS NETO S. C. A evolução das regras visando o espetáculo no voleibol. **Efdeportes Revista Digital,** Buenos Aires, ano 10, n.76, 2004. Disponível em: http://www.efdeportes.com/efd76/volei.htm Acesso em: 23 de julho de 2021.

SILVA, F. G.; PAULA, L. V.; GERALDO, G. F. PEIXOTO, G. H. C.; CHAGAS, M. H.; ANDRADE, A. G. P. Validade e confiabilidade de um sensor inercial de baixo custo na mensuração da altura do salto com contramovimento. **7º Encontro Nacional de Engenharia Biomecânica.** 2020.

SATTLER, T. *et al*. Vertical jumping tests in volleyball: reliability, validity and playin-position specifics. **Journal of Strength and Conditioning Research**, V. 26, N. 6, P. 1532-1538, 2012.

SATTLER, T.; HADZIC, V.; DERVISEVIC, E.; MARKOVIC, G. Vertical jump performance of professional male and female volleyball players: effects of playing position and competition level. **Journal of Strength and Conditioning Research**. v. 29, n.6, p. 1486-1493, 2015.

THOMAS, J.; NELSON, J.; SILVERVAN, S. **Métodos de pesquisa em atividade física**. 6ª ed. Dados eletrônicos. Porto Alegre. Artmed, 2012.

VAN DER KRUK, E.; REIJNE, M. Accuracy of human motion capture systems for sport applications; state-of-the-art review. **European Journal of Sport Science**. 18. 1-14. 10.1080/17461391.2018.1463397, 2018.

WANG, L.-I.; GU, C.-Y.; CHEN, W.-L.; CHANG, M.-S. Potential for non-contact ACL injury between step-close-jump and hop-jump tasks. J**ournal of Sports Science and Medicine**. v. 9, n.1, p.134-9, 2010.

WUNDERSITZ, D.WT.; JOSMAN, C.; GUPTA, R.; NETTO, K.J.; GASTIN, P.B.; ROBERTSON, S. Classification of team sport activites using a single wearable tracking device. **Journal of Biomechanics**, v.48, n.15, p.3975-3981, 2015.

YANG, C. C.; HSU, Y. L.; “A Review of Accelerometry Based Wearable Motion Detectors for Physical Activity Monitoring,” **Sensors**, 10(8), pp. 7772-7788, 2010.

ANEXOS

ANEXO A – Comprovante de aprovação do projeto pelo COEP/UFMG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DA EMENDA

Título da Pesquisa: Validade e confiabilidade do sensor inercial para a mensuração da assimetria bilateral de membros inferiores na realização de saltos verticais em jogadores de voleibol

Pesquisador: André Gustavo Pereira de Andrade
Área Temática:
Versão: 4
CAAE: 86429718.3.0000.5149
Instituição Proponente: Escola de Educação Física da Universidade Federal de Minas Gerais
Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 5.073.598

Apresentação do Projeto:
Trata-se de emenda, jusitificada a seguir "Após o envio do trabalho para publicação, foi sugerido por pareceristas a inclusão de uma nova análise de utilização do sensor inercial de baixo custo, para verificar a validade ecológica e confiabilidade do mesmo em ambiente de prática esportiva de voleibol, e para tal análise, será necessária também uma prorrogação das coletas de dados. Para tanto, será incluído o tapete de contato e a câmera de ação GoPro, com o objetivo de realizar o registro das coletas e a verificação da altura dos saltos verticais no ambiente da prática esportiva através da realização de um novo procedimento, um circuito de habilidades específicas do Voleibol. Após a coleta em ambiente laboratorial, a coleta no circuito será realizada de forma individual em quadra esportiva, onde serão realizadas 06 tentativas do circuito com um intervalo de 30 segundos. Em todo momento as medidas sanitárias de prevenção do COVID -19 serão tomadas. Os novos procedimentos experimentais estão descritos na brochura do projeto em anexo. As novas datas para coletas de dado serão realizadas no período de 01/10/2021 até 10/04/2022."

Objetivo da Pesquisa:
Objetivo Primário:
Verificar a validade concorrente e a confiabilidade do sensor inercial na identificação da assimetria bilateral (AB), cinética e cinemática, em jogadores de voleibol durante a realização do SCM e SA.

Endereço: Av. Presidente Antonio Carlos, 6627 ¿ 2º. Andar ¿ Sala 2005 ¿ Campus Pampulha
Bairro: Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901
UF: MG **Município:** BELO HORIZONTE
Telefone: (31)3409-4592 **E-mail:** coep@prpq.ufmg.br

Objetivo Secundário:
Verificar a validade ecológica do sensor inercial no salto de bloqueio com deslocamento lateral, para a identificação da assimetria bilateral (AB) cinemática. Verificar a validade ecológica e confiabilidade do sensor inercial de baixo custo no ambiente de prática esportiva de voleibol.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:
Riscos:
Os testes de saltos verticais e do circuito de habilidades são regularmente utilizados em pesquisas envolvendo a avaliação da potência de membros
inferiores e análise técnica e tática, respectivamente, sendo que os riscos associados à sua prática são similares àqueles de atividade cotidianas. A
possibilidade da ocorrência de riscos como constrangimento, cansaço ou desconforto durante a prática dos saltos e do circuito são desconhecidos.
Adicionalmente, não foram encontrados relatos de algum tipo de lesão ou prejuízo durante a realização dos mesmos.
Benefícios:
Os possíveis benefícios que você poderá esperar com a sua participação, mesmo que não diretamente, são: informações sobre o desempenho nos saltos, e isso poderá auxiliar os treinadores no direcionamento dos treinamentos.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:
Pesquisa relevante para o corpo de conhecimento. Emenda justificada e com alterações adequadas nos documentos.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:
Todos os documentos de apresentação obrigatória foram apresentados.

Recomendações:
Somos a favor, S.M.J., de aprovação do projeto

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:
Projeto aprovado

Considerações Finais a critério do CEP:
Tendo em vista a legislação vigente (Resolução CNS 466/12), o CEP-UFMG recomenda aos Pesquisadores: comunicar toda e qualquer alteração do projeto e do termo de consentimento via emenda na Plataforma Brasil, informar imediatamente qualquer evento adverso ocorrido durante o desenvolvimento da pesquisa (via documental encaminhada em papel), apresentar na forma de

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

notificação relatórios parciais do andamento do mesmo a cada 06 (seis) meses e ao término da pesquisa encaminhar a este Comitê um sumário dos resultados do projeto (relatório final).

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_1793372_E2.pdf	09/09/2021 15:56:58		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	ProjetoGislaine_ALTERADO.docx	09/09/2021 13:33:53	André Gustavo Pereira de Andrade	Aceito
Cronograma	cronogramagislaine_ALTERADO.docx	09/09/2021 13:29:48	André Gustavo Pereira de Andrade	Aceito
Outros	CartaJustificativaEmenda4.pdf	09/09/2021 13:29:22	André Gustavo Pereira de Andrade	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TALE_Gislaine_ALTERADO.docx	09/09/2021 13:28:36	André Gustavo Pereira de Andrade	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLEPAIS_ALTERADO.docx	09/09/2021 13:28:23	André Gustavo Pereira de Andrade	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLEGislaine_ALTERADO.docx	09/09/2021 13:28:00	André Gustavo Pereira de Andrade	Aceito
Outros	Cartaresposta.doc	14/09/2018 13:33:21	André Gustavo Pereira de Andrade	Aceito
Outros	86429718parecer.pdf	23/04/2018 21:23:18	Vivian Resende	Aceito
Outros	86429718parecer.pdf	23/04/2018 21:23:18	Vivian Resende	Aceito
Outros	86429718aprovacao.pdf	23/04/2018 21:23:06	Vivian Resende	Aceito
Outros	86429718aprovacao.pdf	23/04/2018 21:23:06	Vivian Resende	Aceito
Folha de Rosto	folhaderosto.pdf	20/03/2018 17:09:12	André Gustavo Pereira de Andrade	Aceito
Outros	cartadeencaminhamento.jpg	19/03/2018 14:52:36	André Gustavo Pereira de Andrade	Aceito
Outros	cartadepermissao.jpg	19/03/2018 14:51:39	André Gustavo Pereira de Andrade	Aceito
Outros	termodecompromisso.jpg	19/03/2018	André Gustavo	Aceito

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Continuação do Parecer: 5.073.598

Outros	termodecompromisso.jpg	14:50:25	Pereira de Andrade	Aceito
Outros	parecer.jpg	19/03/2018 14:45:09	André Gustavo Pereira de Andrade	Aceito

Situação do Parecer:
Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:
Não

BELO HORIZONTE, 31 de Outubro de 2021

Assinado por:
Críssia Carem Paiva Fontainha
(Coordenador(a))

Endereço: Av. Presidente Antonio Carlos, 6627 ¿ 2º. Andar ¿ Sala 2005 ¿ Campus Pampulha
Bairro: Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901
UF: MG **Município:** BELO HORIZONTE
Telefone: (31)3409-4592 **E-mail:** coep@prpq.ufmg.br

ANEXO B – QUESTIONÁRIO SINTOMAS COVID 19

As Portarias 0372/2020, de 19 de Setembro de 2020, autorizam, respectivamente, o atendimento ao público do setor de academias de esportes e similares, e atividades presenciais práticas em centros de treinamentos esportivos de alto rendimento.
A Portaria SMSA/SUS-BH nº 312/2020 de 28 de Agosto de 2020, prevê que os envolvidos em atividades esportivas respondam, a cada sessão, a uma pesquisa em caráter informativo sobre os sintomas da COVID-19.
Este questionário permite a identificação e o encaminhamento apropriado, garantindo a segurança individual e coletiva.
É importante ressaltar que o questionário é autodeclarado e, por isso, ao preenchê-lo você assume a responsabilidade pela veracidade das informações fornecidas.

Nome completo: _____

1. Você teve algum desses sintomas nos últimos 7 dias: tosse; dor de garganta; congestão nasal; falta de ar; dificuldade para respirar; perda ou alteração súbita de paladar (sabor das coisas); ou perda súbita de olfato (deixou de sentir cheiros)?
   ( ) SIM ( ) NÃO

2. Você teve algum desses sintomas nos últimos 3 dias: cansaço anormal; dor no corpo importante ou que chame a atenção; diarreia; vômito; ou náusea?
   ( ) SIM ( ) NÃO

3. Está apresentando febre ou sensação febril?
   ( ) SIM ( ) NÃO

4. Esteve perto de alguém apresentando algum desses sintomas nos últimos 14 dias?
   ( ) SIM ( ) NÃO

5. Mora com alguém doente ou em quarentena?
   ( ) SIM ( ) NÃO

6. Pertence ao grupo de risco? São considerados como grupo de risco, além daqueles a partir de 60 anos, os portadores de doenças pulmonares (asma, bronquite e enfisema), doenças cardiovasculares (hipertensão, infarto prévio, insuficiência cardíaca e miocardiopatias, diabetes, obesidade e imunodeficiências).
   ( ) SIM ( ) NÃO

APÊNDICES

APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

(Terminologia obrigatória em atendimento à resolução 466/12 - CNS-MS)

Venho por meio deste convidar o menor idade _____ pelo qual você é pai e/ou responsável, a participar como voluntário do estudo "VALIDADE E CONFIABILIDADE DO SENSOR INERCIAL DE BAIXO CUSTO NO AMBIENTE DE PRÁTICA E TREINAMENTO ESPORTIVO DO VOLEIBOL" sob a orientação do Professor Dr. André Gustavo Pereira Andrade e Natália Scalabrini Taurinho (Mestranda).

OBJETIVO DO ESTUDO

Verificar a validade e a confiabilidade do uso de sensores de baixo custo para mensurar saltos do voleibol durante treinamentos rotineiros de uma equipe em ambiente de prática esportiva. E de dois tipos de saltos verticais padronizados (agachado e com contramovimento).

VOLUNTÁRIOS

Para participar deste estudo os voluntários deverão ter idade entre 15 e 18 anos; ter no mínimo 6 meses de experiência em um processo de treinamento sistematizado na modalidade voleibol; ausência de histórico de lesões ou dores musculoesqueléticas nos membros inferiores (MMII); não estar em processo de reabilitação de qualquer tipo de lesão de MMII ou coluna vertebral; não ter sido submetido a algum procedimento cirúrgico nos últimos seis meses e não apresentar fator incapacitante que impeça a realização dos movimentos ou que comprometa negativamente o desempenho nos testes.

ENCONTROS

Todos os encontros serão realizados no Olympico Club, local de treino do atleta. Serão quatro encontros: (1) saltos verticais, (2) circuitos de habilidades especificas, (3 e 4) segunda sessão de coleta de saltos e do circuito.

PROCEDIMENTOS

Na primeira parte do encontro, o voluntário será orientado e receberá todas as informações dos procedimentos da pesquisa, além de conhecer todos os instrumentos da coleta, e quaisquer outras dúvidas serão sanadas e respondidas. Caso concorde em se voluntariar, no primeiro momento serão respondidos uma anamnese e o questionário de *Waterloo para* preferência lateral, serão realizadas as medidas antropométricas e em sequencias serão realizados os testes de saltos, sendo eles o salto agachado (SA) e o salto com contramovimento (SCM. No segundo encontro será realizado o circuito de habilidades especificas. E os dois últimos dias serão respectivamente para segunda sessão de coleta da realização dos saltos verticais padronizados e do circuito.

RISCOS E BENEFÍCIOS

Os testes de saltos verticais são regularmente utilizados em pesquisas envolvendo a avaliação da potência de membros inferiores, sendo que os riscos associados à sua prática são similares àqueles de atividade cotidianas. A possibilidade da ocorrência de riscos como constrangimento, cansaço ou desconforto durante a prática dos saltos são desconhecidos. Adicionalmente, não foram encontrados relatos de algum tipo de lesão ou prejuízo durante a realização dos mesmos.

Não é esperado exposição a condições que gerem dano psicológico ou constrangimento, no entanto, caso se sinta de alguma forma lesado, ameaçado ou constrangido, você tem liberdade para

abandonar a pesquisa, sem qualquer justificativa ou ônus. Ainda, todas as suas informações pessoais serão mantidas em sigilo, impossibilitando a sua identificação por terceiros.
Os possíveis benefícios que poderá esperar com a participação, mesmo que não diretamente, são: informações sobre o desempenho nos saltos e em treinamentos o que poderá auxiliar os treinadores no direcionamento dos treinamentos.
Sempre que desejar, será fornecido esclarecimento sobre qualquer etapa do estudo.
Este termo de consentimento será emitido em duas vias, uma que ficará com você, a outra com os pesquisadores.
A qualquer momento, você poderá interromper a participação na pesquisa e, também, poderá retirar seu consentimento, sem que isso lhe traga qualquer prejuízo.
Em caso de dúvida sobre questão ética, ou qualquer denúncia, você poderá comunicar ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (CEP-UFMG), contatos seguem abaixo, de forma anônima, sem sofrer qualquer prejuízo.
As informações conseguidas através da participação não permitirão a identificação da pessoa, exceto aos responsáveis pelo estudo, e a divulgação das mencionadas informações só será feita entre os profissionais estudiosos do assunto.
Quaisquer informações de ordem pessoal jamais serão compartilhadas, arquivadas ou utilizadas para outro fim do que o necessário à realização dos procedimentos.
Finalmente, você, _____ tendo compreendido perfeitamente tudo o que lhe foi informado a respeito da participação no mencionado estudo, e estando consciente dos seus direitos, das suas responsabilidades, dos riscos e dos benefícios que a participação implicam, concorda em participar e DÁ SEU CONSENTIMENTO, AFIRMANDO QUE PARA ISSO NÃO FOI FORÇADO OU OBRIGADO A AUTORIZAR.

Endereço dos responsáveis pela pesquisa:
Pesquisador responsável: Prof. Dr. André Gustavo Pereira Andrade
Natália Scalabrini Taurinho (aluna de Mestrado)
Instituição: UFMG / Escola de Educação Física Fisioterapia e Terapia Ocupacional / BIOLAB - CENESP
Endereço: Av. Antônio Carlos, 6627
Bairro: Pampulha. CEP. 31270-901 Cidade: Belo Horizonte / MG.
Telefones p/contato: (31) 99306 - 4424 (Contato: Natália Scalabrini Taurinho)

ATENÇÃO: Para informar ocorrências irregulares ou danosas durante a sua participação no estudo, dirija-se ao:
Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais:
Unidade Administrativa II, 2º andar, sala 2005, Campus Pampulha
Av. Antônio Carlo**s, 6627. Belo Horizonte / MG. CEP: 31270-901**
Telefone: 3409-4592

Belo Horizonte, _____ de _____ de 2021.

Assinatura do pai e/ou responsável
(Rubricar as demais folhas)

Prof. Dr. André Gustavo Pereira de Andrade
(Rubricar as demais folhas)

APÊNDICE B – TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

(Anuência do participante da pesquisa, criança, adolescente ou legalmente incapaz)

Você está sendo convidado a participar do estudo **"**Validade e confiabilidade do sensor inercial de baixo custo no ambiente de prática e treinamento esportivo do voleibol". O presente estudo tem como objetivo verificar a validade e a confiabilidade do uso de sensores de baixo custo para mensurar saltos do voleibol durante treinamentos rotineiros de uma equipe em ambiente de prática esportiva. E de dois tipos de saltos verticais padronizados (agachado e com contramovimento). Durante o estudo, você irá comparecer a quatro sessões de testes, realizados no Olympico Club, envolvendo (1) saltos verticais, e (2) circuitos de habilidades especificas, (3 e 4) retestes de saltos e do circuito. Os testes de saltos utilizados serão Salto Agachado (SA) e Salto com contramovimento (SCM e para avaliação no circuito serão realizadas atividades de habilidades esportivas específicas do voleibol.

Ao participar deste estudo, não é esperado que você seja exposto a condições que gerem dano psicológico ou constrangimento, no entanto, caso você se sinta de alguma forma lesado, ameaçado ou constrangido, você tem liberdade para abandonar a pesquisa, sem qualquer justificativa ou ônus. Ainda, todas as suas informações pessoais serão mantidas em sigilo, impossibilitando a sua identificação por terceiros.

A participação é voluntária, e caso você não queira participar não será punido por isso. A pesquisa poderá trazer informações relevantes sobre o desempenho nos saltos e nos treinamentos, e isso poderá auxiliar os treinadores no direcionamento dos treinamentos.

Este termo de assentimento possui duas vias impressas e originais, sendo que uma será arquivada pelo pesquisador responsável, e a outra será entregue a você. Os resultados e imagens da pesquisa serão arquivados pelo pesquisador responsável em um computador reservado para isso, sendo que apenas o pesquisador terá acesso a esses dados. O pesquisador não irá disponibilizar os seus resultados para outra pessoa, a não ser você ou seu responsável, e não utilizará o seu nome para identificá-lo em qualquer texto que mostre os seus resultados (Resoluções Nº 466/12; 441/11 e a Portaria 2.201 do Conselho Nacional de Saúde e suas complementares.

Eu, _____, fui informado (a) dos objetivos, métodos, riscos e benefícios da pesquisa **"**Validade e confiabilidade do sensor inercial de baixo custo no ambiente de prática e treinamento esportivo do voleibol**"**, e concordo em participar da mesma. Entendi claramente o que é para ser feito e tirei todas as minhas dúvidas. Sei que a qualquer momento posso pedir novas informações e, também, pedir para sair da pesquisa quando desejar. Recebi uma via original deste termo de consentimento livre e esclarecido assinado por mim e pelo pesquisador, que me deu a oportunidade de ler e esclarecer todas as minhas dúvidas.

Assinatura do pesquisador: _____

Assinatura do voluntário: _____

Local e data: _____, _____/_____/_____

Nome completo do Pesquisador: Natália Scalabrini Taurinho

Endereço: Rua Marcazita, 142 – São Cristóvão – Belo Horizonte – MG – CEP 31230-730

Telefone: (31) 99306-4424 E-mail: natyesportes@gmail.com

_____

Assinatura do pesquisador

Em caso de dúvidas, com respeito aos aspectos éticos desta pesquisa, você poderá consultar:

COEP-UFMG - Comissão de Ética em Pesquisa da UFMG

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

Campus Pampulha. Belo Horizonte, MG – Brasil. CEP: 31270-901.

E-mail: coep@prpq.ufmg.br. Tel: 34094592

APÊNDICE C – ANAMNESE

Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG

Laboratório de Biomecânica - BIOLAB

Anamnese do Voluntário

DADOS PESSOAIS

Nome completo: _____

Data de nascimento: _____

CÓDIGO: _____

DADOS ANTROPOMÉTRICOS

Massa corporal: _____

Estatura: _____

DADOS DE TREINAMENTO E LESÕES

Qual sua posição? _____

Qual é seu braço de preferência para o ataque?

☐ direito ☐ esquerdo ☐ ambos os braços

Qual é sua perna de preferência para o chute?

☐ direita ☐ esquerda ☐ ambas as pernas

Quantas vezes por semana você pratica atividade física? _____

Qual atividade física você pratica? _____

Quantos dias na semana você treina? _____

Quantas horas por dia você treina? _____

Há quanto tempo você pratica Voleibol? _____

Já teve alguma lesão? (Inclui lesão nos músculos, ou lesão nas articulações) _____

Se sim, quais lesões (Use o verso caso necessário)? _____

Onde foram as lesões? _____

No membro direito ou esquerdo? _____

Há quanto tempo ocorreram essas lesões? _____

Ass: _____ Data do preenchimento: __/__/____