

MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO E CULTURA DO EXÉRCITO
CENTRO DE CAPACITAÇÃO FÍSICA DO EXÉRCITO
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA DO EXÉRCITO

CURSO DE INSTRUTOR DE EDUCAÇÃO FÍSICA

ALUNO: **Icaro** do Nascimento Costa – 1º Ten
ORIENTADORA: **Adriane** Mara de Souza Muniz – Prof.^a Dr.^a

AVALIAÇÃO DA MARCHA UTILIZANDO UM PROTÓTIPO DE COTURNO COM
SOLADO DE FIBRA DE CARBONO

Rio de Janeiro – RJ

2021

ALUNO: **Icaro** do Nascimento Costa – 1º Ten

AVALIAÇÃO DA MARCHA UTILIZANDO UM PROTÓTIPO DE COTURNO COM SOLADO DE FIBRA DE CARBONO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para conclusão da graduação em Educação Física na Escola de Educação Física do Exército.

ORIENTADOR(A): **Adriane** Mara de Souza Muniz – Prof^a Dr^a

Rio de Janeiro – RJ

2021

MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO E CULTURA DO EXÉRCITO
CENTRO DE CAPACITAÇÃO FÍSICA DO EXÉRCITO
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA DO EXÉRCITO

ALUNO: **Icaro** do Nascimento Costa – 1º Ten

AVALIAÇÃO DA MARCHA UTILIZANDO UM PROTÓTIPO DE COTURNO COM SOLADO DE
FIBRA DE CARBONO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

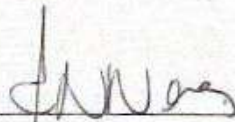
Aprovado em 30 de NOVEMBRO de 2021

Banca de Avaliação



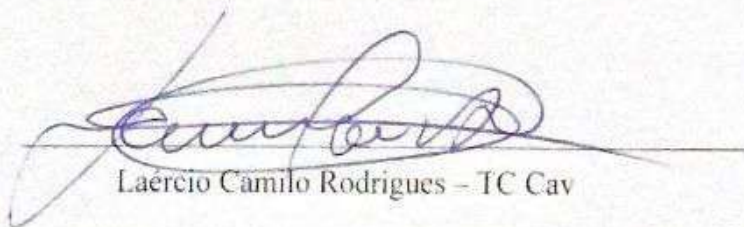
Mariana de Souza Muniz - Prof.ª Dr.ª

Avaliadora



Ângela Nogueira Neves - Prof.ª Dr.ª

Avaliadora



Laércio Camilo Rodrigues – TC Cav

Avaliador

RESUMO

INTRODUÇÃO: A concepção de novas tecnologias pode contribuir com o maior desempenho dos militares, otimizando o transporte de cargas. **MÉTODOS:** Este estudo teve como objetivo construir e avaliar um protótipo de coturno com fibra de carbono para comparar a a marcha com coturnos utilizados por militares (estireno-butadieno - SBR e poliuretano - PU), além de validar um sistema de cinemetria sem marcadores reflexivos. Foram construídos 3 coturnos: dois com solado de PU com placa (CP) e sem placa (SP) e outro SBR. A marcha de 10 participantes foi avaliada para validação do sistema sem marcadores (OpenPose). A marcha de 20 militares ($28,6 \pm 3,7$ anos; $177 \pm 5,1$ cm e $76 \pm 5,1$ kg) foi avaliada em uma pista de madeira com plataformas de força (Bertec, USA) embutidas nas situações: coturno CP, SP e SBR com (CC) e sem carga (SC). **RESULTADOS:** A maior rigidez do solado foi para o SBR (198,8 N/m), seguida pelo CP (197,4 N/m), tendo o SP apresentado a menor rigidez (121,2 N/m). Não foi observado diferença significativa (SC: $p=0,84$; CC: $p=1,14$) nos ângulos de plantiflexão calculado através do OpenPose comparado aos dados digitalizados. O primeiro pico de força (PPF) e segundo pico de força (SPF) apresentaram diferenças significativas apenas no fator carga ($p<0,0001$ para ambos), com valor maior para situação CC. Não foi encontrada diferença significativa no PPF e SPF quanto ao fator calçado. Não houve diferença estatística na taxa de aceitação do peso (TAP). A taxa de retirada do peso (TRP) apresentou diferença no fator calçado ($p=0,010$) e no fator carga ($p<0,0001$), com maior valor em módulo para o CP comparado ao SBR e na situação CC comparada a SC. **CONCLUSÃO:** O coturno CP apresentou maior eficiência na propulsão comparado ao coturno SBR.

Palavras-chave: calçado com placa de fibra de carbono, coturno, força de reação do solo, rigidez

ABSTRACT

INTRODUCTION: The design of new military boot technologies can contribute to the improvement in the performance of the military, optimizing the loading carriage. **METHODS:** This study aimed to design and evaluate a prototype boot with carbon fiber to compare the gait with boots used by military personnel (styrene-butadiene - SBR and polyurethane - PU). Another goal of this study was to validate a markerless kinematics system. Three boots were evaluated: two with PU midsoles with carbon plate (CP) and without carbon plate (SP) and another with SBR. The gait of 10 participants was evaluated for markerless system (OpenPose) validation purpose. The gait of 20 military personnel (28.6 ± 3.7 years old; 177 ± 5.1 cm and 76 ± 5.1 kg) was also evaluated on two force platforms (Bertec, USA) in the situations: CP, SP and SBR with (CC) and without load (SC). **RESULTS:** SBR presented the highest midsole stiffness (198.8 N/m), followed by the CP (197.4 N/m), and the SP presented the lowest stiffness (121.2 N/m). No significant difference (SC: $p=0,84$; CC: $p=1,14$) was observed in the plantiflexion angles calculated using OpenPose compared to the digitized data. The first (PPF) and the second peak force (SPF) showed significant differences only in the load conditions ($p<0.0001$ for both), with higher value for CC situation. No significant difference was found in PPF and SPF for the shoe conditions. There was no statistical difference in the weight acceptance rate (TAP). The pushoff rate (TRP) showed a difference in the footwear ($p=0.010$) and the load conditions ($p<0.0001$), with a higher absolute value for the CP compared to the SBR and in the CC situation compared to the SC. **CONCLUSION:** The CP boot presented higher propulsion efficiency compared to the SBR boot.

Key words: carbon fiber plate footwear, military boots, ground reaction force, stiffness

INTRODUÇÃO

O coturno é o calçado mais utilizado por militares na realização de tarefas laborais como formaturas, treinamento físico militar e treinamento militar de combate (1). Este calçado é utilizado por longos períodos durante o serviço de escala e atividades de adestramento, podendo ser utilizado em atividades de caminhada de 10h até 24h ininterruptas, com deslocamentos de 8km até 32km com o militar transportando seu material individual e coletivo de dotação (1). Adicionalmente, esse calçado pode ser empregado na prática de atividades físicas regulamentadas pelo manual de campanha de treinamento físico militar (2) como corridas contínuas, ginástica básica e com toros e circuitos operacionais (2).

As lesões musculoesqueléticas decorrentes das atividades inerentemente militares são comuns, especialmente nos membros inferiores, com porcentagem variando entre 16% (3) e 30% (4). Alguns estudos (5,6) associam as ondas de impacto originadas nas forças de reação do solo com lesões de efeito cumulativo, principalmente, se decorrente de atividades militares extenuantes, ocasionando lacerações dos tecidos ósseos e articulares (5) e também pelo uso de um calçado inadequado ou pouco eficiente na absorção de choques mecânicos (6). As lesões mais frequentes ligadas ao uso inadequado de calçados são a fratura por estresse da fíbula, tíbia, fêmur e dos metatarsos (7). Estudo realizado por Neregato (8) mostrou que o coturno com menor capacidade de absorção de impactos gera um maior movimento da articulação do joelho (8), sendo assim, o coturno tem a importante função de proteger o aparelho locomotor, contribuindo para absorção de impactos e atuando na estabilização articular (9).

Militares do Exército Brasileiro (EB) utilizam um coturno com solado de borracha de estireno butadieno (SBR) entregue pela cadeia de suprimento do EB ou o coturno de poliuretano (PU) adquirido comercialmente (10). Estudo prévio realizado por Torres *et al.* (11) comparou o tênis e o coturno fornecidos pelo EB e observaram que a absorção de impacto não foi diferente entre os dois tipos de calçados, que apenas absorveram maior impacto comparado a marcha descalça. Muniz e Bini (12) compararam a força de reação do solo (FRS) e a percepção de conforto de três modelos de coturnos utilizados por militares do EB. Como resultados, esses autores observaram que o coturno com solado de SBR absorve mais impacto, porém é mais desconfortável quando comparado ao coturno de PU. Em estudo mais recente, Muniz *et al.* (13) comparam o coturno de SBR e PU com e sem carga (mochila militar com 15kg) durante a marcha e observaram que ambos os calçados aumentam o impacto durante a marcha e a melhor absorção de impacto foi novamente com o coturno de SBR. Assim, o desempenho pode estar

interligado com as características da matéria prima e design utilizados na fabricação desse calçado (13).

Nos últimos anos, a inovação nos calçados de corrida vem se tornando muito evidente, principalmente com o surgimento dos calçados com placa de carbono. Esse calçado bateu novos recordes em diversas provas de corrida, como maratonas, meia-maratonas e 5km (14). Em 2018, uma prova simulada de maratona, permitiu que o atleta Eliud Kipchoge pudesse concluir a prova em um tempo abaixo de 02 horas (14). A placa de fibra de carbono curva embutida na entressola dos calçados aumenta a rigidez da flexão longitudinal podendo trazer melhorias a economia energética durante a corrida (15).

Com o avanço e complexidade das áreas de atuação do EB, os militares precisam atuar integrados com um sistema de comando e controle eficaz, potencializando a consciência situacional da tropa. Com isso, desde 2008, o Exército Brasileiro criou um projeto de desenvolvimento chamado Combatente Brasileiro (COBRA), com a missão de potencializar a capacidade operacional da tropa (16). Assim, as novas necessidades da Força Terrestre trazem novos desafios e materiais com características adaptáveis e modulares (17) com capacidade de realizar tarefas complexas e continuadas são fundamentais para o militar do século XXI. Nesse contexto, a concepção de novas tecnologias pode contribuir com o maior desempenho dos militares em atividades continuadas, obtendo um menor gasto energético no transporte de cargas com maior proteção individual do combatente. A inserção da placa de fibra de carbono no coturno visa melhorar o desempenho do militar nas atividades que envolvam marchas e atividades com transporte de carga e, conseqüentemente, diminuir o risco de lesões nos membros inferiores. Entretanto, até o momento não foram encontrados estudos que inserissem placa de carbono em calçados operacionais.

Desta forma, o objetivo deste estudo foi construir e avaliar um protótipo de coturno com inserção de tecnologia (fibra de carbono) para a força de reação do solo durante a marcha com coturnos utilizados por militares do EB (SBR e PU). A hipótese desse estudo é que o coturno com solado de fibra de carbono trará melhorias ao desempenho da marcha, melhorando a propulsão durante a marcha comparada com os coturnos militares já estabelecidos. Adicionalmente, o estudo visa validar um método de análise sem marcadores reflexivos para auxiliar na avaliação cinemática da marcha com esses coturnos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Delineamento Experimental

O presente estudo é do tipo quase experimental que buscou comparar as variáveis de FRS dos coturnos de PU com e sem fibra de carbono e de SBR. Este foi realizado em três etapas: 1ª) construção do protótipo de coturno com a inserção de uma placa de fibra de carbono em parceria com o Instituto Brasileiro de Tecnologia do Couro, Calçado e Artefatos (IBTeC); 2ª) validação de um sistema sem marcadores reflexivos para avaliar os ângulos de plantiflexão do tornozelo durante a impulsão; e 3ª) avaliação biomecânica da marcha com o coturno de fibra de carbono e comparação com os calçados já utilizados por militares do EB.

Construção do protótipo do coturno com inserção de uma placa de fibra de carbono

Para construção do protótipo de coturno com a placa de carbono (CP) foi inicialmente retirada as placas de fibra de carbono de um tênis da marca Adidas, modelo Adizero Pro na numeração 41 e 42. As placas foram inseridas na entressola de dois coturnos com solado de PU. Para comparação do CP foram construídos um coturno somente com PU (SP) e outro com borracha de SBR (Figura 1). Todos os calçados foram construídos nas numerações 41 e 42. Para possibilitar a comparação entre os calçados, o cabedal utilizado em todos os calçados foi o mesmo. Para evitar o viés referente ao peso, foram adicionados pesos de chumbo na lateral dos calçados CP e SP.



Figura 1 – Coturnos construídos e utilizados na avaliação. A) SP, B) SBR e C) CP

Foi realizado um teste de flexão dos calçados em uma máquina de ensaio de flexão (Maqtest, Brasil) (Figura 2). Nesse teste, a máquina calcula a força para flexionar o solado até 45° e essa força foi usada para calcular a rigidez de cada solado através da equação (1):

$$K = \frac{F}{\Delta x} \quad (1)$$

Onde: K representa a inclinação da reta (Força x deslocamento), ou seja, a rigidez do material, F a força em N e Δx que representa o deslocamento vertical do coturno a 45° .



Figura 2 – Ensaio de Flexão

Validação de um sistema sem marcadores reflexivos

Para validação do sistema OpenPose foram avaliados 10 sujeitos com idade de $23,8(\pm 5,18)$ anos, altura de $1,76(\pm 5,24)$ metros e massa corporal de $78,1(\pm 12,02)$ kg. Foi solicitado que os participantes caminhassem na plataforma de marcha, com velocidade controlada de $5 \pm 0,25$ km/h controlada através de duas fotocélulas (Alge, Espanha). Marcadores reflexivos foram fixados na pele dos participantes nos seguintes pontos anatômicos: ombro, quadril, joelho, maléolo, calcanhar, cabeça do quinto metatarso e segundo metatarso. A marcha dos participantes foi filmada no plano sagital direito com uma filmadora Gopro 4 a 120Hz de frequência de amostragem, modo *narrow*, resolução da imagem (1280 x 720p) (18). Foram realizadas 5 tentativas de marcha sem carga e outras cinco com carga (mochila militar pesando 15kg). A marcha foi avaliada com os participantes utilizando coturnos de uso pessoal. A validação foi realizada através de comparação entre os ângulos obtidos através da digitalização manual dos pontos realizada no software de análise de vídeo e modelagem Tracker e o sistema OpenPose que obtém as coordenadas dos pontos sem marcadores reflexivos (Figura 3) (19). Neste trabalho comparamos os dados de plantiflexão do tornozelo durante a impulsão, pois é a variável que precisaremos para avaliar os coturnos. Os ângulos obtidos pelos dois métodos foram comparados através de teste t tanto para a situação com e sem carga. O coeficiente de correlação intraclasse (ICC) e o erro típico da medida entre o método de digitalização, que é o mais utilizado atualmente, e o “markeless” foram também calculados utilizando o software SPSS versão 20 (IBM Corp, EUA).

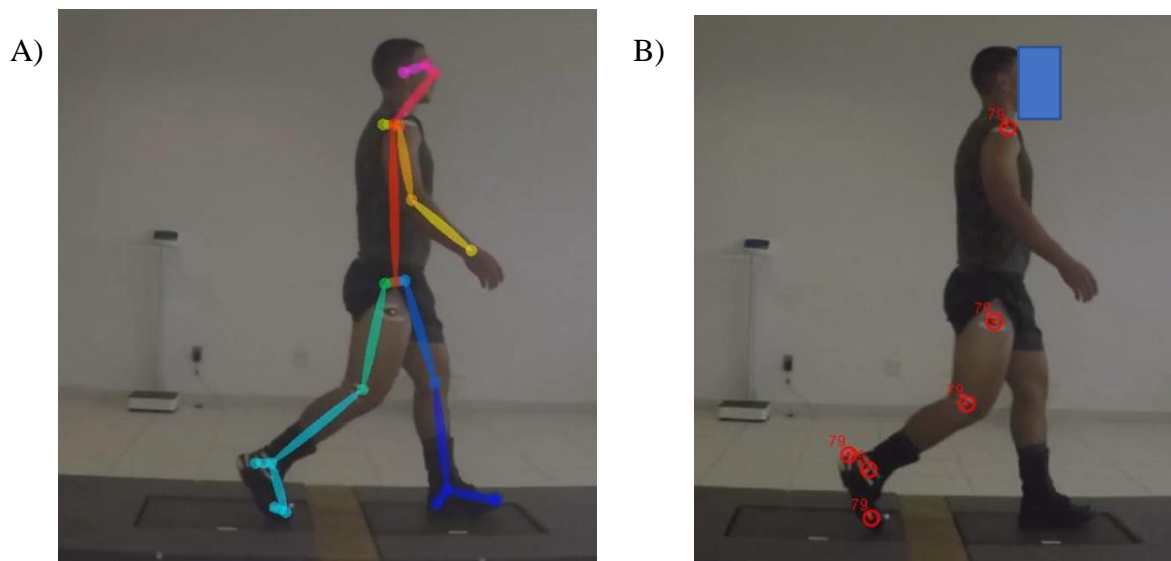


Figura 3 – Fotos da análise utilizando o openpose (A) e a digitalização manual (B)

Avaliação biomecânica da marcha

Amostra

O tipo de amostragem foi não probabilística com a participação de 20 militares de carreira voluntários do Exército Brasileiro com idade de 28,6 ($\pm 3,7$) anos, altura de 177($\pm 5,1$) cm e massa corporal de 76 ($\pm 5,11$) kg. Todos os participantes tinham experiência na atividade de marchas e utilização de coturnos. Foram excluídos do estudo, militares com histórico de lesões musculoesqueléticas no membro inferior nos últimos seis meses. O presente estudo foi submetido à aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa (CAAE nº 09674319.1.0000.9047).

Procedimentos Experimentais

A coleta de dados foi realizada em apenas um dia de experimento. Inicialmente, os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice 1) e as informações antropométricas de massa corporal e estatura foram obtidas. Na sequência, a marcha foi avaliada em seis situações randomizadas de teste (Figura 4): sem carga (SC) e com carga (CC) de 15 kg na mochila de combate e com 3 coturnos (Figura 1)



Figura 4: Situações experimentais

A coleta da marcha foi realizada em uma pista de marcha de 10m de comprimento com duas plataformas de força (Bertec, EUA). As plataformas de força estavam embutidas em uma pista de madeira niveladas no plano horizontal. Antes de iniciar a coleta, os participantes passaram por uma familiarização com o protocolo de teste caminhando com cada calçado na situação com e sem carga. A FRS foi coletada por 5 tentativas válidas em cada situação de teste (Figura 4). Adicionalmente, a marcha foi filmada no plano sagital direito com uma filmadora Gopro 4. A filmagem será utilizada futuramente para cálculo do ângulo de plantiflexão durante a propulsão da marcha como descrito no item “Validação de um sistema sem marcadores reflexivos”. A velocidade de marcha foi controlada através de duas fotocélulas (Alge, Espanha) com todos os sujeitos caminhando na velocidade de $5 \pm 0,25$ km/h.

Processamento dos Dados

O sinal de FRS em cada situação de teste foi filtrado com filtro passa-baixa Butterworth de 4ª ordem e frequência de corte de 30Hz e normalizado pelo peso corporal. Foram extraídos de cada sinal o primeiro pico de força (PPF), segundo pico de força (SPF), a taxa de aceitação do peso média (TAP), e a taxa de retirada do peso (TRP). A taxa de aceitação do peso e de retirada foram calculadas entre 20 – 80% do PPF e SPF, respectivamente. Cada variável analisada está sendo representada pela média de cinco tentativas válidas de cada situação de teste, sendo estas obtidas através de rotinas desenvolvidas no software Matlab 20.0 (The Mathworks, EUA).

Análise Estatística

A normalidade das variáveis foi testada através do teste de Shapiro Wilk, apontando uma distribuição normal para as variáveis analisadas. A comparação de cada variável entre as situações de teste foi realizada através do teste ANOVA dois fatores com *post hoc* de Tukey para comparação dos fatores, sendo um fator calçado (coturnos de SBR, PU e PU com fibra de carbono) e o outro fator a carga (sem carga e com 15 kg). O nível de significância adotado foi de $\alpha = 0.05$. Os dados foram comparados no software SPSS versão 20 (IBM Corp, EUA).

RESULTADOS

Construção do protótipo do coturno com inserção de uma placa de fibra de carbono

Foi adicionados pesos de chumbo no coturno de numeração 41 (CP: 35 g direito e 50 g esquerdo; SP: 70 g direito e 86 g esquerdo) e 42 (CP: 39 g direito e 38 g esquerdo; SP: 81 g direito e 88 g esquerdo) para se igualar ao coturno SBR. (Tabela 1).

Tabela 1: Massa dos coturnos construídos.

| Coturno | Numeração | Direito (gramas) | Esquerdo (gramas) |
|---------|-----------|------------------|-------------------|
| CP | 41 | 548,16 | 547,07 |
| | 42 | 618,11 | 581,52 |
| SP | 41 | 513,20 | 511,33 |
| | 42 | 537,02 | 531,53 |
| SBR | 41 | 583,44 | 597,29 |
| | 42 | 618,11 | 619,59 |

A maior rigidez do solado calculada no ensaio de flexão foi para o coturno SBR (198,8 N/m), seguida pelo CP (197,4 N/m), tendo o coturno SP apresentado a menor rigidez (121,2 N/m).

Validação de um sistema sem marcadores reflexivos

Não foi observado diferença estatística entre os valores médios de plantiflexão encontrados no método de digitalização e OpenPose (Tabela 2). O ICC foi de 0,71 e 0,61 e o erro típico da medida foi de 3,16° e 4,08° para a comparação dos dois métodos na situação sem carga e com carga, respectivamente.

Tabela 2: Análise de dados da cinemetria Tracked x OpenPose nas situações com e sem carga

| | Tracked | Openpose | <i>p</i> |
|----------------------------|------------|------------|----------|
| Plantiflexão SC (graus) | 10,5 ± 5,1 | 10,9 ± 6,2 | 0,84 |
| Plantiflexão CC (graus) | 12,2 ± 7,6 | 15,2 ± 6,2 | 0,16 |

Avaliação biomecânica da marcha

As variáveis PPF e SPF apresentaram diferenças significativas apenas no fator carga ($p > 0,0001$ para ambos), com valor maior para situação com carga comparada a sem carga (Figura 5). O fator calçado (PPF $p = 0,103$; SPF $p = 0,753$) e a interação (PPF $p = 0,882$; SPF $p = 0,994$) não foram diferentes.

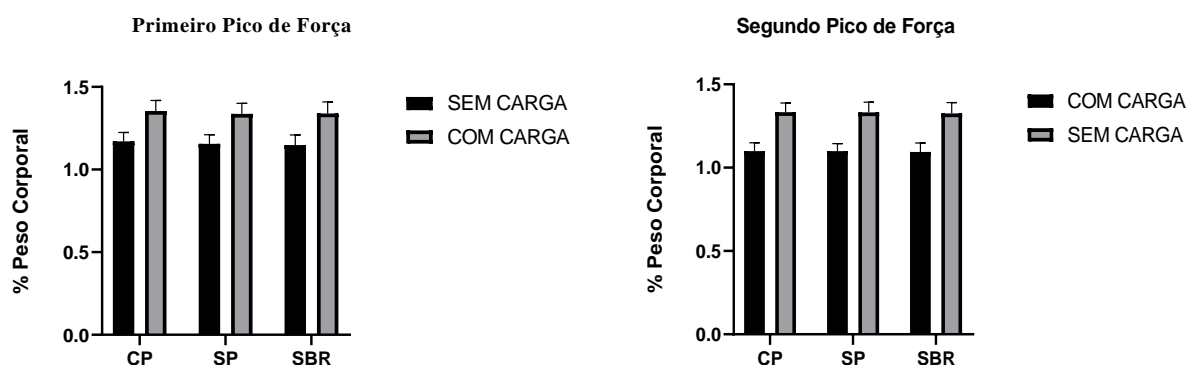


Figura 5 – Primeiro e Segundo Pico de Força nas situações com e sem carga nos três coturnos avaliados.

A variável TAP não apresentou diferença estatística em nenhum fator avaliado (Carga $p = 0,927$; Calçado = 0,149 e Interação = 0,689) (Figura 6). A variável TRP apresentou diferença no fator calçado ($p = 0,010$) e no fator carga ($p < 0,0001$) (Figura 6), com post hoc evidenciando menor valor absoluto e maior valor em módulo para o CP comparado ao SBR e na situação com carga comparada a sem carga. A interação carga x calçado não apresentou diferença estatística ($p = 0,945$).

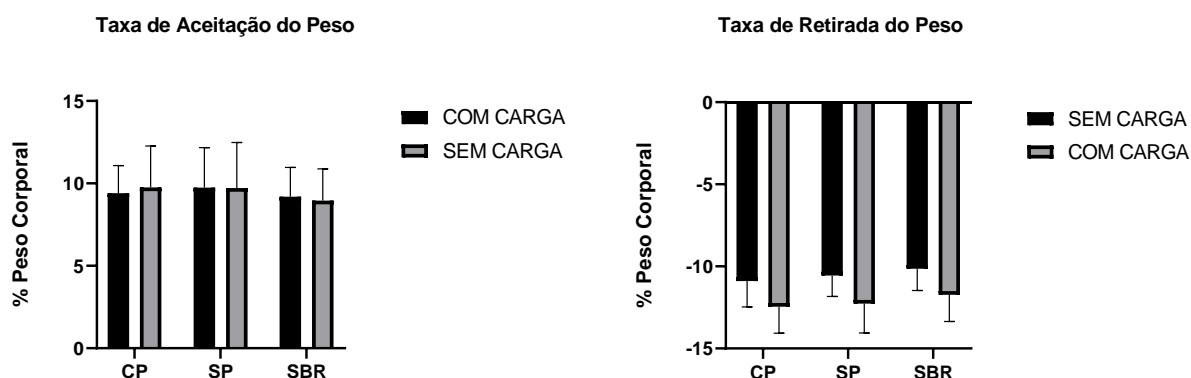


Figura 6 – Taxa de Aceitação do Peso e Taxa de Retirado do Peso nas situações com e sem carga nos três coturnos avaliados.

DISCUSSÃO

O objetivo do estudo foi comparar as variáveis de impacto da FRS durante a marcha utilizando calçados militares com diferentes solados (PU com placa de carbono, PU sem placa de carbono e SBR). O estudo teve ainda como objetivo validar um método de cinemetria sem marcadores reflexivos para auxiliar na avaliação cinemática da marcha com esses coturnos. Foi possível construir os coturnos utilizados no protocolo e validar o método de análise OpenPose, não sendo encontrada diferenças estatísticas com o método de digitalização. Desta forma, a avaliação sem marcadores reflexivos se mostrou como uma potencial ferramenta para verificação do comportamento da angulação articular de plantiflexão, que está diretamente interligadas a propulsão da marcha. Os coturnos se diferenciaram na variável TRP, sendo que o coturno CP apresentou menor valor comparado ao coturno SBR. Esse resultado aponta para melhor resposta na propulsão da marcha do coturno CP comparado ao SBR. O uso da mochila alterou as variáveis PPF e SPF, que apresentaram maiores valores com carga comparada à situação sem carga.

Não houve diferenças no método de avaliação sem marcadores e na digitalização, corroborando com resultados encontrados em estudos anteriores (19,20). Esse resultado aponta para a possibilidade de utilizar o método sem marcadores reflexivos na avaliação da plantiflexão durante a marcha no presente estudo. Essa técnica pode evitar potenciais erros de variabilidade de medidas por avaliadores (21). Entretanto, as variáveis cinemáticas do joelho e quadril ainda precisam ser validadas.

As variáveis biomecânicas PPF e SPF não apresentaram diferenças entre os calçados, corroborando com achados de Muniz e Bini (12) Torres *et al.* (11) também não há diferenças entre tênis laborais e coturnos militares na variável PPF. Esses achados contribuem para afirmação de que essa variável não sofre alteração com diferentes tipos de calçados (10)(11). Porém, houve diferenças significativas na variável PPF, nas situações de marcha com uso de mochila em comparação a marcha sem carga. Castro *et al.* (22) encontraram um aumento no componente vertical da FRS proporcional ao aumento de carga, comparando a marcha com mochilas de cargas variadas. Dessa forma, a diferença encontrada no PPF está relacionada ao aumento da massa total do sujeito, fornecendo maior sobrecarga ao sistema musculoesquelético devido à utilização da mochila de combate com carga, o que parece não estar relacionada ao modelo de coturno utilizado. Esse aumento da massa do conjunto indivíduo-equipamento pode gerar uma sobrecarga adicional no sistema musculoesquelético.

O SPF, que é a variável correspondente a força necessária para realizar a propulsão da marcha, foi maior nas situações com carga, corroborando com resultados encontrados anteriormente (10,22) . O aumento do SPF na situação com carga sugere maior gasto energético para realização da marcha. O aumento da sobrecarga na situação com carga indica uma necessidade de realização de exercícios específicos de fortalecimento muscular para aumentar a potência durante a impulsão e prevenir lesão musculoesquelética em militares durante o transporte de carga.

O aumento da TRP em módulo encontrado no protótipo de coturno com placa de carbono quando comparado ao coturno com SBR corrobora como estudos prévios realizados em tênis de corrida (14,15), que encontraram melhora na propulsão durante a corrida com tênis de placa de carbono. A TRP é uma variável que remete a propulsão no pré-balanço da fase da marcha, apresentando valor negativo, pois representa a inclinação de saída do pé. O aumento dessa variável foi decorrente a adição da placa de carbono durante a propulsão, fornecendo uma maior velocidade de retirada do pé na fase de pré-balanço, o que pode estar associado a melhora na eficiência da marcha. Os autores Nigg *et al* (23) e Barnes e Kilding (24) afirmam que a placa de carbono no tênis tem um efeito gangorra por ser curvada acelerando o processo de retirada do pé e fornecendo uma maior propulsão comparada a outros calçados.

As limitações do presente estudo foram a falta de avaliação cinemática dos coturnos que será suprida com a análise dos dados do sistema markerless futuramente. A análise apenas do componente vertical da FRS e avaliação apenas da marcha sem comparar o movimento de corrida.

CONCLUSÃO

Os resultados encontrados no estudo apontaram para uma maior rigidez do protótipo com fibra de carbono comparado ao coturno sem fibra, sendo os dois com menor rigidez comparados ao SBR. Adicionalmente, o método de análise cinemática sem marcadores não apresentou diferença estatística comparado ao método de digitalização, sendo um potencial método para análise cinemática.

O estudo também demonstrou que as variáveis PPF e SPF foram maiores na situação com carga em relação à marcha sem carga, apontando para maior sobrecarga no sistema musculoesquelético durante a marcha com carga. Os coturnos se diferenciam na fase de propulsão da marcha, com aumento do valor em módulo da variável TRP no protótipo de coturno comparado ao coturno de borracha, mostrando que o coturno com placa impulsiona o pé de forma mais rápida, tornando a marcha mais eficiente.

Novas avaliações mecânicas e cinemáticas 3D são necessárias para verificar o comportamento do protótipo, buscando avaliar o conforto do calçado e sua influência no consumo energético.

REFERÊNCIAS

1. Zylberberg MP. Análise da transmissão de impacto de diferentes de calçados militares.[Dissertação]. Rio de Janeiro (RJ): Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. 2012.
2. BRASIL, Defesa M da, Exército E-M do. EB20-MC-10.350 Manual de Treinamento físico militar. Exército Brasileiro. 2015. p. 1–229.
3. Riddell DI. Rehabilitation of injured Royal Marine recruits. *J R Nav Med Serv.* 1988;171–6.
4. Kaufman KR, Brodine S, Shaffer R. Military training-related injuries: Surveillance, research, and prevention. *Am J Prev Med.* 2000;18:54–63.
5. Guisande TP, Mochizuki L. Forças de impacto e marcha militar: estudo descritivo. *Rev Educ Tecnol apl Aeron.* 2009;1:117-23.
6. Arndt A, Westblad P, Ekenman I, Lundberg A. A comparison of external plantar loading and in vivo local metatarsal deformation wearing two different military boots. *Gait Posture.* 2003; 18:20-6.
7. Jones BH, Cowan DN, Tomlinson JP, Robinson JR, Polly DW, Frykman PN. Epidemiology of injuries associated with physical training among young men in the army. *Med Sci Sports Exerc.* 1993; 25:197-203.
8. Neregato BS, Muniz AMS. Relação entre ângulo de flexão de joelho e a absorção de impacto de dois modelos de coturnos utilizados por militares.[TCC]. Rio de Janeiro (RJ): Escola de Educação Física do Exército. 2020.
9. Hennig EM, Milani TL. In-Shoe Pressure Distribution for Running in Various Types of Footwear. *J Appl Biomech.* 1995; 11:299-300.
10. Sizenando DS, Muniz AMS. Avaliação do impacto durante a marcha com dois modelos de coturnos com e sem carga.[TCC]. Rio de Janeiro (RJ): Escola de Educação Física do Exército. 2019.
11. Torres AS, Ferrari DM, Cirolini VX, Valente AMS, Muniz AMS. Análise do impacto do tênis e coturno fornecidos pelo Exército Brasileiro durante a marcha. *Rev Bras Educ Fís Esporte.* 2014;28(3):377-85.

12. Muniz AMS, Bini RR. Shock attenuation characteristics of three different military boots during gait. *Gait and Posture*. 2017;58:59–65.
13. Muniz AMS, Sizenando D, Lobo G, Neves EB, Gonçalves M, Marson R, et al. Effects from loaded walking with polyurethane and styrene-butadiene rubber midsole military boots on kinematics and external forces: A statistical parametric mapping analysis. *Applied Ergonomics*. 2021;94:103429.
14. Ortega J, Healey L, Swinnen W, Hoogkamer W. Energetics and Biomechanics of Running Footwear with Increased Longitudinal Bending Stiffness: A Narrative Review. *Sports Medicine*.2021;51(5):873-89.
15. Hoogkamer W, Kipp S, Frank JH, Farina EM, Luo G, Kram R. A comparison of the energetic cost of running in marathon racing shoes. *Sports Med*. 2018;48:1009–19.
16. Filho PRS. O projeto sistema combatente brasileiro - COBRA. *Doutrina Militar Terrestre em Revista*. 2019;7(19):6-9.
17. BRASIL, Defesa M da, Exército E-M do. Diretriz de Criação da Compreensão das Operações (COMOP) nº 03/2016, do Sistema Combatente Individual do Futuro. Brasília. 2016.
18. Bernardina GRD, Monnet T, Pinto HT, Barros RML, Cerveri P, Silvatti AP. Are action sport cameras accurate enough for 3d motion analysis? A comparison with a commercial motion capture system. *J Appl Biomech*. 2018; 0(0): 1–17.
19. Mastrogeorgiou A, Smyrli, A, Papadopoulos E, Kecskeméthy A, Gegenbauer S. Application of OpenPose deep learning algorithm for gait parameter identification.. *Proceedings of the ECCOMAS Thematic Conference on Multibody Dynamics 2019, Duisburg, Germany, Jul.15-18*.
20. Johnson CD, Outerleys J, Davis, IS. Accuracy Of An Open-source, Marker-less Motion Capture Platform For The Measurement Of 2-dimensional Segment Angles During Running. *Med Sci Sports Exerc*. 2021; 53(8S), 134-135.
21. Sandau M, Koblauch H, Moeslund TB, Aanæs H, Alkjær T, Simonsen EB. Markerless motion capture can provide reliable 3D gait kinematics in the sagittal and frontal plane. *Med Eng Phys*. 2014;36(9):1168–75.

22. Castro M, Abreu S, Sousa H, Machado L, Santos R, Vilas-Boas JP. Ground reaction forces and plantar pressure distribution during occasional loaded gait. *Appl Ergon.* 2013;44(3):503-9.
23. Nigg BM, Cigoja, S, Nigg SR. Teeter-totter effect: A new mechanism to understand shoe-related improvements in long-distance running. *Br. J. Sports Med.* 10, 1–2 (2020).
24. Barnes KR, Kilding AE. A randomized crossover study investigating the running economy of highly-trained male and female distance runners in marathon racing shoes versus track spikes. *Sports Med.* 2019;49:331–42.

APÊNDICE 1 - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
D E C Ex – C C F Ex
Escola de Educação Física do Exército
(CMilEdcFis / 1922)

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado(a) a participar como voluntário(a) da pesquisa denominada “AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA E METABÓLICA DE MILITARES DO EXÉRCITO BRASILEIRO UTILIZANDO DIFERENTES MODELOS DE COTURNO COM E SEM TRANSPORTE DE CARGA”, realizada no âmbito do Divisão de Pesquisa e Extensão/ Escola de Educação Física do Exército (EsEFEx) e que diz respeito a um projeto de iniciação científica.

1. OBJETIVO: nesta pesquisa pretendemos avaliar quais são as influências de diferentes tipos de coturnos na marcha humana com e sem a utilização da mochila. O motivo que nos leva a estudar esse assunto consiste em entender melhor os efeitos dos diferentes modelos de coturno na sobrecarga dos membros inferiores durante a caminhada e se os coturnos apresentam um comportamento diferenciado com e sem o uso da mochila.

2. PROCEDIMENTOS: Você foi selecionado (a) por apresentar pelo menos índice muito bom (MB) no teste de aptidão física (TAF) e não apresentar lesões musculoesqueléticas nos membros inferiores nos últimos 6 meses. Sua participação consiste em vir em um único dia ao laboratório de Biociências da Escola de Educação Física do Exército (EsEFEx). O uniforme a ser utilizado será o short de treinamento físico militar e coturno. O equipamento individual de combate será composto por uma mochila de grande capacidade com 15 kg. Serão feitas cinco aferições diferentes de caminhada com três modelos de coturno com e sem a mochila. Em cada situação de teste a caminhada será avaliada por 05 tentativas com um período prévio de familiarização ao protocolo experimental e você será solicitado a caminhar em uma velocidade 5km/h por uma pista de 10m com duas plataformas de força no centro.

3. POTENCIAIS RISCOS E BENEFÍCIOS: Toda pesquisa oferece algum tipo de risco. Nesta pesquisa, o risco pode ser avaliado como baixo, isto é, você pode apresentar dor muscular mínima tardia nos testes de caminhada da esteira e salto vertical. Objetivando minimizar esses riscos, você tem a possibilidade realizar um período de descanso entre cada avaliação. Por outro lado, são esperados os seguintes benefícios da sua participação na pesquisa: melhorar a caracterização do coturno usado por militares do Exército Brasileiro o que propiciará que o militar escolha o calçado mais confortável e que reduza os riscos de lesão.

4. GARANTIA DE SIGILO: os dados da pesquisa serão publicados/divulgados em livros e revistas científicas. Asseguramos que a sua privacidade será respeitada e o seu nome ou qualquer informação que possa, de alguma forma, o(a) identificar, será mantida em sigilo. O(a) pesquisador(a) responsável se compromete a manter os dados da pesquisa em arquivo, sob sua guarda e responsabilidade, por um período mínimo de 5 (cinco) anos após o término da pesquisa.

5. LIBERDADE DE RECUSA: a sua participação neste estudo é voluntária e não é obrigatória. Você poderá se recusar a participar do estudo ou retirar seu consentimento a qualquer momento, sem precisar justificar. Se desejar sair da pesquisa você não sofrerá qualquer prejuízo.

6. CUSTOS, REMUNERAÇÃO E INDENIZAÇÃO: a participação neste estudo não terá custos adicionais para você. Também não haverá qualquer tipo de pagamento devido a sua participação no estudo. Fica garantida indenização em casos de danos, comprovadamente decorrentes da participação na pesquisa, nos termos da Lei. Em caso de dano pessoal, diretamente causado pelo procedimento deste estudo, você terá direito a tratamento médico na instituição, bem como a indenizações legalmente estabelecidas

7. ESCLARECIMENTOS ADICIONAIS, CRÍTICAS, SUGESTÕES E RECLAMAÇÕES: você receberá uma via deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e a outra ficará com a pesquisadora. Caso você concorde em participar, as páginas serão rubricadas e a última página será assinada por você e pela pesquisadora. A pesquisadora garante a você livre acesso a todas as informações e esclarecimentos adicionais sobre o estudo e suas consequências. Você poderá ter acesso a pesquisadora Adriane Mara de Souza Muniz pelo telefone 21 2586-2249 ou pelo e-mail: adriane_muniz@yahoo.com.br. Se você tiver alguma consideração ou dúvida sobre a ética da pesquisa, poderá entrar em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa do Colégio Pedro II (CEP/CPII), situado no Endereço: Campo de São Cristóvão nº 177, prédio da Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura (PROPGPEC), sala 202-B – São Cristóvão – Rio de Janeiro, CEP 29921-903, pelo telefone: 21 3891-0020 ou pelo e-mail: cep@cp2.g12.br

CONSENTIMENTO

Eu, _____ li e concordo em participar da pesquisa.

| | |
|-------------------------------|-------------------|
| Assinatura do(a) participante | Data: ___/___/___ |
|-------------------------------|-------------------|

Eu, _____ obtive de forma apropriada e voluntária o Consentimento Livre e Esclarecido do(a) participante da pesquisa.

| | |
|---------------------------------|-------------------|
| Assinatura do(a) pesquisador(a) | Data: ___/___/___ |
|---------------------------------|-------------------|

PARECER FINAL DO CEP



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
D E C Ex – C C F Ex
Escola de Educação Física do Exército
(CMilEdcFis / 1922)



COLÉGIO PEDRO II



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Avaliação biomecânica e metabólica de militares do Exército Brasileiro utilizando diferentes modelos de coturno com e sem transporte de carga.

Pesquisador: Adriane Mara de Souza Muniz

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 09674319.1.0000.9047

Instituição Proponente: Escola de Educação Física do Exército

Patrocinador Principal: Diretoria de Pesquisa e Estudo de Pessoal / Exército Brasileiro

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 3.396.072

Apresentação do Projeto:

Título: Avaliação biomecânica e metabólica de militares do Exército Brasileiro utilizando diferentes modelos de coturno com e sem transporte de carga.

Pesquisador: Adriane Mara de Souza Muniz

CAAE: 09674319.1.0000.9047

APRESENTAÇÃO DO PROJETO:

As informações colocadas nos campos denominados "Apresentação do Projeto", "Objetivo da Pesquisa" e "Avaliação dos Riscos e Benefícios" foram retiradas do documento intitulado "PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1261824.pdf" (submetido na Plataforma Brasil em 07/05/2019).

INTRODUÇÃO:

O coturno militar é o calçado obrigatório nas mais diversas atividades militares. Este calçado é utilizado na prática do treinamento físico militar, em formaturas, serviço de escala, quando o

Endereço: Campo de São Cristóvão 177
Bairro: São Cristóvão
UF: RJ **Município:** RIO DE JANEIRO
Telefone: (21)3891-0020 **CEP:** 20.921-903
E-mail: cep@cp2.g12.br



COLÉGIO PEDRO II



Continuação do Parecer: 3.396.072

| | | | | |
|-----------|----------------------------|------------------------|--------------------------------|--------|
| Outros | Instrumentos_coleta.docx | 15/03/2019 10:59:51 | Adriane Mara de Souza Muniz | Aceito |
| Orçamento | orcamento2.pdf | 15/03/2019 10:47:33 | Adriane Mara de Souza Muniz | Aceito |
| Outros | CurriculoLattesAdriane.pdf | 14/03/2019 14:43:15 | Adriane Mara de Souza Muniz | Aceito |

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

RIO DE JANEIRO, 17 de Junho de 2019

Assinado por:
ROGERIO MENDES DE LIMA
(Coordenador(a))