

Centro de Educação Física Almirante Adalberto Nunes

Universidade da Força Aérea

1T (FN) Gabriel Pinto Neves Ângelo da Rocha

O aumento da complexidade motora está relacionado à fadiga física durante marcha militar de 20 km em Curso Especial de Comandos Anfíbios.

Rio de Janeiro

2023

1T (FN) Gabriel Pinto Neves Ângelo da Rocha

O aumento da complexidade motora está relacionado à fadiga física durante marcha militar de 20 km em Curso Especial de Comandos Anfíbios.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Educação Física Almirante Adalberto Nunes e à Universidade da Força Aérea, como requisito para a conclusão do curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Desempenho Físico do Combatente.

Orientador: CC (RM3-T) Bruno Ferreira Viana

Rio de Janeiro

2023

1T (FN) Gabriel Pinto Neves Ângelo da Rocha

O aumento da complexidade motora está relacionado à fadiga física durante marcha militar de 20 km em Curso Especial de Comandos Anfíbios.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Educação Física Almirante Adalberto Nunes e à Universidade da Força Aérea, como requisito para a conclusão do curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Desempenho Físico do Combatente.

APROVADA EM xxxxxx.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. CC (RM3-T) Bruno Ferreira Viana
Centro de Educação Física Almirante Adalberto Nunes

Prof. Dr. 1T (RM2-T) Ulisses Tirollo Taddei
Universidade da Força Aérea

Rio de Janeiro

2023

RESUMO

ROCHA, Gabriel Pinto Neves Ângelo. O aumento da complexidade motora está relacionado à fadiga física durante marcha militar de 20 km em Curso Especial de Comandos Anfíbios. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para conclusão do Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Desempenho Físico do Combatente. Rio de Janeiro – RJ, 2023.

INTRODUÇÃO: As atividades de Operações Especiais (SpecOps) costumam realizar marchas de longas distâncias, muitas vezes com transporte de cargas acima de 30kg de equipamentos, resultando em uma grande demanda mecânica, fisiológica e psicológica. Técnicas não-lineares, como medidas de complexidade, têm sido utilizadas para melhorar a compreensão da locomoção humana. O objetivo do presente estudo foi investigar se a complexidade da velocidade de locomoção ao longo do tempo está relacionada ao desempenho. **MÉTODO:** Vinte e sete militares ($29,6 \pm 3,5$ anos, $79,8 \pm 5,7$ kg, $177 \pm 4,4$ cm, $12 \pm 3,6\%$ GC, $51,4 \pm 1$, $9\text{mL.Kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) participantes do Curso Especial de Comandos Anfíbios, realizaram 20 km (4 voltas x 5km) de marcha militar, com ~ 30 kg de equipamentos, incluindo mochila. Foram adquiridos sinais, amostrados a 10 Hz, de velocidade (Vel) e frequência cardíaca (FC) por um monitor (Polar Team Pro, Finlândia), e pós-processados off-line (Matlab, MathWorks, 2013). Para estimar a entropia amostral (SampEn), um código personalizado foi construído no Matlab, usando amostras de velocidade, com os seguintes parâmetros ($m = 2$, $r = 0,1$ e $k = 1$). Além disso, a percepção subjetiva de esforço (PSE) foi adquirida ao final de cada volta, utilizando-se a Escala de BORG (6-20). Para comparar as respostas militares ao longo de 4 voltas, foi utilizada ANOVA unidirecional com medidas repetidas, e o teste de correlação de Pearson foi para estimar a associação entre Vel, SampEn e PSE. Todos os procedimentos foram aprovados pelo comitê de ética local. **RESULTADO:** A FC média durante a marcha de 20Km foi de 125 ± 6 bpm (68% FCMáx), tempo médio 220 ± 6 min, velocidade média $5,4 \pm 0,15$ Km/h (24% VelMáx) e PSE $15,47 \pm 2,71$ (u.a.). Foram observados decréscimo de 6% na média do desempenho ao longo da marcha ($p < 0,05$), aumentos de 25% de SampEn ($p = 0,05$) e 40% de PSE ($p < 0,05$), correlação positiva entre SampEn e PSE ($r=0,96$; $p=0,03$) **CONCLUSÃO:** Os principais achados indicam que a fadiga física observada durante a marcha de 20 km relacionou-se com o aumento da complexidade da velocidade de locomoção, isso poderia ser explicado por uma diminuição na demanda mecânica por conta da diminuição da velocidade durante a tarefa. Foi relatado anteriormente um resultado oposto, utilizando contração voluntária máxima em um único exercício articular. No entanto, quando o exercício pode ser autoajustado, o SNC parece adaptar o controle motor para preservar a homeostase.

Palavras-chave: Entropia, Carregamento de Carga, Regularidade, Variabilidade.

ABSTRACT

ROCHA, Gabriel Pinto Neves Ângelo. Increase of motor output complexity is related to physical fatigue during special operations 20 km military march. Competition of course work presented as a requirement for completion of the *Lato Sensu* Postgraduated Course in Physical Performance of the Combatent. Rio de Janeiro – RJ, 2023.

INTRODUCTION: The Special Operations (SpecOps) activities usually perform long distances march, many times with load carriage over 30kg of equipment, resulting in a great mechanical, physiological and psychological demands. Nonlinear techniques, as complexity measurements, has been used to improve understanding of human locomotion. The aim of present study was to investigate if complexity of locomotion speed over time is related to performance. **METHOD:** Twenty-seven military (29.6 ± 3.5 yrs, 79.8 ± 5.7 Kg, 177 ± 4.4 cm, $12 \pm 3.6\%$ BF, 51.4 ± 1.9 mL·Kg⁻¹·min⁻¹) participants of SpecOps Course of Brazilian Marines, perform a 20 km (4 laps x 5km) of a ruck march, with ~ 30 kg of equipment, including backpack. Were acquired signals, sampled at a 10Hz, of speed (SP) and heart rate (HR) by a monitor (Polar Team Pro, Finland), and post processed off-line (Matlab, MathWorks,2013). To estimate sample entropy (SampEn), a custom code was built in Matlab, using samples of speed, with following parameters ($m = 2$, $r = 0.1$ and $k = 1$). Additionally, rated of perceived exertion (RPE) was acquired at end of each lap, using BORG Scale (6-20). To compare military responses over 4 laps, ANOVA one-way repeated measures was carried out, and Pearson correlation was performed to calculate association between speed, SampEn and RPE. All procedures were approved by a local Ethics committee. **RESULT:** The mean HR during 20Km march was 125 ± 6 bpm (68%HRMax), mean time 220 ± 6 min, mean speed 5.4 ± 0.15 Km/h (24%SPMax) and RPE 15.47 ± 2.71 (a.u.). Were observed a decrease an average of 6% of performance over the march ($p < 0.05$), increases of 25% of SampEn ($p = 0.05$) and 40% of RPE ($p < 0.05$), positive correlation of SampEn and RPE ($r = 0.96$; $p = 0.03$) **CONCLUSION:** The main findings indicate that physical fatigue observed during 20 km march was related to increase of complexity of locomotion speed, that could be explained by decrease in mechanical demand resulting from the reduction in the speed during the task. Has been previous reported an opposite result, using maximal voluntary contraction in a single joint exercise. However, when exercise could be self-adjusted, SNC seems adapt motor control to preserve homeostasis.

Keywords: Entropy, Load Carriage, Regularity, Variability.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	07
2	MÉTODO.....	9
3	RESULTADOS.....	14
4	DISCUSSÃO.....	17
5	CONCLUSÃO.....	20
6	REFERÊNCIAS.....	21

1. INTRODUÇÃO

A análise de medidas de complexidade tem sido usada como uma abordagem útil para compreender o comportamento de sistemas biológicos (RICHMAN; MOORMAN, 2000), cujas respostas produzem flutuações em séries temporais (PETHICK; WINTER; BURNLEY, 2016). A realização de movimentos corporais se dá por uma interação dinâmica entre aceleração-desaceleração (MERFELD; ZUPAN; PETERKA, 1999), provendo dessa forma um comportamento complexo em suas realizações. A complexidade presente nos sinais de respostas motoras pode ser um indicador da habilidade do sistema nervoso central (SNC) em lidar com perturbações físicas resultantes de tarefas específicas (VIANA *et al.*, 2020).

As flutuações nos sinais fisiológicos têm sido quantificadas com base em sua magnitude, utilizando tradicionais medidas de tendência central como média, desvio padrão e de dispersão como o desvio padrão e o coeficiente de variação (SLIFKIN; NEWELL, 2000). As medidas de complexidade aplicadas ao processamento de sinais biológicos são capazes de detectar alterações temporo-estruturais não detectáveis usualmente por medidas tradicionais de séries temporais, e alguns exemplos são: (1) alterações na dinâmica da frequência cardíaca (FC) resultantes do envelhecimento (LIPSITZ; GOLDBERGER, 1992), (2) tremor postural característico na doença de Parkinson (VAILLANCOURT; NEWELL, 2000) e (3) produção de torque, em exercício, durante a fadiga neuromuscular em adultos saudáveis (PETHICK; WINTER; BURNLEY, 2015). Vale ressaltar adicionalmente que essas alterações de complexidade, podem ocorrer na ausência de qualquer mudança na magnitude de dispersão da variável. Isso se deve ao fato de que flutuações não aleatórias são observadas em sinais fisiológicos saudáveis, em condições basais indicando que tais flutuações não são ruídos, mas contêm uma estrutura subjacente, que pode ter um papel na análise do sistema (GOLDBERGER *et al.*, 2002). Sendo assim, o uso de medidas de complexidade auxiliaria no avanço do entendimento de uma dada variável fisiológica, uma vez que, rotineiramente o organismo humano é exposto a diferentes estímulos que podem interferir no processamento sensorial e, conseqüentemente, na resposta motora (VIANA, 2019). Nesse sentido a presença de variações nas respostas de sistemas fisiológicos indicaria sua capacidade de adaptar-se naturalmente a essas mudanças. Isso refletiria a

flexibilidade do organismo em lidar com as diferentes demandas e estímulos que encontra em seu ambiente (LIPSITZ; GOLDBERGER, 1992). Por exemplo, o sistema neuromuscular, apresenta flutuações não-aleatórias em suas respostas eletrofisiológicas, indicando as adaptações do SNC em se ajustar às perturbações induzidas pelo ambiente (HOGAN *et al.*, 2015; VIANA *et al.*, 2020). Parte dessas adaptações são evidenciadas pela perda de complexidade dos sistemas biológicos com o envelhecimento (GOLDBERGER; PENG; LIPSITZ, 2002). Dessa forma, o avançar da idade parece estar relacionado com uma perda de complexidade nos padrões de caminhada, porém, há dados divergentes na literatura. Em dados de caminhada de dez metros, os padrões de movimento se apresentam mais regulares com o avançar da idade (ACHARYA *et al.*, 2013), em contrapartida, foi reportado que idosos apresentavam amplitude de movimento articular mais irregular em comparação com indivíduos mais jovens (KURZ; STERGIOU, 2003). A aceleração médio-lateral do movimento do quadril apresentou aumento da irregularidade com maiores velocidades em adultos com mais de 65 anos, enquanto na direção vertical era mais regular (HUIJBEN *et al.*, 2018). Assim como o envelhecimento, acrescentar uma atividade cognitiva à caminhada, parece aumentar a irregularidade tanto da aceleração quanto do deslocamento do centro de pressão nos planos anteroposterior e médio-lateral (AHMADI *et al.*, 2018).

Ao caminharem em velocidade auto selecionada (confortável), a entropia do sinal de aceleração em indivíduos com histórico de queda não foi diferente do grupo controle, porém ao caminharem em velocidade máxima, a complexidade foi maior nos indivíduos com histórico de queda. (KOJIMA *et al.*, 2008). Esses achados, apontam que a tarefa da marcha se realizada em velocidade confortável, talvez não seja capaz de detectar alterações em complexidade. De forma análoga, DINGWELL e MARIN (2006), ao avaliarem 5 velocidades de caminhada diferentes, encontrou um comportamento em formato de “U” na variabilidade de caminhada, tendo apresentado menor variabilidade na velocidade preferida (confortável) dos participantes. Por isso o uso de medidas de complexidade apresenta-se como uma alternativa possível à detecção de eventos e características espaço-temporais que podem melhorar nossa compreensão da regularidade e complexidade da corrida (MCGREGOR *et al.*, 2009; PARSHAD *et al.*, 2012). Uma das formas de se quantificar a irregularidade ou complexidade de um sinal

fisiológico, seria por meio de técnicas não lineares, em particular, a entropia. (PETHICK; WINTER; BURNLEY, 2021). Analisando a estrutura do sinal de uma série temporal, a entropia irá mensurar a irregularidade/improbabilidade do sistema (SHANNON, 1948). A utilização da entropia na investigação da locomoção humana tem crescido ao longo das últimas duas décadas (YENTES; RAFFALT, 2021) tendo seu início em 1998 (NIKOLIC; POPOVIC, 1998).

Usualmente, marchas realizadas em operações militares, realizam o deslocamento de longas distâncias a pé com grandes quantidades de armamentos e equipamentos (KNAPIK; REYNOLDS; HARMAN, 2004; ORR *et al.*, 2015). Em especial, vale ressaltar as marchas realizadas no Curso Especial de Comandos Anfíbios (C-Esp-ComAnf) que possui o propósito de preparar oficiais e praças para a execução e planejamento de Operações Especiais (OpEsp) de Fuzileiros Navais (BRASIL, 2018). No ano de 2023, ao longo de oito semanas, foi realizada no Centro de Educação Física Almirante Adalberto Nunes (CEFAN) a fase de preparação física dos candidatos ao C-Esp-ComAnf 2023. Esta fase visa melhorar o condicionamento dos militares em relação às capacidades físicas gerais e específicas, consideradas fundamentais para um melhor desempenho das atividades operacionais desenvolvidas durante o curso. Durante a primeira fase do curso os alunos realizam provas da unidade de ensino “Condicionamento Cardiopulmonar Básico”, incluindo uma marcha de 20Km que deve ser realizada em até 4 horas (BRASIL, 2018).

Nas Forças Armadas do Brasil não há estudos voltados a medidas de complexidade com a atividade de marcha a pé, e o presente estudo talvez permita a determinação de um método capaz de mensurar a irregularidade na atividade de maneira indireta através de outras variáveis, destacando a importância de se estudar o referido assunto visando entendê-lo. Dessa forma, a hipótese do presente trabalho, é que exista uma relação entre, aumento da fadiga ao longo da marcha, redução de desempenho e aumento na entropia do deslocamento da atividade. Sendo assim, o objetivo do presente trabalho será (1) verificar o efeito da marcha sob as variáveis velocidade, percepção subjetiva de esforço (PSE) e de complexidade fisiológica; (2) analisar relações entre medidas de velocidade, PSE e de complexidade fisiológica envolvidas em uma marcha 20 quilômetros com carregamento de carga em militares da Marinha do Brasil.

2. MÉTODO

O presente estudo será transversal, de natureza observacional, abordagem descritiva e quantitativa, para análise de dados obtidos em campo.

Amostra

A amostra do estudo foi composta por 27 militares Fuzileiros Navais do sexo masculino (idade $29,6 \pm 3,5$ anos, massa corporal total (MCT) $79,8 \pm 5,7\text{Kg}$, altura $177 \pm 4,4$ cm, percentual de gordura $12 \pm 3,6\%$, VO_2 $51,4 \pm 1,9 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) selecionados através de amostragem não probabilística de conveniência. Os critérios de inclusão foram ser voluntário para a participação do estudo, ser candidato ao C-Esp-ComAnf 2023, ter sido submetido às avaliações físicas e treinamento realizados pelo CEFAN no ano de 2023 e estar apto a realizar o teste suficiência física de marcha de 20km para admissão do curso. Foram considerados como critérios de exclusão, possuir alguma lesão musculoesquelética declarada pelo militar no ato da marcha e ter sido excluído de participar da marcha por indicação da equipe de instrução.

O presente trabalho foi elaborado atendendo aos requisitos do Conselho Nacional de Saúde de acordo com a Resolução 466/12, sobre Pesquisa em Seres Humanos. Todos os participantes receberam orientação verbal sobre os objetivos, características, procedimentos que foram realizados, riscos envolvidos e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido. O presente projeto foi aprovado pelo Comitê Nacional de Ética em Pesquisa (parecer:5.893.486).

Avaliação antropométrica

Foram realizadas as medidas de massa corporal total, estatura e dobras cutâneas peitoral, abdominal e coxa. Através dessas três dobras cutâneas foi estimado o percentual de gordura por meio da aplicação de equação de predição para homens, (JACKSON; POLLOCK, 1978). Foram seguidas as padronizações descritas pela International Society for the Advancement of Kineanthropometry (STEWART *et al.*, 2011).

A massa corporal total foi medida com os alunos vestindo apenas sunga de natação, por meio de balança com capacidade máxima entre 150 e 180 kg, aferida e certificada pelo Instituto de

Metrologia (INMETRO), com resolução de 100g da marca Welmy (Welmy Indústria e Comércio Ltda., Santa Bárbara D'Oeste, SP). A medida da estatura foi aferida com um estadiômetro da marca Prime Med (Prime Med Ind. e Com. Ltda, São Paulo, SP), com resolução de 0,1 cm. As espessuras das dobras cutâneas foram medidas com a utilização de um adipômetro científico (CESCORF Equipamentos para Esporte Ltda., Porto Alegre, RS).

Teste de marcha

Para a avaliação da marcha foi utilizado um sensor (Polar Team Pro, Finlândia) que fornece dados, na frequência de 10 Hz, das seguintes variáveis: FC, localização, distância, velocidade, aceleração e potência produzida. O sensor emprega algoritmos para calcular a aceleração, velocidade e distância percorrida pelos usuários. Os algoritmos permitem que o sensor escolha automaticamente a fonte mais adequada com base na qualidade dos dados disponíveis. O Sistema de Navegação por satélite (GNSS) é o método principal de rastreamento do sensor, que utiliza o GNSS devido a precisão validada na aferição de velocidade. (POLAR RESEARCH CENTER, 2022; VARLEY; FAIRWEATHER; AUGHEY, 2012).

A PSE foi estimada por meio da Escala de Borg que é uma ferramenta amplamente utilizada para avaliar a intensidade do esforço físico percebido durante o exercício. a escala possui uma variação de 6 a 20, na qual o valor 6 representa nenhum esforço e o valor 20 corresponde a um esforço máximo (BORG, 1982). O indivíduo é solicitado a escolher um número que melhor descreva a intensidade do seu esforço. Foi determinado que os militares da amostra deveriam relatar sua PSE a cada 5km percorridos.

Antes do teste de marcha, cada participante equipou um sensor Polar Team Pro com a cinta de peito. Os dados de cada participante estavam inseridos de forma individualizada em seu respectivo sensor.



Figura 1. Posicionamento do sensor.

O teste consistiu em deslocar a pé por uma distância de 20 km, em percurso plano, composto por 4 voltas de 5km, com duração máxima de 4h. Os militares participantes estavam com gorro de selva, calça, gandola, coturno, mochila com aproximadamente 25 kg e armamento com aproximadamente 3kg, totalizando cerca 30kg de carga a ser carregada. Os participantes foram orientados a realizar a atividade no menor tempo possível. Ao longo do percurso havia avaliadores para verificar e identificar o cumprimento da tarefa pelos participantes. O teste teve caráter individual, portanto o contato físico entre os participantes era proibido.



Figura 2. Ilustração da composição de um militar participante da marcha avaliada no presente estudo.

Cálculo da entropia

A entropia pode ser entendida como uma variável não-linear que fornece uma medida da complexidade de um sistema (SINGH, 2013). De acordo com a teoria da informação, a entropia é uma medida que reflete o nível de incerteza de um conjunto de série temporal ou dados. Para obter a entropia, é necessário multiplicar a probabilidade (p_k) de cada possível evento pelo logaritmo da probabilidade inversa de cada evento ($\log(1/p_k)$) (SHANNON, 1948), conforme Equação 1:

$$H = \sum_{i=1}^N p_k \log\left(\frac{1}{p_k}\right)$$

Porém, em processos estocásticos, não é possível ter conhecimento prévio da probabilidade (p_k) para a ocorrência de todos os eventos. Portanto, foram propostas metodologias adequadas, como a entropia amostral (SampEn)(RICHMAN; MOORMAN, 2000). A SampEn ajusta a entropia aproximada para gerar menor

dependência do comprimento da série temporal e menor viés de auto-comparação (PINCUS, 1991), conforme Equação 2:

$$SampEn(m, r, N) = -\ln\left(\frac{A_{m+1}(r)}{A_m(r)}\right)$$

Nesse sentido, m representa o comprimento das sequências a serem comparadas, r é a tolerância para aceitar correspondências e N é o comprimento da série temporal.

Análise dos dados e estatística

Os sinais obtidos pelo Polar Team Pro, após ser carregado na plataforma Polar Team, os dados integrais e não processados pela plataforma foram descarregados e processados localmente e de forma *off-line*. Todo o processamento dos sinais foi realizado por meio de um algoritmo personalizado, desenvolvido no software *Matlab*[®]. Inicialmente, os sinais dos 20 km foram recortados para trechos menores de 5 km e as amostras *outliers* foram retiradas, por meio da função *rmoutliers*. Um algoritmo específico, também desenvolvida em *Matlab*[®], a fim da estimativa da complexidade, foi aplicado aos sinais de velocidade, utilizando os parâmetros de entrada definidos como $r = 0,1$, $m = 2$ e para o parâmetro N , foram utilizadas todas as amostras do trecho de sinal avaliado. É importante destacar que, no algoritmo de cálculo da SampEn, r é multiplicado pelo desvio padrão (SD) de N para permitir comparações entre sequências de m pontos a partir do fornecimento de um limiar de correspondência. Para uma demonstração mais detalhada do SampEn, é recomendável consultar trabalho de Richman e Moorman (2000).

Para a estatística descritiva, os dados foram relatados por meio de média \pm desvio padrão. Para a avaliação do efeito da marcha de 20 km sob a velocidade, SampEn e PSE, foi aplicado uma ANOVA unidirecional com medidas repetidas no fator distância. Para identificar possíveis correlações entre PSE, velocidade, SampEn, foi utilizado o teste de correlação de Pearson. Em todas as análises estatísticas foi assumido α de 5%.

3. RESULTADOS

Os participantes do presente estudo realizaram uma marcha de 20Km, composta por 4 voltas de 5Km. A FC média observada na atividade foi de 125 ± 6 bpm (68%FCMáx), tempo médio 220 ± 6 min, velocidade média $5,4 \pm 0,15$ Km/h e PSE $15,47 \pm 2,71$ (u.a.). A atividade demonstrou-se forte o suficiente para observarmos um decréscimo de desempenho ao longo da marcha ($p < 0,05$), medido por uma perda de 6% da velocidade, especialmente na última volta ($p < 0,5$) (Figura 3). Analogamente, houve um acréscimo de 40% na PSE durante as voltas ($p = 0,05$) (Figura 4), provavelmente devido à fadiga acumulada durante o exercício. Na Figura 5 observamos um crescimento de 25% na SampEn do sinal de velocidade ($p < 0,05$), demonstrando que ao longo da marcha os indivíduos aumentaram a irregularidade na velocidade de deslocamento.

Não foi encontrada correlação entre velocidade e PSE ($p = 0,10$) (Figura 6) e a velocidade e a SampEn ($p = 0,17$) (Figura 7). Em contrapartida foi observada correlação entre PSE e SampEn ($p = 0,03$), sendo forte e positiva ($r = 0,96$) demonstrando que quanto maior a irregularidade na velocidade de deslocamento maior foi a PSE relatada pelos participantes (Figura 8).

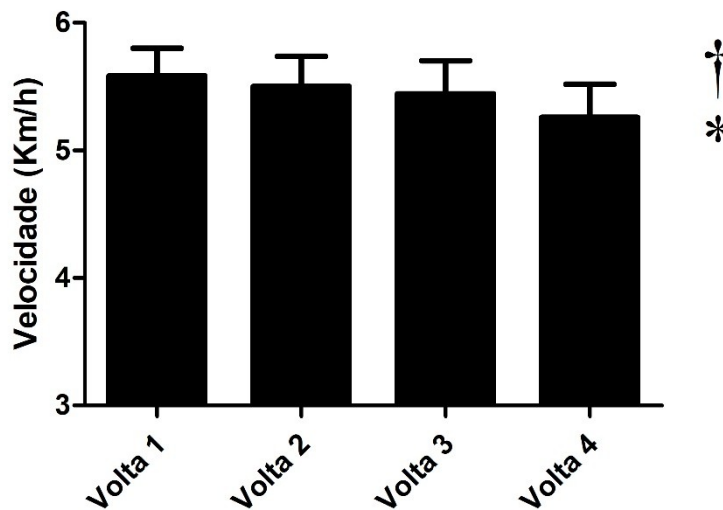


Figura 3. Comportamento da velocidade durante marcha militar de 20 km; * indica diferença entre as voltas ($p < 0,05$); † indica diferença entre a Volta 4 e restante das voltas ($p < 0,05$).

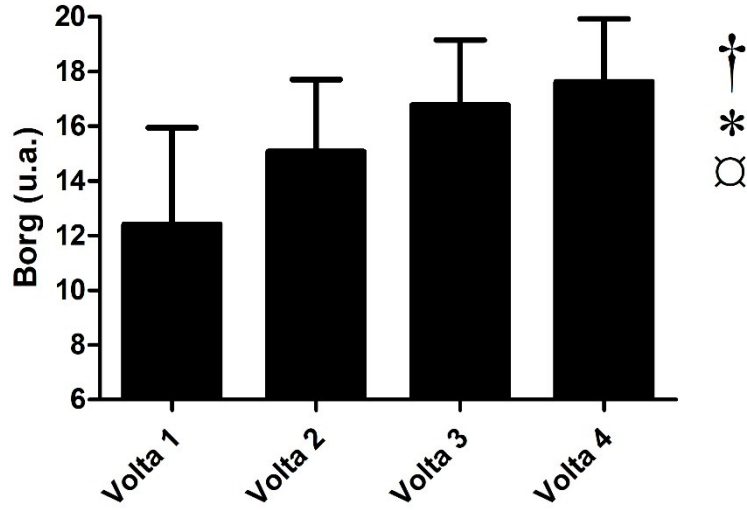


Figura 4. Comportamento da PSE durante marcha militar de 20 km. * Indica diferença entre as voltas ($p < 0,05$); † indica diferença entre a Volta 1 e restante das voltas ($p < 0,05$); ◻ indica diferença entre a Volta 2 e Volta 4 ($p < 0,05$).

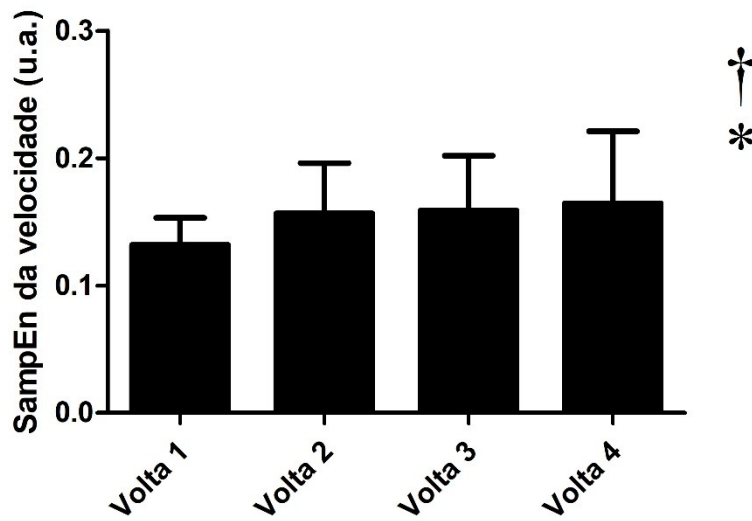


Figura 5. Comportamento da SampEn da velocidade durante marcha militar de 20 km; * indica diferença entre as voltas ($p < 0,05$); † indica diferença entre a Volta 1 e Volta 4 ($p < 0,05$).

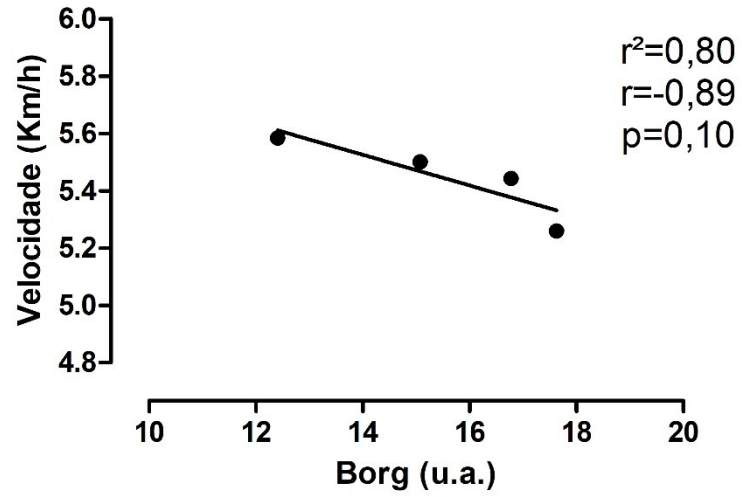


Figura 6. Correlação entre Velocidade e PSE.

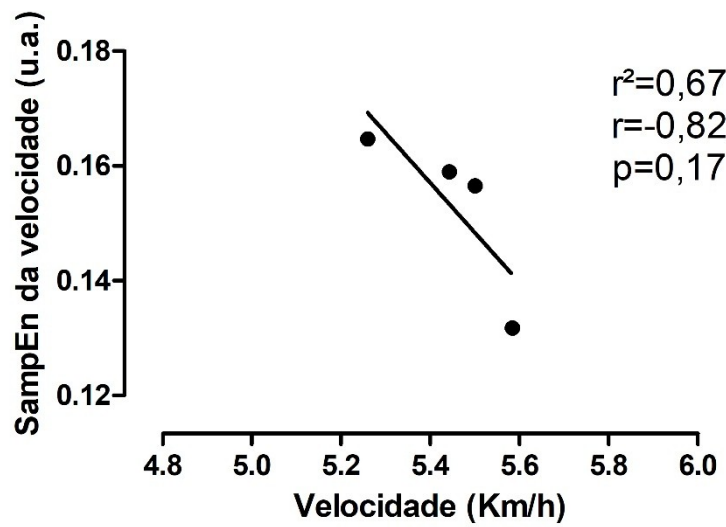


Figura 7. Correlação entre Velocidade e SampEn da velocidade.

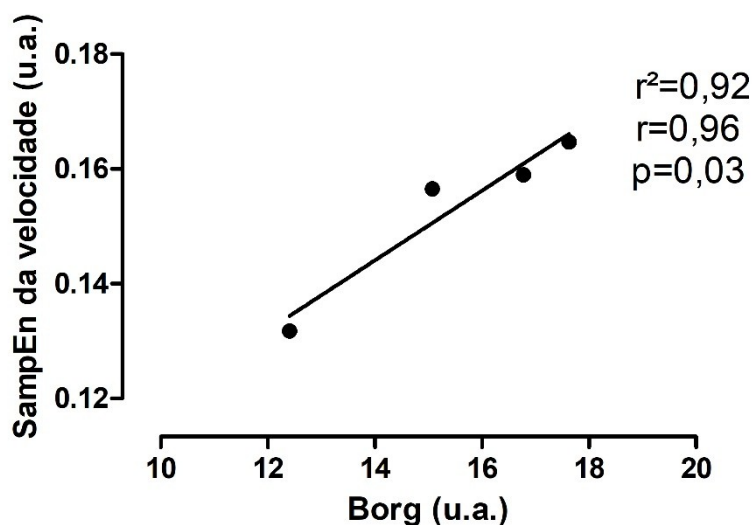


Figura 8. Correlação entre SampEn da velocidade e PSE.

4. DISCUSSÃO

Nossos resultados reportaram progressiva redução da velocidade ($p < 0,05$) e progressivo crescimento das PSE e SampEn ($p < 0,05$). Esses achados sugerem a determinação de um método capaz de mensurar a irregularidade da marcha, de maneira indireta, por meio da PSE.

KNAPIK *et al.*, (1990), em protocolo de marcha semelhante ao nosso, com militares realizando marcha de 20Km com 43 kg de carga, também encontrou decréscimo na velocidade de execução da tarefa, especificamente a partir da segunda metade do percurso ($p < 0,05$), ressaltando que entre os 10 Km e 15 Km o trajeto possuía subidas e descidas e o tempo médio de execução ($352 \pm 80\text{min}$) foi superior aos aqui achados ($220 \pm 6\text{min}$). Em contrapartida, JOHNSON *et al* (1995) ao realizarem estudo com soldados das Forças Especiais do exército americano, realizando marcha de 20km em percurso plano, com carga 34Kg, utilizando mochila do mesmo modelo do presente estudo, reportaram tempos médios de 171min. JOHNSON *et al* (1995) também reportaram a execução da tarefa com diferentes cargas, e embora esperassem encontrar maior desconforto cardiopulmonar na utilização de cargas mais pesadas, isso não foi evidenciado pelos dados. No entanto, os praticantes sentiram maior dificuldade com cargas maiores, indicado pelos tempos médios mais elevados para completar a atividade. No fim, levanta a hipótese de que provavelmente, como os militares podiam ditar seu

próprio ritmo, eles podem ter diminuído sua velocidade quando sentissem que estavam rápido demais para conseguir completar os 20 Km. Apesar de SAGIV *et al.*, (1994) não terem encontrado aumento no gasto energético ao longo da marcha, estudos anteriores mostraram que o custo energético do carregamento de carga aumenta de forma progressiva durante tarefas ≥ 120 min em velocidade constantes (BLACKER *et al.*, 2009, 2011; EPSTEIN *et al.*, 1988; PATTON *et al.*, 1991). Parece que cargas ≥ 40 kg e/ou velocidades $\geq 4,9$ km/h tornam esse aumento gradual mais evidente. Dessa forma, como em nosso estudo a velocidade era regulada pelos próprios participantes, torna-se justificável a queda na velocidade encontrada, como forma de preservar a homeostase (NOAKES, 2012) , principalmente na última volta, mesmo que os voluntários tenham sido orientados a realizar a tarefa no menor tempo possível.

Contudo, já foi relatado que um custo metabólico mais elevado não necessariamente indicaria uma maior PSE pois QUESADA *et al.*, (2000) encontraram maiores valores de demanda metabólica entre cargas de 15% da MCT e atividade sem carga, porém sem diferenças em PSE, ainda assim, quando testadas cargas de 30% MCT foram datados maiores valores de PSE ($p < 0,05$). Em nenhum dos testes de QUESADA *et al.*, (2000) a PSE relatada se comportou de maneira crescente, mesmo tendo sido escolhida a velocidade de 6 km/h, talvez por conta do protocolo curta duração (40 min). De forma análoga, BEEKLEY *et al.*, (2007) não encontrou diferença na PSE entre cargas de 30% e 50% da massa corporal livre de gordura, e encontrou valores maiores de PSE com cargas de 70% BLM ($p < 0,05$). QUESADA *et al.*, (2000) sugerem duas explicações para esses resultados, (1) existe um limiar de carregamento de carga, em que até certo valor de carga os indivíduos não notam diferença; (2) militares subestimam suas PSE por acreditarem que suas respostas poder refletir suas capacidades físicas ou mentais. Por outro lado, diversos trabalhos corroboram com o presente experimento, relatando significativos aumentos em PSE ao longo de marchas ≥ 40 min com carga ≥ 20 kg em velocidades $\geq 5,1$ km/h (BLACKER *et al.*, 2009, 2011; LIDSTONE *et al.*, 2017; MULLINS *et al.*, 2015; PHILLIPS; STICKLAND; PETERSEN, 2016; SIMPSON *et al.*, 2010).

De forma concisa, os dados de SampEn podem abranger alterações na complexidade dos sistemas neuromusculares. Essas mudanças podem ocorrer em diversas áreas do

Sistema Nervoso Central, como as regiões corticais, subcorticais e da medula espinhal, bem como na condução dos sinais dos neurônios motores até os músculos esqueléticos (VIANA *et al.*, 2020).

Em condições de demanda mecânica, a estratégia motora adotada pelo sistema neuromuscular, eventualmente, pode recrutar diferentes músculos para realização do mesmo movimento. Essa abundância tem como resultado várias possibilidades de soluções para realizar uma atividade específica sem que isso influencie no resultado final (MÜLLER; STERNAD, 2009). A coordenação intermuscular é uma característica importante, além da magnitude e tempo da ativação muscular, especialmente em níveis elevados de produção de força (WAKELING *et al.*, 2011). A coordenação muscular descreve como os músculos individuais e/ou grupos musculares contribuem para o movimento de interesse (ZAJAC; NEPTUNE; KAUTZ, 2002), analisando o padrão completo de ativação neuromuscular, em vez de considerar os músculos como unidades independentes (ENDERS; VON TSCHARNER; NIGG, 2015). Já foi demonstrado que em outras atividades aeróbicas, como ciclismo, que a coordenação do comportamento para a produção de força varia conforme a carga exercida e além disso, conforme a demanda mecânica aumenta, a produção de potência nas articulações dos membros inferiores também aumenta de maneira específica para cada articulação envolvida no movimento (ELMER *et al.*, 2011). Embora já tenha sido reportada redução da SampEn do torque extensor de joelho conforme a fadiga em exercício isométrico uniarticular avança (PETHICK; WINTER; BURNLEY, 2015, 2016), essa abordagem não oferece uma análise da complexidade da estratégia neuromuscular utilizada pelo sistema musculoesquelético durante movimentos multiarticulares. Foi sugerido que o aumento na produção de potência não é apenas resultado do aumento na magnitude da ativação muscular, mas também de mudanças nos padrões específicos de coordenação dos músculos (WAKELING; BLAKE; CHAN, 2010).

VIANA *et al.*, (2020) encontraram que em um teste de 4 km envolvendo ciclistas, a SampEn da produção de potência em um primeiro momento se comporta de maneira crescente, porém na parte final do teste, com maior fadiga e maior potência produzida os valores de SampEn se comportam de maneira decrescente. Assim, corroborando com os achados de (ENDERS; VON TSCHARNER; NIGG, 2015), que demonstraram relação

entre aumento na demanda mecânica do exercício e valores reduzidos de SampEn. A redução nas possibilidades de solução, na condição de alta potência, sugere que esse resultado seja principalmente devido a progressiva restrição mecânica da tarefa, reduzindo as opções disponíveis para o sistema musculoesquelético resolver o movimento. Esses achados corroboram um princípio fundamental da física de que quanto menos especificada for a execução de uma tarefa, maior a quantidade de soluções possíveis (MÜLLER; STERNAD, 2009).

À primeira vista, nossos achados parecem divergir da literatura supracitada, tendo em vista que não encontramos diminuição da SampEn com o aumento da fadiga ao fim do exercício. Todavia já foi demonstrado que menores velocidades na execução do carregamento de carga provocam menor Força de Reação do Solo (HSIANG; CHANG, 2002), resultando em uma menor demanda mecânica para realização do movimento e com isso a estratégia motora “escolhida” pelo sistema neuromuscular apresenta aumento de irregularidade. Outra hipótese para aumento progressivo da SampEn é que, diferentemente de outras atividades cíclicas, o carregamento de carga apresenta um aumento de dores e desconforto relacionados ao incômodo provocado pelo material sendo carregado (JOHNSON; KNAPIK; MERULLO, 1995; WETTENSCHWILER *et al.*, 2015) podendo talvez aumentar a irregularidade dos movimentos.

Apesar de haver na literatura artigos que apresentaram resultados semelhante aos nossos no comportamento das variáveis aqui medidas (BLACKER *et al.*, 2009, 2011; JOHNSON; KNAPIK; MERULLO, 1995; KNAPIK *et al.*, 1990; LIDSTONE *et al.*, 2017; MULLINS *et al.*, 2015; PHILLIPS; STICKLAND; PETERSEN, 2016; SIMPSON *et al.*, 2010), não foram realizados testes de correlação nos respectivos estudos nas respectivas variáveis. Dessa forma, sugere-se que as correlações nas Figuras 6 e 7 ($p > 0,05$) não detectadas tendo em vista que utilizamos apenas quatro pontos para realização da estatística.

De forma análoga ao nosso trabalho MURRAY *et al.*, (2017), determinou um método indireto para quantificação de marcadores metabólicos através de medidas de SampEn em medidas de acelerometria. Nesse sentido, o resultado encontrado para a correlação entre SampEn e PSE ($p < 0,05$), talvez seja justificável, haja vista a PSE

estar intimamente ligadas a autorregulação do controle do exercício (NOAKES, 2012; PIRES *et al.*, 2016).

Como limitações do trabalho podemos citar que as respostas da PSE podem ter sido influenciadas por conta do local de coleta haver instrutores do C-Esp-Com-Anf e participantes que estavam próximos no percurso. Além disso, o fato de termos coletado apenas 4 pontos de PSE pode ter influenciado a os resultados dos testes de correlação por conta de termos poucos pontos na amostra.

5. CONCLUSÃO

Resultados do presente estudo reportaram uma progressiva redução da velocidade e aumentos nas PSE e SampEn durante uma marcha militar de 20 Km, e assim revelando progressivo aumento na complexidade motora conforme a tarefa avançava. Dessa forma, conclui-se que a PSE é uma ferramenta adequada para mensurar, de maneira indireta, a complexidade da velocidade de deslocamento de alunos do C-Esp-Com-Anf 2023 em uma marcha militar de 20 Km.

6. REFERÊNCIAS

ACHARYA, U. R.; SREE, S. V.; LIM, C. M.. Comparison of walking parameters obtained from the young, elderly and adults with support. **Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering**, v. 16, n. 11, p. 1202–1212, 2013.

AHMADI, S.; WU, C.; SEPEHRI, N.; KANTIKAR, A.; NANKAR, N.; SZTURM, T.. The effects of aging and dual tasking on human gait complexity during treadmill walking: A comparative study using quantized dynamical entropy and sample entropy. **Journal of Biomechanical Engineering**, v. 140, n. 1, 2018. American Society of Mechanical Engineers (ASME).

BEEKLEY, M. D.; ALT, J.; BUCKLEY, C.M.; DUFFEY, M.; CROWDER, T.M.. **Effects of Heavy Load Carriage during Constant-Speed, Simulated, Road Marching**. 2007.

BLACKER, S. D.; FALLOWFIELD, J. L.; BILZON, J. L. J.; WILLEMS, M. E. T. Physiological Responses to Load Carriage During Level and Downhill Treadmill Walking. **Medicina Sportiva**, v. 13, n. 2, p. 116–124, 2009. Index Copernicus.

BLACKER, S. D.; WILLIAMS, N. C.; FALLOWFIELD, J. L.; WILLEMS, M. E. T. The effect of a carbohydrate beverage on the physiological responses during prolonged load carriage. **European Journal of Applied Physiology**, v. 111, n. 8, p. 1901–1908, 2011.

BORG, G. A. V. Psychophysical bases of perceived exertion. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 14, n. 5, 1982. Disponível em: <https://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/1982/05000/Psychophysical_bases_of_perceived_exertion.12.aspx>. .

DINGWELL, J. B.; MARIN, L. C. Kinematic variability and local dynamic stability of upper body motions when walking at different speeds. **Journal of Biomechanics**, v. 39, n. 3, p. 444–452, 2006.

ELMER, S. J.; BARRATT, P. R.; KORFF, T.; MARTIN, J. C. Joint-Specific Power Production during Submaximal and Maximal Cycling. **Med. Sei. Sports Exerc**, v. 43, n. 10, p. 1940–1947, 2011. Disponível em: <<http://www.acsm-msse.org>>.

ENDERS, H.; VON TSCHARNER, V.; NIGG, B. M. Neuromuscular strategies during cycling at different muscular demands. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 47, n. 7, p. 1450–1459, 2015. Lippincott Williams and Wilkins.

EPSTEIN, Y.; ROSENBLUM, J.; BURSTEIN, R.; SAWKA, M. N. **External load can alter the energy cost of prolonged exercise**. 1988.

FERREIRA VIANA, B. **ANÁLISE DO ELETROENCEFALOGRAMA DURANTE ESTIMULAÇÃO VISUAL POR REALIDADE VIRTUAL ESTEREOSCÓPICA EM TAREFA DE INTERCEPTAÇÃO DE BOLA**. 2019.

GOLDBERGER, A. L.; N AMARAL, L. A.; HAUSDORFF, J. M.; IVANOV, P.C.; PENG, C.K.; STANLEY, H.E.. **Fractal dynamics in physiology: Alterations with disease and aging**. 2002. GOLDBERGER, A. L.; PENG, C.-K.; LIPSITZ, L. A. **What is physiologic complexity and how does it change with aging and disease?** 2002.

HOGAN, M. J.; O’HORA, D.; KIEFER, M.; KUBESCH, S.; KILMARTIN, L.; COLLINS, P.; DIMITROVA, J.. The effects of cardiorespiratory fitness and acute aerobic exercise on executive functioning and EEG entropy in adolescents. **Frontiers in Human Neuroscience**, v. 9, 2015.

HSIANG, S. M.; CHANG, C. The effect of gait speed and load carrying on the reliability of ground reaction forces. **Safety Science**, v. 40, n. 7, p. 639–657, 2002. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753501000649>>.

HUIJBEN, B.; VAN SCHOOTEN, K. S.; VAN DIEËN, J. H.; PIJNAPPELS, M. The effect of

walking speed on quality of gait in older adults. **Gait and Posture**, v. 65, p. 112–116, 2018. Elsevier B.V.

JACKSON, A. S.; POLLOCK, M. L. Generalized equations for predicting body density of men. **British Journal of Nutrition**, v. 40, n. 3, p. 497–504, 1978. Cambridge University Press (CUP).

JOHNSON, R. F.; KNAPIK, J. J.; MERULLO, D. J. **SYMPTOMS DURING LOAD CARRYING: EFFECTS OF MASS AND LOAD DISTRIBUTION DURING A 20-KM ROAD MARCH** “-”, ’. 1995.

KNAPIK, J.; BAHRKE, M.; STAAB, J.; REYNOLDS, K.; VOGEL, J. Frequency of Loaded Road March Training and Performance on a Loaded Road March. , p. 52, 1990.

KNAPIK, J. J.; REYNOLDS, K. L.; HARMAN, E. Soldier Load Carriage: Historical, Physiological, Biomechanical, and Medical Aspects. **Military Medicine**, p. 169, 2004.

KOJIMA, M.; OBUCHI, S.; HENMI, O.; IKETA, N. Comparison of smoothness during gait between community dwelling elderly fallers and non-fallers using power spectrum entropy of acceleration time-series. **Journal of Physical Therapy Science**, v. 20, n. 4, p. 243–248, 2008.

KURZ, M. J.; STERGIOU, N. The aging humans neuromuscular system expresses less certainty for selecting joint kinematics during gait. **Neuroscience Letters**, v. 348, n. 3, p. 155–158, 2003. Elsevier Ireland Ltd.

LIDSTONE, D. E.; STEWART, J. A.; GURCHIEK, R.; NEEDLE, A.R.; WERKOVEN, H.V.; MCBRIDE, J.M.. Physiological and biomechanical responses to prolonged heavy load carriage during level treadmill walking in females. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 33, n. 4, p. 248–255, 2017. Human Kinetics Publishers Inc.

LIPSITZ, L. A.; GOLDBERGER, A. L. **Loss of “Complexity” and Aging Potential Applications of Fractals and Chaos Theory to Senescence**. 1992.

MARINHA DO BRASIL. **CURRÍCULO CURSO ESPECIAL DE COMANDOS ANFÍBIOS**. 2018.

MCGREGOR, S. J.; BUSA, M. A.; SKUFCA, J.; YAGGIE, J. A.; BOLLT, E. M. Control entropy identifies differential changes in complexity of walking and running gait patterns with increasing speed in highly trained runners. **Chaos**, v. 19, n. 2, 2009. American Institute of Physics Inc.

MERFELD, D. M.; ZUPAN, L.; PETERKA, R. J. Humans use internal models to estimate gravity and linear acceleration. **Nature**, p. 615–618, 1999.

MÜLLER, H.; STERNAD, D. Motor learning: Changes in the structure of variability in a redundant task. **Advances in Experimental Medicine and Biology**, v. 629, p. 439–456, 2009.

MULLINS, A. K.; ANNETT, L. E.; DRAIN, J. R.; KEMP, J. G.; CLARK, R.A.; WHYTE, D. G.. Lower limb kinematics and physiological responses to prolonged load carriage in untrained individuals. **Ergonomics**, v. 58, n. 5, p. 770–780, 2015. Taylor and Francis Ltd.

MURRAY, A. M.; RYU, J. H.; SPROULE, J.; TURNER, A. P.; GRAHAM-SMITH, P.; CARDINALE, M.. A pilot study using entropy as a noninvasive assessment of running. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 12, n. 8, p. 1119–1122, 2017. Human Kinetics Publishers Inc.

NIKOLIC, Z. M.; POPOVIC, D. B. **Predicting Quadriceps Muscle Activity During Gait with an Automatic Rule Determination Method**. 1998.

NOAKES, T. D. Fatigue is a brain-derived emotion that regulates the exercise behavior to ensure the protection of whole body homeostasis. **Frontiers in Physiology**, 2012.

ORR, R. M.; POPE, R.; JOHNSTON, V.; COYLE, J. **Operational Loads Carried by Australian Soldiers on Military Operations Accuracy of Body Mass Index Based on Self-Report Data among Law Enforcement Cadets View project Health, Fitness of Wellbeing of Tactical Personnel: from recruitment to specialist View project**. 2015.

PARSHAD, R. D.; MCGREGOR, S. J.; BUSA, M. A.; SKUFCA, J. D.; BOLLT, E. A statistical approach to the use of control entropy identifies differences in constraints of gait in highly trained versus untrained runners. **Mathematical Biosciences and Engineering**, v. 9, n. 1, p. 123–145, 2012.

PATTON, J. F.; KASZUBA, J.; MELLO, R. P.; REYNOLDS, K. L. **Physiological responses to prolonged treadmill walking with external loads**. 1991.

PETHICK, J.; WINTER, S. L.; BURNLEY, M. Fatigue reduces the complexity of knee extensor torque fluctuations during maximal and submaximal intermittent isometric contractions in man. **Journal of Physiology**, v. 593, n. 8, p. 2085–2096, 2015.

PETHICK, J.; WINTER, S. L.; BURNLEY, M. Loss of knee extensor torque complexity during fatiguing isometric muscle contractions occurs exclusively above the critical torque. **Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol**, v. 310, p. 1144–1153, 2016. Disponível em: <<http://www.ajpregu.org>>.

PHILLIPS, D. B.; STICKLAND, M. K.; PETERSEN, S. R. Ventilatory responses to prolonged exercise with heavy load carriage. **European Journal of Applied Physiology**, v. 116, n. 1, p. 19–27, 2016. Springer Verlag.

PINCUS, S. M. **Approximate entropy as a measure of system complexity (stadstc/stohastdc processes/chaos/dimension)**. 1991.

PIRES, F. O.; DOS ANJOS, C. A. S.; COVOLAN, R. J. M.; PINHEIRO, F. A.; GIBSON, A. S. C.; NOAKES, T. D.; MAGALHÃES, F. H.; UGRINOWITSCH, C.. Cerebral regulation in different maximal aerobic exercise modes. **Frontiers in Physiology**, v. 7, n. JUL, 2016. Frontiers Research Foundation.

POLAR RESEARCH CENTER. **Polar Team Pro White Paper**. 2022.

QUESADA, P. M.; MENGELKOCH, L. J.; HALE, R. C.; SIMON, S. R. Biomechanical and metabolic effects of varying backpack loading on simulated marching. **Ergonomics**, v. 43, n. 3, p. 293–309, 2000.

RICHMAN, J. S.; MOORMAN, J. R. Physiological time-series analysis using approximate and sample entropy. **American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology**, v. 278, n. 6 47-6, 2000. American Physiological Society.

SAGIV, M.; BEN-SIRA, D.; SAGIV, A.; WERBER, G.; ROTSTEIN, A. Left ventricular responses during prolonged treadmill walking with heavy load carriage. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 26, n. 3, 1994. Disponível em: <https://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/1994/03000/Left_ventricular_responses_during_prolonged.3.aspx>.

SHANNON, C. E. A mathematical theory of communication. **The Bell System Technical Journal**, v. 27, n. 3, p. 379–423, 1948.

SIMPSON, R. J.; GRAHAM, S. M.; FLORIDA-JAMES, G. D.; CONNABOY, C.; CLEMENT, R.; JACKSON, A. S.. Perceived exertion and heart rate models for estimating metabolic workload in elite British soldiers performing a backpack load-carriage task. **Applied Physiology, Nutrition and Metabolism**, v. 35, n. 5, p. 650–656, 2010.

SINGH, V. P. **Entropy theory and its application in environmental and water engineering**. New York: Wiley-Blackwell, 2013.

SLIFKIN, A. B.; NEWELL, K. M. Variability and noise in continuous force production. **Journal of Motor Behavior**, v. 32, n. 2, p. 141–150, 2000.

STEWART, A.; MARFELL-JONES, M.; OLDS, T.; DE RIDDER, H. **International standards for anthropometric assessment**. Potchefstroom, 2011.

VAILLANCOURT, D. E.; NEWELL, K. M. **The dynamics of resting and postural tremor in Parkinson's disease**. 2000.

VARLEY, M. C.; FAIRWEATHER, I. H.; AUGHEY, R. J. Validity and reliability of GPS for measuring instantaneous velocity during acceleration, deceleration, and constant motion. **Journal of Sports Sciences**, v. 30, n. 2, p. 121–127, 2012.

VIANA, B. F.; TRAJANO, G. S.; UGRINOWITSCH, C.; PIRES, F. O. Caffeine increases motor output entropy and performance in 4 km cycling time trial. **PLoS ONE**, v. 15, n. 8 August, 2020. Public Library of Science.

WAKELING, J. M.; BLAKE, O. M.; CHAN, H. K. Muscle coordination is key to the power output and mechanical efficiency of limb movements. **Journal of Experimental Biology**, v. 213, n. 3, p. 487–492, 2010.

WAKELING, J. M.; BLAKE, O. M.; WONG, I.; RANA, M.; LEE, S. S. M. Movement mechanics

as a determinate of muscle structure, recruitment and coordination. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 366, n. 1570, p. 1554–1564, 2011. Royal Society.

WETTENSCHWILER, P. D.; LORENZETTI, S.; STÄMPFLI, R.; ROSSI, R. M.; FERGUSON, S. J.; ANNAHEIM, S.. Mechanical predictors of discomfort during load carriage. **PLoS ONE**, v. 10, n. 11, 2015. Public Library of Science.

YENTES, J. M.; RAFFALT, P. C. Entropy Analysis in Gait Research: Methodological Considerations and Recommendations. **Annals of Biomedical Engineering**, 1. mar. 2021. Springer.

ZAJAC, F. E.; NEPTUNE, R. R.; KAUTZ, S. A. Biomechanics and muscle coordination of human walking: Part I: Introduction to concepts, power transfer, dynamics and simulations. **Gait & Posture**, v. 16, n. 3, p. 215–232, 2002. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966636202000681>>.