

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA, FISIOTERAPIA E DANÇA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO HUMANO

Edson Soares da Silva

**HOW DO SMALL HORIZONTAL IMPEDING FORCES AFFECT
PHYSIOMECHANICS OF RUNNING?**

PORTO ALEGRE

2021

Edson Soares da Silva

**HOW DO SMALL HORIZONTAL IMPEDING FORCES AFFECT
PHYSIOMECHANICS OF RUNNING?**

Dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Human Movement Sciences of the School of Physical Education, Physiotherapy and Dance of the Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Alexandre Peyré Tartaruga

Coorientador: Prof. Dr. Wouter Hoogkamer

Porto Alegre

2021

Edson Soares da Silva

**HOW DO SMALL HORIZONTAL IMPEDING FORCES AFFECT
PHYSIOMECHANICS OF RUNNING?**

Conceito final:

28 de janeiro de 2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Flávio Antônio de Souza Castro
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Prof. Dr. Gaspare Pavei
University of Milan

Prof. Dr. Marcelo Coertjens
Universidade Federal do Delta do Parnaíba - UFDPAr

Prof. Dr. Rodrigo Gomes da Rosa
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Orientador – Prof. Dr. Leonardo Alexandre Peyré Tartaruga
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os pesquisadores, amigos e familiares que foram importantes para a conclusão de mais uma etapa da minha formação acadêmica. Aos atuais e antigos membros do Grupo de Pesquisa em Mecânica e Energética da Locomoção Terrestre (LOCOMOTION), que foram parceiros em todos os momentos desde 2013, em especial: Ana Zanardi, Henrique Leal, Pedro Schons, Tamiris Castro, Renan Coimbra, Henrique Bianchi Oliveira, Onésimo Ubiratã, Jonas Santos, Araton Cardoso, Marcela Zimmermann, André Mello, Leonardo Bloedow, Marcos Masiero, Patrick Guimarães, Natalia Gomenuka, Alex Fagundes, Valéria Martins, Elren Monteiro, Marcelo Coertjens e Guilherme Berriel. Além disso, agradeço aos amigos e pesquisadores de outros grupos, que também fazem parte dessa história: Fábio Lanferdini, Jeam Geremia e Rochelle Costa.

Agradeço aos meus coorientadores de iniciação científica ao longo da minha graduação em Educação Física, que sempre foram minha referência em profissionalismo e humildade: Paula Finatto e Rodrigo Rosa. Além disso, tenho orgulho de ter coorientado alunos de iniciação científica dedicados nesse período: Miguel Backes, Paulo Silva, Esthevan Machado, Juliana Dias e Rafael Fortes, aos quais também agradeço.

Sou eternamente grato ao meu orientador e amigo professor Leonardo Alexandre Peyré Tartaruga, que me deu a oportunidade conhecer a pesquisa de alto nível e por ter acreditado no meu potencial desde a iniciação científica. Foram anos incríveis de trabalho duro e conquistas juntos.

Tive a sorte de conhecer pessoas incríveis durante o meu estágio de pesquisa na Universidade do Colorado - Boulder (USA), pesquisa esta que originou esse trabalho: Clarissa Whiting, Shalaya Kipp, Christian Carmack, Tripp Hurt e Randy Hutchison fizeram parte do “*dream team*” durante a coleta de dados. Os professores Rodger Kram e Wouter Hoogkamer foram meus coorientadores nesse trabalho e têm sido grandes amigos, fonte de inspiração e parceiros para além do ambiente acadêmico.

Agradeço à pessoa mais especial da minha vida, minha mãe Maria Lucia de Souza Silva, e aos meus familiares que mesmo distantes sempre me incentivaram a investir em educação.

Muito obrigado a todos!

RESUMO

Introdução: Os benefícios da estratégia de *drafting* no desempenho de maratonistas de elite são conhecidos. Porém, devido a diferentes métodos para converter as forças de arrasto na corrida em potência metabólica e as altas forças horizontais impeditivas (HIF) utilizadas nos estudos anteriores, não está claro como os fatores fisiomecânicos são afetados nessas condições. **Objetivo:** Quantificar como pequenas HIF afetam a fisiomecânica de corredores de longa distância. **Métodos:** Doze corredores homens (idade: $26,1 \pm 3,5$ anos, massa corporal: $66,5 \pm 5,6$ kg, estatura: $1,79 \pm 0,09$ m) participaram do estudo. O estudo consistiu em três sessões de coletas de dados. Em cada sessão, os sujeitos correram em duas vezes uma velocidade (12 ou 14 ou 16 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) nas três forças (0, 4 e 8 N) totalizando 6 tentativas de 5 minutos por sessão, com 5 minutos de recuperação entre as tentativas. Nós mensuramos o consumo de oxigênio submáximo e forças de reação do solo, simultaneamente. As forças de reação do solo foram duplamente integradas para cálculo das variáveis do sistema massa mola, e as assimetrias contato-despregue e *rebound* no software Labview. A potência metabólica, eficiência aparente (E_{ff}), impulsos de frenagem (I_{brake}) e de propulsão (I_{prop}), picos de força de frenagem ($F_{\text{brake,peak}}$) e propulsão ($F_{\text{prop,peak}}$), tempo de contato (t_c) e aéreo (t_a), comprimento do passo (L), *duty factor*, tempo de contato efetivo (t_{ce}) e aéreo efetivo (t_{ae}), tempo de propulsão (t_{push}) e frenagem (t_{brake}), deslocamento vertical do centro de massa (s_v): durante o contato (s_c), fase aérea (s_a), contato efetivo descendente ($s_{\text{ce,down}}$), contato efetivo ascendente ($s_{\text{ce,up}}$), aéreo efetivo descendente ($s_{\text{ae,down}}$) e aéreo efetivo ascendente ($s_{\text{ae,up}}$), frequência de passo (f_{step}), frequência natural do sistema (f_{sys}), rigidez vertical (k_{vert}), força vertical (F_v), velocidade vertical do centro de massa durante a fase descendente ($v_{v,\text{max,down}}$) e ascendente ($v_{v,\text{max,up}}$), armazenamento de energia elástica (EL) e as assimetrias $t_{\text{ce}}/t_{\text{ae}}$, $t_{\text{push}}/t_{\text{brake}}$, $s_{\text{ae,down}}/s_{\text{ae,up}}$, $s_{\text{ce,down}}/s_{\text{ce,up}}$ e $v_{v,\text{max,down}}/v_{v,\text{max,up}}$ foram calculadas. Foi utilizada uma ANOVA de duas vias para medidas repetidas com post-hoc de Bonferroni para a comparação entre as variáveis ($\alpha = 0,05$). **Resultados:** A potência metabólica aumentou 6,13% por 1% do peso corporal de HIF. Com o aumento das HIF, I_{brake} reduziram, enquanto I_{prop} aumentaram. O L e F_v reduziram com aumento das HIF correspondente a 8 N. As variáveis t_c , t_a , t_{ce} , t_{ae} , *duty factor*, $F_{\text{brake,peak}}$, $F_{\text{prop,peak}}$, s_a , f_{step} , f_{sys} , k_{vert} , EL e assimetria entre $t_{\text{ce}}/t_{\text{ae}}$ foram todas independentes das HIF. A assimetria entre $v_{v,\text{max,down}}/v_{v,\text{max,up}}$ reduziu quando 4 e 8 N de HIF foi aplicada, enquanto 8 N tornou as relações entre $s_{\text{ae,down}}/s_{\text{ae,up}}$ e $s_{\text{ce,down}}/s_{\text{ce,up}}$ simétricas. Não houve qualquer efeito da velocidade de corrida e das HIF na E_{FF} , s_v , s_c , e na assimetria entre $t_{\text{push}}/t_{\text{brake}}$. **Conclusão:** Concluimos que o sistema massa-mola pode ser otimizado com altas HIF. Essa otimização acontece quando as altas HIF (8 N) tornam as relações entre $s_{\text{ae,down}}/s_{\text{ae,up}}$, $s_{\text{ce,down}}/s_{\text{ce,up}}$ e $v_{v,\text{max,down}}/v_{v,\text{max,up}}$ simétricas. Entretanto, custo energético para superar I_{prop} contra HIF aumenta a potência metabólica em 6,13% por 1% da massa corporal de HIF.

Palavras-chave: *drafting*; economia de corrida; desempenho; modelo massa-mola, mecânica.

ABSTRACT

Background: Benefits of drafting strategies for elite marathon performance are known. However, due to different methods to convert aerodynamic drag force to metabolic power and high horizontal impeding forces (HIF) implemented in previous studies, it is unclear how biomechanical is affected at these conditions. **Objective:** We aimed to quantify how small HIF affect the biomechanics of long-distance runners. **Methods:** Twelve male runners (age: 26.1 ± 3.5 years, mass: 66.5 ± 5.6 kg, height 1.79 ± 0.09 m) participated. The study consisted of three data collection sessions. On each session, the subjects ran one velocity two times per session (12, 14 and $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) at three HIF (0, 4 and 8 N) in a total of six 5-minute trials with 5 minutes recovery in-between. We measured submaximal oxygen uptake and ground reaction forces simultaneously. Ground reaction forces were double integrated for calculating spring-mass model variables, landing take-off and rebound asymmetries on Labview software. The metabolic power, apparent efficiency (E_{ff}), braking (I_{brake}) and propulsive impulses (I_{prop}), peak of braking ($F_{\text{brake,peak}}$) and propulsive forces ($F_{\text{prop,peak}}$), contact (t_c) and aerial time (t_a), step length (L), duty factor, effective contact (t_{ce}) and aerial time (t_{ae}), push (t_{push}) and brake duration (t_{brake}), vertical displacement of the center of mass (s_v) during contact time (s_c), aerial time (s_a), effective contact downward ($s_{\text{ce,down}}$), effective contact upward ($s_{\text{ce,up}}$), effective aerial downward ($s_{\text{ae,down}}$) and effective aerial upward ($s_{\text{ae,up}}$), step frequency (f_{step}), natural frequency of the system (f_{sys}), vertical stiffness (k_{vert}), vertical force (F_v), vertical velocity of the center of mass downward ($V_{v,\text{max,down}}$) and upward ($V_{v,\text{max,up}}$), elastic energy storage (EL) and $t_{\text{ce}}/t_{\text{ae}}$, $t_{\text{push}}/t_{\text{brake}}$, $s_{\text{ae,down}}/s_{\text{ae,up}}$, $s_{\text{ce,down}}/s_{\text{ce,up}}$ and $V_{v,\text{max,down}}/V_{v,\text{max,up}}$ asymmetries were calculated. We performed a two-way ANOVA with repeated measures and Bonferroni post-hoc for comparing the variables ($\alpha = 0.05$). **Results:** The metabolic power increased by 6.13% per 1% body weight of HIF. With increasing HIF, I_{brake} decreased while I_{prop} increased. The L and F_v reduced with increase of HIF corresponding of 8 N. The variables t_c , t_a , t_{ce} , t_{ae} , duty factor, $F_{\text{brake,peak}}$, $F_{\text{prop,peak}}$, s_a , f_{step} , f_{sys} , k_{vert} , EL and $t_{\text{ce}}/t_{\text{ae}}$ asymmetry were all independent of HIF. t_{brake} , $V_{v,\text{max,down}}$, $V_{v,\text{max,up}}$ and elastic energy storage were all independent of HIF. The asymmetry between $V_{v,\text{max,down}}/V_{v,\text{max,up}}$ reduced when was applied 4 and 8 N of HIF, whereas 8 N becomes $s_{\text{ae,down}}/s_{\text{ae,up}}$ and $s_{\text{ce,down}}/s_{\text{ce,up}}$ symmetrical. The E_{ff} , s_v , s_c , and $t_{\text{push}}/t_{\text{brake}}$ asymmetry were not affected by running velocity and HIF. **Conclusion:** We concluded that spring-mass model can be optimized at high HIF. This optimization is related to symmetrical relationship between $s_{\text{ae,down}}/s_{\text{ae,up}}$, $s_{\text{ce,down}}/s_{\text{ce,up}}$ e $V_{v,\text{max,down}}/V_{v,\text{max,up}}$ with high HIF (8 N). Therefore, although attenuated by elastic mechanism, the metabolic power increases 6.13% by adding HIF of 1% body weight.

Keywords: drafting; running economy; performance; spring-mass model; mechanics.