

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA

**ANÁLISE TRIDIMENSIONAL DA CAMINHADA COM E SEM  
CARGA EM TERRENO INCLINADO**

*Rodrigo Gomes da Rosa*

Porto Alegre

2011

# **ANÁLISE TRIDIMENSIONAL DA CAMINHADA COM E SEM CARGA EM TERRENO INCLINADO**

*Rodrigo Gomes da Rosa*

**Trabalho de Conclusão apresentado ao  
Curso de Graduação em Educação Física -  
Licenciatura, da Escola de Educação Física da  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul.**

**ORIENTADOR:**

**Prof. Dr. Leonardo Alexandre Peyré-Tartaruga**

## AGRADECIMENTOS

Esta monografia é fruto de muito trabalho e muito tempo dedicado à pesquisa, e só foi possível pelo empenho dos meus orientadores e colegas de pesquisa do grupo LOCOMOTION (Rê, Paula, Artur, Alex, Clarissa, Remião, Paulinha, Cris...). Ao casal argentino mais legal que eu conheço minha amiga, orientadora Natalia Gomeñuka que esteve ao meu lado nestes dois anos de pesquisa e que me ajudou não só na pesquisa, mas na vida, e ao Martín por ter me recebido aos sábados na sua casa para digitalizar, fazer estatística e escrever resumos do SIC entre outras tarefas da pesquisa. Ao grande Henrique, pela ajuda no Labview, e pela grande parceria e amizade, também ao Jorginho pela prontidão em ajudar sempre, e pela sua amizade. Ao meu mestre, Leonardo Tartatuga “Tarta” o qual me incentiva e ensina a ser pesquisador, professor, além de aprender com seus valores e a sua amizade.

A UFRGS, pela grande qualidade, todos os professores e funcionários que fazem dela uma grande universidade. Aos professores que mostram além de grande conhecimento, um amor pela profissão que espero levar na minha carreira: Flávio Castro, Cláudia Lima, Mario Brauner, Mirian, Ronei Pinto. A todo pessoal do Nado Sincronizado da UFRGS (Lara, Fernanda, Nati, Helena e Ana). Agradeço toda barra roxa (2006/2), principalmente a três grandes amigades que espero levar para a vida, Marcelo “Erechim”, Francisco “Minico” e Gabriel Lobo!

As duas amigas (as mais inteligentes e parceiras) que me acompanham desde os tempos do Inácio Montanha, Adriana e Amanda. E todo pessoal da nataçãõ e triatlo Vivi, Alana, Vanessa, Chico, Pedrão, Verônica e ao mestre WILSON e meu irmão Erico “Cabelo”. E todo pessoal do clube da endorfina especial para meus chefes e amigos: Gabriel Espíndola e Lucas Preto.

A toda minha família, que é base de todos os meus valores e que me ensina a ser menos chato e sisudo do que eu poderia ser. Especialmente meus pais Rosane e Roberto, pela dedicação na minha criação e educação e minhas segundas mães minha Tia Preta e minha Vó Vilma.

Ao meu amor Gabriela, que o destino juntou a mim, no primeiro semestre de aulas em 2006, e que hoje não vivo sem ela. Agradeço por ter sido colocada nessa

grande jornada que estamos percorrendo juntos! A toda família Klein Mees, pelo acolhimento e carinho (Carlos, Jacqueline, Júlia, João e Pedrinho).

## RESUMO

As adaptações posturais e biomecânicas são específicas e diferem na caminhada no terreno plano e no inclinado. Além disso, a caminhada transportando carga altera os padrões de movimento. Porém, não está claro na literatura como estes efeitos em conjunto (inclinação e carga) afetam a caminhada humana. O objetivo deste estudo foi avaliar a caminhada em terreno inclinado (15%) sem e com carga (25% da massa corporal) transportada em uma mochila e verificar o efeito de diferentes velocidades (1, 2, 3, 4, 5 km h<sup>-1</sup>). Para isso, foram realizadas coletas de dados cinemáticos (3D) e de consumo de O<sub>2</sub> em 10 homens jovens, fisicamente ativos. Foram analisados movimentos no plano frontal (inclinação e amplitude angular do tronco) e transversal (amplitude angular da cintura pélvica e escapular e diferença de fase), comprimento (CP) e frequência (FP) de passada e custo de transporte (C). Na caminhada com carga a amplitude angular da cintura escapular diminuiu em todas as velocidades e foi menor nas velocidades mais altas. A amplitude da cintura pélvica foi menor com carga e nas velocidades mais baixas ( $p < 0,05$ ). Nas velocidades intermediárias a diferença de fase foi maior e o C foi menor tanto com carga quanto sem carga. A inclinação do tronco foi maior com carga e aumentou com o acréscimo de velocidade, enquanto que, a amplitude angular do tronco foi menor com carga e diminuiu com o aumento da velocidade. FP e CP aumentaram com acréscimo de velocidade. Em conclusão a carga afetou as variáveis analisadas durante a caminhada em terreno inclinado com exceção da FP e CP.

**Palavras chave:** caminhada, inclinação, custo energético, biomecânica, mochila.

## ABSTRACT

Biomechanics and postural adaptations are specific and differ on walking on level and in gradient. Beyond that, walking with load changes the movement patterns. However, it is not clear in the literature, are how these effect together (gradient and load) affects human walking. The objective of this study was evaluated walking without and with load (25% of body in backpack) in gradient (15%) and at different walking speeds (1, 2, 3, 4, 5 km h<sup>-1</sup>). For this, were collected kinematic (3D) and oxygen consumption in 10 young men, physically active. The movements were analyzed in the frontal plane (inclination and angle amplitude of the trunk) and transverse (angle amplitude of the pelvic and scapular, and Phase difference), length (SL) and frequency (SF), cost of transport (C). The angle amplitude decreased of the shoulder girdle in all speeds and it was lower on the highest speeds. The amplitude of the pelvic girdle was lower loading and lower speeds. At 3 km h<sup>-1</sup> the phase difference was higher and C was lower with both load and without load. The trunk inclination was higher with load and increase of speed. Whereas the angle amplitude of the trunk was lower loading and decreased with increasing speed. SF and SL increased with the speed increase. In conclusion, the load affected the variables analyzed during walk in gradient, with the exception of SF and SL.

**Key words:** walking, gradient, energy cost, biomechanics, backpack.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	9
LISTA DE EQUAÇÕES .....	11
LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E UNIDADES.....	12
1 INTRODUÇÃO.....	14
1.2 Objetivos.....	16
1.2.1 Objetivo geral .....	16
1.2.3 Objetivos específicos .....	16
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	17
2.1 Custo de transporte e locomoção com carga .....	17
2.2 Variáveis cinéticas e cinemáticas da caminhada .....	18
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
3.1 Características da pesquisa .....	22
3.2 Caracterização da amostra .....	22
3.3 Definição das variáveis.....	22
3.4 Considerações éticas.....	24
3.5 Instrumentos de medida.....	25
3.5.1 Sistema de análise dos movimentos .....	25
3.5.2 Marcadores reflexivos .....	25
3.5.3 Ergoespirômetro (analisador de gases).....	25
3.5.4 Cronômetros .....	26
3.5.7 Esteira rolante .....	26
3.5.8 Sensor de batimento cardíacos .....	27
3.6 Procedimentos de coleta dos dados .....	27
3.7 Procedimentos estatísticos.....	28
4 RESULTADOS .....	29
4.1 Amplitude angular da cintura pélvica e escapular e Diferença de fase .....	29
4.2 Inclinação e Amplitude Angular do Tronco, Frequência e Comprimento de Passada.....	36
4.3 Custo de transporte, Comprimento e Frequência de Passada.....	38

5 DISCUSSÃO .....	40
6 CONCLUSÃO .....	44
REFERÊNCIAS .....	45
ANEXO 1 ROTINA LABVIEW .....	48
ANEXO 2 TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO .....	52

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Eixos de rotação do corpo humano e indicação das variáveis no seu eixo correspondente..... 20
- Figura 2. Adaptado de Pontzer *et al.* (2009) Rotações das cinturas escapular e pélvica.21
- Figura 3. Exemplo do ângulo formado entre as linhas de referência para o cálculo da inclinação do tronco..... 23
- Figura 4. Câmera de vídeo digital JVC GR-DVL 9800. .... 25
- Figura 5. Analisador de gases portátil tipo caixa de mistura, modelo VO2000 (MEDGRAPHICS). .... 26
- Figura 6. Modelo experimental, exemplo da ordem de realização dos testes, velocidades e cargas, 5 minutos de caminhada intercalados com intervalos de 3 minutos e até atingir 100bpm antes de iniciar a próxima caminhada. .... 28
- Figura 7. Médias e DP da amplitude angular da cintura escapular com carga (retângulos cinzas) e sem carga (retângulos pretos) nas diferentes velocidades. \* representa  $p < 0,005$  e \*\*  $p < 0,001$ . .... 29
- Figura 8. Média e DP da amplitude angular da cintura escapular. A) com carga (CC) e B) sem carga (SC) nas velocidades 1, 2, 3, 4 e 5  $\text{km h}^{-1}$ . Letras representam as diferenças significativas entre as velocidades  $p < 0,001$  com carga e  $p < 0,032$  sem carga. .... 30
- Figura 9. Vista do plano transversal, quando a linha azul formada entre os pontos do quadril direito e esquerdo e do ombro direito e esquerdo ultrapassa a linha vermelha à frente os valores são positivos e para trás negativos. Adaptado de Sharpe *et al.* 2008.. 30
- Figura 10. Média e DP de 15 passadas da posição angular da cintura escapular do ombro ao longo da passada, com carga (coluna esquerda) e sem carga (coluna direita) nas cinco velocidades analisadas, advindas de um sujeito do estudo..... 31
- Figura 11. Amplitude de rotação do quadril nas cinco velocidades com carga (retângulos cinzas) e sem carga (retângulos pretos). \* representa  $p = 0,01$  e \*\*  $p < 0,05$ . .... 32
- Figura 12. Média e DP de 15 passadas da posição angular da cintura pélvica ao longo da passada, com carga (coluna esquerda) e sem carga (coluna direita) nas cinco velocidades analisadas, advindas de um sujeito do estudo..... 33
- Figura 13. Diferença de fase (cinturas pélvica/escapular) nas cinco velocidades com carga e sem carga em média e DP. \* representa  $p = 0,001$ , \*\*  $p = 0,029$  e \*\*\*  $p = 0,01$ .

Valores acima da linha vermelha significam que o tescápula acontece antes de tpelve e os valores abaixo significam que o tescápula acontece depois de tpelve.....	34
Figura 14. Diferença de fase nas cinco velocidades quadrados cinza com carga e pontos preto sem carga. ....	34
Figura 15. Posição angular da cintura escapular e pélvica o longo de passada 15 passadas, com carga (coluna esquerda) e sem carga (coluna direita) nas cinco velocidades analisadas, advindas de um sujeito do estudo.....	35
Figura 16. Média e DP da amplitude angular do tronco cinco velocidades com carga (retângulos cinzas) e sem carga (retângulos pretos). * representa $p = 0,002$ e ** $p < 0,001$ . ....	36
Figura 17. Comportamento da inclinação do tronco com carga (CC) e sem carga (SC) nas velocidades 1, 2, 3, 4 e 5 $\text{km h}^{-1}$ em média e DP. Letras iguais sem diferença e letras diferentes com significância de $p < 0,001$ com carga e sem carga.....	36
Figura 18. Média e DP da amplitude angular do tronco nas cinco velocidades com carga (cinza) e sem carga (preto). * representa $p = 0,019$ , ** $p = 0,02$ e *** $p < 0,001$ . ....	37
Figura 19. Média e DP da amplitude angular do tronco A) com carga (CC) e B) sem carga (SC) nas velocidades 1, 2, 3, 4 e 5 $\text{km h}^{-1}$ . Letras iguais sem diferença e letras diferentes com significância de $p = 0,003$ Com carga e sem carga.....	37
Figura 20. Média e DP do custo de transporte nas cinco velocidades com carga (retângulo cinza) e sem carga (retângulo preto) em média e DP. * representa $p = 0,002$ , ** $p < 0,001$ . ....	38
Figura 21. Média e DP do Custo de transporte: A) com carga (CC) e B) sem carga (SC) nas velocidades 1, 2, 3, 4 e 5 $\text{km h}^{-1}$ . Letras iguais sem diferença e letras diferentes com significância de $p < 0,001$ Com carga e $p < 0,005$ sem carga. ....	38
Figura 22. A) A Frequência de passada com carga (CC) e sem carga (SC) nas velocidades 1, 2, 3, 4 e 5 $\text{km h}^{-1}$ em média e DP. B) Comprimento de passada com carga (CC) e sem carga (SC) nas velocidades 1, 2, 3, 4 e 5 $\text{km h}^{-1}$ em média e DP. Letras iguais sem diferença e letras diferentes com significância de $p < 0,05$ . ....	39

**LISTA DE EQUAÇÕES**

Equação 1 ..... 24

Equação 2 ..... 25

Equação 3 ..... 25

Equação 4.....42

## LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E UNIDADES

<b>AVD</b>	<b>Atividade de vida diária</b>
<b>C</b>	<b>Custo de transporte</b>
<b>CM</b>	<b>Centro de massa corporal</b>
<b>CMI</b>	<b>Comprimento de membro inferior</b>
<b>cm</b>	<b>Centímetro</b>
<b>CP</b>	<b>Comprimento da passada</b>
<b>CC</b>	<b>Caminhada com carga</b>
<b>SC</b>	<b>Caminhada sem carga</b>
<b>EST</b>	<b>Estatura</b>
<b>FC</b>	<b>Frequência cardíaca</b>
<b>FP</b>	<b>Frequência de passada</b>
<b>h</b>	<b>Altura do CM</b>
<b>kg</b>	<b>Quilograma</b>
<b>km</b>	<b>Quilometro</b>
<b>km h<sup>-1</sup></b>	<b>Quilômetros por hora</b>
<b>L</b>	<b>Litros</b>
<b>J kg<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup></b>	<b>Joules por quilograma por metro</b>
<b>LAPEX</b>	<b>Laboratório de Pesquisa do Exercício</b>
<b>MC</b>	<b>Massa corporal</b>
<b>m</b>	<b>Metro</b>
<b>min</b>	<b>Minuto</b>
<b>ml</b>	<b>Mililitros</b>
<b>m s<sup>-1</sup></b>	<b>Metros por segundos</b>
<b>n</b>	<b>Tamanho da amostra</b>
<b>O<sub>2</sub></b>	<b>Oxigênio</b>
<b>p</b>	<b>Índice de significância</b>
<b>QR</b>	<b>Quociente Respiratório</b>
<b>s</b>	<b>Segundos</b>
<b>SPSS</b>	<b>Statistical Package for Social Sciences</b>

<b>t</b>	<b>Tempo</b>
<b><i>t pelve</i></b>	<b>Pico de rotação da cintura pélvica</b>
<b><i>t escápula</i></b>	<b>Pico de rotação da cintura escapular</b>
<b>T</b>	<b>Período</b>
<b>UFRGS</b>	<b>Universidade Federal do Rio Grande do Sul</b>
<b>VCO<sub>2</sub></b>	<b>Produção de dióxido de carbono</b>
<b>VE</b>	<b>Volume expiratório</b>
<b>VO<sub>2</sub></b>	<b>Consumo de oxigênio</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A locomoção humana é tema de diferentes estudos, entre eles, a caminhada. Devido a sua importância tanto em atividades da vida diária (AVD's) como para melhora do desempenho em diferentes atividades esportivas e militares. Os aspectos metabólicos e biomecânicos são mensurados para interpretar a locomoção. Sabemos que durante a caminhada nenhum passo é igual ao outro, entretanto, é possível identificar padrões de marcha que impõem ao sistema locomotor diversas exigências durante a caminhada, tais como: economia energética, otimização da tarefa motora e proteção do sistema musculoesquelético (LERENA *et al.* 2006)

Os movimentos da cabeça, tronco e quadril acontecem de forma coordenada a fim de minimizar as variações de energia mecânica durante o ciclo da caminhada (VAN EMMERIK e WAGENAAR, 1996), além disso, as adaptações posturais são específicas e os parâmetros de controle são diferentes durante a caminhada em terreno plano e inclinado (LEROUX *et al.*, 2002).

As mudanças no comprimento e frequência de passada na caminhada são observadas durante o transporte de cargas e atribuídas, entre outros fatores, a alterações na coordenação do tronco e do quadril. Essa rotação auxilia no aumento do comprimento da passada, entretanto, com a utilização de cargas há uma menor contribuição da rotação do quadril e é preciso um aumento da frequência de passada para manter a velocidade. (WAGENAAR e BEEK, 1992).

A coordenação da rotação no eixo transversal entre quadril e ombro é dependente da velocidade (VAN EMMERIK e WAGENAAR, 1996). Sabe-se que com o incremento da velocidade os padrões de movimento são mais em “contra - rotação”, ou seja, com uma maior dissociação entre as cinturas pélvica e escapular durante o ciclo da passada, e em velocidades mais baixas os movimentos são mais “em fase” acontecendo de forma simultânea.

As inclinações do terreno, positivas ou negativas, tornam o gesto locomotor mais complexo, assim como uma carga transportada em uma mochila. Pesquisadores têm investigado diferentes situações da caminhada humana, como a caminhada com carga (MALOY, HEGLUND *et al.*, 1986; MINETTI, FORMENTI *et al.*, 2006; SMITH *et al.* 2006; LAFIANDRA *et al.*, 2002) e em diferentes inclinações (ARDIGO, SAIBENE *et*

*al.*, 2003) assim como as variações da passada em diferentes velocidades (LAFIANDRA, HOLT *et al.*, 2002).

Uma estratégia utilizada para melhor adaptação da marcha à carga e ao terreno pode ser uma maior inclinação do tronco para frente, tanto para a manutenção do equilíbrio dinâmico, quanto para diminuir o dispêndio energético, além disso, com um menor deslocamento do tronco o custo energético também é menor (MINETTI *et al.*, 2006). No *trekking* em regiões montanhosas as inclinações do terreno influenciam diretamente o padrão da marcha modificando subsequentemente o gasto energético durante a caminhada.

Alguns estudos sobre a caminhada humana (ARDIGO, SAIBENE *et al.*, 2003); (ABE *et al.*, 2008) utilizam a variável de gasto energético relacionado somente ao consumo total de oxigênio. Enquanto que o custo de transporte (C) fornece o dado de energia utilizada por distância percorrida (SAIBENE, MINETTI, 2003) que nos auxilia na compreensão de elementos energéticos que ocorrem durante a locomoção.

No carregamento de cargas em AVD's, o equilíbrio dinâmico pode ser alterado devido a uma assimetria postural imposta pelo diferente arranjo das estruturas corporais que ocorrem para acomodar a carga, como por exemplo, os desvios laterais do tronco (FOWLER, RODACKI *et al.*, 2006), o ângulo de inclinação do tronco a frente (LI; HONG *et al.*, 2003), o deslocamento do centro de gravidade (CG) (DEVITA, HONG *et al.*, 1991). Desta forma a necessidade de (re-) estruturação do equilíbrio pode levar a outras alterações no padrão dinâmico da marcha (SARRAF, 2006).

Em vários distúrbios do movimento, há possivelmente uma diminuição na capacidade do sujeito em manter assimetrias funcionais. Esta diminuição pode ter um efeito sobre a estabilidade dos padrões de movimento, ocasionando diferentes coordenações de caminhada (VAN EMMERIK e WAGENNAR, 1996), além disso, a inclinação do terreno e o transporte de cargas podem interferir na capacidade de manipular essas assimetrias.

Devido a grande utilização da caminhada com carga, principalmente utilizando mochilas, em terrenos que constantemente possuem inclinações, esse estudo buscou compreender, qual a relação entre o comprimento do passo e frequência de passada, rotações da cintura escapular e pélvica com o C da caminhada com carga em terreno inclinado?

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo geral

Avaliar padrões cinemáticos e o custo de transporte da caminhada humana em terreno inclinado (15%), utilizando uma carga de 25% da massa corporal (MC) transportada em uma mochila em diferentes velocidades.

### 1.2.3 Objetivos específicos

Comparar:

- Inclinação do tronco no plano frontal;
- Amplitude angular do tronco no plano frontal;
- Amplitude angular da cintura escapular no plano transversal;
- Amplitude angular da cintura pélvica no plano transversal;
- Custo de transporte;
- Diferença de fase;

Entre as velocidades 1, 2, 3, 4 e 5 km h<sup>-1</sup>, sem e com carga (25% da MC).

## REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Custo de transporte e locomoção com carga

O custo de transporte (C) relacionado à energia utilizada para percorrer uma distância (SAIBENE e MINETTI, 2003), é comumente usado como um marcador de economia energética da caminhada e corrida humana. Estudos indicam que a velocidade ótima de caminhada no plano, na qual, ocorre o menor C, estaria próxima aos 4,5 km h<sup>-1</sup> em adultos (SAIBENE e MINETTI, 2003; ABE *et al.*, 2008). Além disso, o comportamento do C é mantido transportando cargas de até 75% da massa corporal em uma mochila durante a caminhada em terreno plano (BASTIEN *et al.*, 2005).

O mecanismo do Pêndulo Invertido proposto por Cavagna *et al.*, 1976, descreve uma troca contínua entre energia Potencial (PE) e energia Cinética (KE) do centro de massa, em que até 60% de energia mecânica pode ser reconvertida (*Recovery*) durante a caminhada. A máxima reconversão de energia acontece em conjunto com o mínimo C, explicando a velocidade ótima durante a caminhada em terreno plano. Porém, durante a caminhada em terreno inclinado o comportamento pendular se altera, e seu máximo valor de *Recovery* ocorre acima da velocidade ótima (GOMEÑUKA, 2011). Durante a caminhada em terreno inclinado outros parâmetros estariam agindo em conjunto com a reconversão de energia para auxiliar o sujeito a ser mais eficiente e econômico.

Em um estudo de Abe *et al.* (2008) os pesquisadores avaliaram os efeitos da carga sobre o C da caminhada. E constataram que a demanda metabólica durante a caminhada com carga aumenta linearmente com o peso da carga. Bastien *et al.* (2005) investigaram o gasto energético em diferentes velocidades de caminhada sem carga e com carga, observaram que a potência energética ao caminhar sem carga ou com mochila aumenta de forma curvilínea com o aumento da velocidade. Além disso, determinaram que transportando uma carga o consumo energético é maior em comparação a caminhar descarregado em todas as situações de carga do estudo (0, 15, 30, 45, 60 e 75% da massa corporal). Contudo estabeleceram que à velocidade ótima no plano independe da carga devido à manutenção do mecanismo pendular nestas situações.

Mulheres africanas da tribo Luo, que comumente transportam cargas equivalentes a 70% da sua massa corporal acima de suas cabeças, e as mulheres da tribo Kikuyu que também utilizam o método de transporte de carga na cabeça com cintas apoiadas na testa podem transportar cargas de até 20% de sua massa corporal sem aumento no C, o que poderia indicar uma utilização de elementos estruturais e não metabólicos (MALOY *et al.* 1986).

## 2.2 Variáveis cinéticas e cinemáticas da caminhada

Durante a caminhada o tronco alcança um máximo deslocamento descendente na fase de duplo apoio da passada (contato dos dois pés com o solo) e um máximo deslocamento ascendente durante a fase de apoio simples (contato de um dos pés com o solo). Foram demonstradas, através da eletromiografia, as contribuições dos grupos musculares da coluna durante flexão, extensão, rotação e outros movimentos do tronco, e foi observado que nas velocidades mais altas há necessidade de aumento da força muscular para o equilíbrio do tronco. (WATERS e MORRIS, 1972).

O custo eletromiográfico (EMG) da locomoção que é, em suma, a ativação EMG dos músculos propulsores e posturais total dividida pela unidade de distância percorrida. Ao comparar o custo EMG da locomoção entre nepaleses e caucasianos, o custo EMG foi notavelmente maior nos caucasianos na situação com carga, especialmente na fase de subida. A possível justificativa foi que os nepaleses investigados seriam adaptados ao carregamento de cargas na altitude desde a sua infância, e entre outros fatores, eles ativariam menos grupos musculares para desempenhar a mesma tarefa motora e como consequência, seriam mais econômicos (PEYRÉ TARTARUGA, 2008).

Um menor comprimento de passada (CP) foi encontrado durante a caminhada com cargas superiores a 50% da MC e em velocidades altas, próximas a  $1,78 \text{ m s}^{-1}$  ( $\pm 6,5 \text{ km h}^{-1}$ ) além de um aumento inclinação do tronco justificado pelos autores como um padrão para manter o centro de massa dentro dos limites de segurança (MARTIN e NELSON, 1986).

Estudos sobre os efeitos do transporte da carga sobre a caminhada têm mostrado mudanças nos parâmetros da passada como a frequência e o comprimento da passada, o

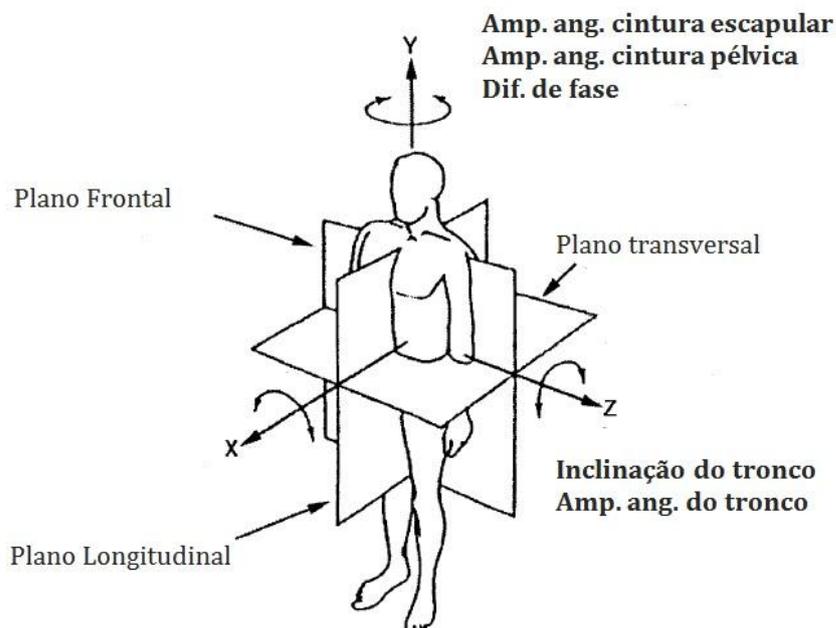
tempo de duplo apoio, (LAFIANDRA *et al.*, 2002). É estabelecido que a mudança na velocidade da caminhada de um indivíduo reflete em adaptações sistemáticas de parâmetros temporais, cinemáticos e cinéticos do membro inferior (KAVANAGH, 2009). Autores concluíram que em cada velocidade da caminhada há uma ótima frequência de passada, escolhida livremente, que minimiza o custo de transporte (SAIBENE e MINETTI 2003; DANION *et al.* 2003).

Foi encontrado uma maior flexão da coluna lombar durante uma caminhada intensa e corrida, em terreno inclinado e que o contrário ocorreria quando o corredor estava caminhando ou correndo em inclinações de terreno negativas. Além disso, a corrida apresentou uma maior amplitude de movimento da coluna lombar comparada à caminhada na mesma inclinação do terreno (LEVINE *et al.*, 2007).

Em estudo onde a inclinação do tronco foi manipulada para avaliação da ativação muscular do tronco. Três modificações voluntárias do padrão de movimento foram utilizadas: (1) O tronco foi mantido em uma posição mais a frente (2) o tronco foi mantido em uma posição para trás (3) Os sujeitos foram instruídos a exagerar os deslocamentos angulares do tronco tanto no eixo sagital ou quanto no eixo frontal. Em ambas as situações o padrão EMG básico foi mantido com um padrão de dois períodos de atividade por ciclo de passada. A sincronia da ativação muscular em ambos os lados aumentou quando a locomoção era feita com o tronco inclinado para frente. O padrão EMG básico em relações as fases da passada permaneceram inalterados na maioria dos casos (CARLSON *et al.*, 1988)

Crianças ( $\pm 10$  anos) durante a caminhada em terreno plano tem uma maior inclinação do tronco com cargas de 20% da MC quando comparada a utilização de cargas de 0,10 e 15% da MC (HONG *et al.*, 2003). O sujeito transportando uma mochila tenta deslocar o centro de gravidade do corpo para simular uma situação sem carga, isso pode ser alcançado por meio da inclinação do tronco. Essa adaptação ajuda o corpo a minimizar a energia e aumentar a eficiência de caminhar com a carga.

Autores descrevem que os movimentos da coluna e dos membros tendem a complementar os movimentos da pelve. Um exemplo disso é flexão da coluna lombar que ocorre no contato inicial do pé, com a pelve em uma inclinação posterior (CROSBIE *et al.*, 1997).



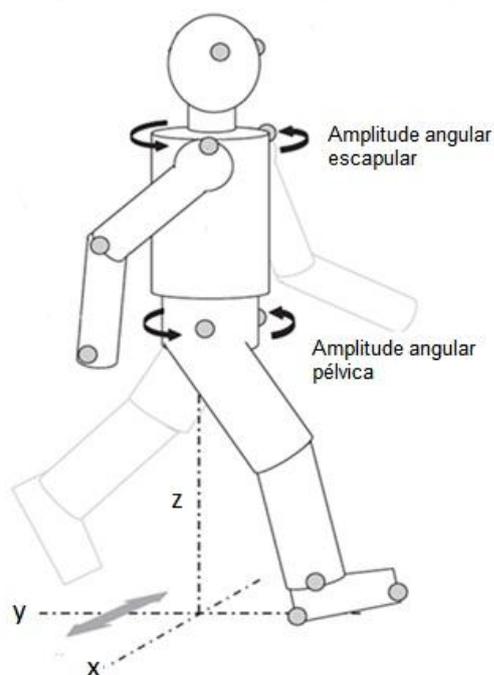
**Figura 1.** Eixos de rotação do corpo humano e indicação das variáveis no seu eixo correspondente.

Sugere-se que a capacidade de manter uma menor e mais consistente oscilação da amplitude angular do tronco poderia implicar em uma redução nas co-contrações e ser o principal determinante para uma maior economia da caminhada em carregadores nepaleses (MINETTI *et al.*, 2006). Essa população específica apresenta um diferente padrão motor do tronco durante a caminhada carregando cargas, comparada a sujeitos caucasianos, demonstrando um aspecto de adaptação à carga.

Sujeitos que caminharam utilizando cargas de 15% e 30% da MC adotaram uma postura com maior flexão do tronco como adaptação a carga. No entanto, os parâmetros cinemáticos da marcha, velocidade da caminhada e comprimento do passo não foram alterados (GOH *et al.*, 1998).

Na Figura 2 podemos identificar dois componentes cinemáticos importantes da caminhada, a rotação do ombro e a rotação do quadril que acontecem nos eixos y e z. Em velocidades médias e altas, as duas rotações ocorrem em fases contrárias (contra rotação, ex.: quadril direito posicionado à frente e ombro direito atrás). Este comportamento sincronizado pode ser observado durante a caminhada. Entretanto, em pessoas com patologias como dor lombar, Parkinson, AVE além de situações de

transporte de cargas acima de 50% da MC este comportamento se altera (HUANG *et al.*, 2010).



**Figura 2.** Adaptado de Pontzer *et al.* (2009) Rotações das cinturas escapular e pélvica.

A velocidade afeta as amplitudes angulares da cintura pélvica e escapular. Com o aumento da velocidade da caminhada há uma maior coordenação entre as cinturas. Já em velocidades mais lentas, existe uma tendência de diminuição de movimentos angulares da pelve, ligadas a um menor comprimento da passada (TAYLOR *et al.*, 1999).

Durante os ciclos de passada, o pico de rotação pélvica coincide com a menor posição vertical do CM, permitindo assim uma suavização no deslocamento do CM, e conseqüentemente uma redução no gasto energético (KERRIGAN *et al.*, 2001).

Portanto, a cinemática do tronco é influenciada pela carga e se mantém mais inclinada para frente com a utilização da carga. O comprimento de passada diminui durante a caminhada em terreno plano transportando cargas altas em velocidades altas. As rotações das cinturas pélvica e escapular são alteradas com aumento da velocidade.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Características da pesquisa

Esta pesquisa se caracteriza como *ex post facto*, quantitativa, transversal e comparativa.

### 3.2 Caracterização da amostra

A amostra foi composta por 10 homens fisicamente ativos de 18 a 25 anos.

O tamanho da amostra foi determinado através de um cálculo no programa *Winpipe*, onde foram adotados um nível de significância de 0,05 e um poder de 90%.

O cálculo foi realizado para cada uma das variáveis dependentes, com base nos estudos de Minetti *et al.* 2002, Ardigo *et al.* 2003, Pontzer *et al.* 2009, Misailidis *et al.* 2006, Peyré Tartaruga *et al.* 2004, Gottschall e Kram 2006. Como resultado foi adotado um n de 10 sujeitos.

**Tabela 1.** Médias e desvio padrão (DP)  $\pm$  correspondentes às características físicas e antropométricas do grupo avaliado.

Características	Média	DP
Idade (anos)	23,2	$\pm$ 2,9
Estatura (cm)	178,3	$\pm$ 6,6
Massa corporal (kg)	71,7	$\pm$ 6,0
Massa Mochila (kg)	17,9	$\pm$ 1,5
CMI* (cm)	92,8	$\pm$ 4,0

\*Comprimento de Membro Inferior

### 3.3 Definição das variáveis

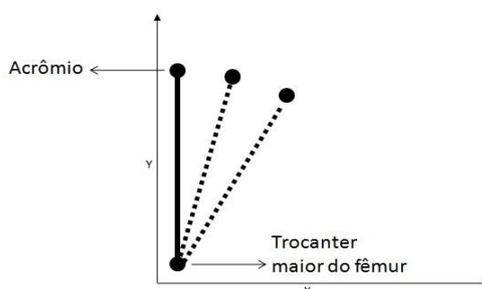
As variáveis dependentes foram:

Custo de transporte (C):

Consumo de  $O_2$  por unidade de distância percorrida, dividida pela massa corporal e subtraído pelo valor de repouso em pé, multiplicado por 20,1 (BLAXTER, 1989) e dividida pela velocidade em  $m\ s^{-1}$ . A unidade que descreve o C é  $J\ kg^{-1}\ m^{-1}$  (SAIBENE e MINETTI, 2003).

- Inclinação do tronco:

A inclinação do tronco foi calculada como o ângulo formado entre a linha vertical que conecta o acrômio ao trocanter maior do fêmur e a linha horizontal do quadril (HONG *et al.*, 2003).



**Figura 3.** Exemplo do ângulo formado entre as linhas de referência para o cálculo da inclinação do tronco.

- Amplitude angular do tronco:

Foi calculado como a diferença entre a maior e a menor inclinação do tronco durante um ciclo de passada, com uma média das 15 passadas realizadas (HONG *et al.*, 2003).

- Amplitude angular da cintura escapular:

Foi calculada como a diferença entre a máxima e a mínima rotação da cintura escapular por ciclo de passada, durante as 15 passadas realizadas (TAYLOR *et al.*, 1999).

- Amplitude angular da cintura pélvica:

Foi calculada como a diferença entre a máxima e a mínima rotação da cintura pélvica por ciclo de passada, durante as 15 passadas realizadas (TAYLOR *et al.*, 1999).

- Diferença de Fase (Quadril/Ombro):

Diferença entre o pico de rotação da cintura pélvica (*t pelve*) e o pico de rotação da cintura escapular (*t escápula*) e foi calculado conforme a equação proposta por Pontzer *et. al.* (2011):

$$360^{\circ} \left( \frac{|t_{pelve} - t_{escápula}|}{tempo\ de\ passada} \right)$$

equação 1

- Frequência de Passada (FP):

Definida como o número de passadas realizadas em um determinado tempo, quando o tempo é definido em segundos temos um dado em Hz (passadas/segundo). A FP foi calculada com a seguinte equação:

$$FP = \frac{n^{\circ}\ de\ passadas}{(Tempo\ total)}$$

equação 2

- Comprimento de passada (CP):

Definido como a distância entre o toque de um dos pés no solo até o toque do mesmo novamente e foi calculada conforme a equação:

$$CP = \frac{distância\ (m)}{n^{\circ}\ de\ passadas}$$

equação 3

As variáveis independentes foram:

- Velocidades: (1, 2, 3, 4 e 5 km h<sup>-1</sup>).
- Carga: sem e com carga (25%MC).

### 3.4 Considerações éticas

Todos os participantes da pesquisa leram e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (ANEXO 1) contendo informações pertinentes ao experimento e assegurando também sua privacidade. Este estudo foi aprovado pelo comitê de ética da UFRGS com o número: 2007990.

### 3.5 Instrumentos de medida

#### 3.5.1 Sistema de análise dos movimentos

Para a realização das coletas foi utilizado o Sistema de vídeo *Dvideow* versão 5.0. Os dados tridimensionais obtidos foram utilizados na rotina construída no programa *Labview* para determinação da inclinação e deslocamento angular do tronco, frequência e comprimento da passada, rotação do quadril e ombro e diferença de fase.

Também foram utilizados os seguintes instrumentos: quatro câmeras de vídeo (JVC GR-DVL 9800 – JVC Company of América, Wayne, New Jersey, USA) (figura 4) com taxa de amostragem de 50 Hz, quatro holofotes, um calibrador tridimensional *Peak Performance* (Peak Performance Technologies Inc., Englewood, USA), marcadores reflexivos, uma mochila com suporte rígido e cinto no quadril



**Figura 4.** Câmera de vídeo digital JVC GR-DVL 9800.

#### 3.5.2 Marcadores reflexivos

Foram utilizados 20 marcadores reflexivos, com 14 mm de diâmetro, localizados em ambas laterais do corpo e nas regiões de interesse, 1º quinto metatarso, 2º calcâneo, 3º maléolo lateral, 4º côndilo lateral, 5º trocânter maior, 6º processo estilóide da ulna, 7º epicôndilo lateral, 8º a 4 cm ao lateral do acrômio, 9º fossa temporal (ZATSIORSKY, 1998), e também os 2 marcadores reflexivos da mochila (somando 20 marcadores reflexivos em total, no caso dos testes de caminhada com carga).

#### 3.5.3 Ergoespirômetro (analisador de gases)

O analisador de gases modelo VO2000 da *MEDGRAPHICS MGC* (St. Paul, USA), foi utilizado para medir diretamente o consumo de oxigênio e os demais

parâmetros ventilatórios. O analisador de gases será ligado a um *notebook* e acoplado ao pneumotacógrafo. Durante a coleta o sujeito utilizou uma máscara de neoprene. Durante os testes foram registrados os seguintes parâmetros: consumo de oxigênio ( $\text{VO}_2$ ), produção de dióxido de carbono ( $\text{VCO}_2$ ), volume expiratório (VE), frequência cardíaca (FC), tempo e velocidade.



**Figura 5.** Analisador de gases portátil tipo caixa de mistura, modelo VO2000 (MEDGRAPHICS).

### 3.5.4 Cronômetros

Dois cronômetros da marca Casio, com resolução de décimo de segundo. Utilizados para medir os períodos de tempo dos testes de caminhada (5 min cada um deles) e os períodos de repouso entre os mesmos (3 min de repouso entre as caminhadas).

### 3.5.5 Balança

Para determinação da massa corporal foi utilizada uma balança eletrônica, modelo PS - 180 da marca Urano, RS/Brasil, com carga máxima de 180 kg e resolução de 0,1kg.

### 3.5.6 Estadiômetro

Constituído de uma parte fixa à parede, onde desliza o cursor, no qual se mede a estatura (EST) do sujeito na posição de pé, e de costas para o cursor, com resolução de 1 milímetro (mm).

### 3.5.7 Esteira rolante

Uma esteira rolante de marca BH fitness (Explorer ProAction), com velocidade máxima de 16  $\text{km h}^{-1}$ . A resolução da velocidade deste equipamento é de 0,5  $\text{km h}^{-1}$ .

Para a coleta dos testes de caminhada, o sujeito caminhou independentemente na esteira por 5 minutos para cada uma das 5 velocidades selecionadas, na inclinação de +15%.

### 3.5.8 Sensor de batimentos cardíacos

Marca POLAR, modelo VANTAGE XL, foi utilizado para a verificação da FC. A FC foi coletada durante os testes de caminhada na esteira rolante e durante o repouso do sujeito, como indicador para o início de um novo teste.

## 3.6 Procedimentos de coleta dos dados

Foi realizada a avaliação antropométrica para obter os dados de estatura (EST) e da massa corporal (MC) (PS - 180 da marca URANO, RS/Brasil). Após verificar a MC do sujeito, era calculado 25% da MC, utilizado como percentual da massa transportada na mochila. O peso da mochila foi distribuído entre as cintas dos ombros e o suporte do quadril.

O protocolo iniciou com uma familiarização do sujeito aos equipamentos utilizados, foram explicados os possíveis desconfortos da mochila e na utilização da máscara de neoprene para a coleta de oxigênio. Em seguida, a mensuração do  $VO_2$  de repouso foi realizada em pé durante 6 min. sem carga e também durante 6 min. com carga.

Após a coleta do consumo de  $O_2$  de repouso o indivíduo realizou um aquecimento de 5 min caminhando na esteira rolante (BH fitness, Explorer ProAction) aos 15% de inclinação. Logo após, iniciava-se o teste com caminhadas de 5 min. em cada uma das velocidades estabelecidas em ordem randomizada (ver fig. 6).

Foram 5 min. em cada velocidade de caminhada (1, 2, 3, 4 e 5  $km\ h^{-1}$ ), com 3 min. de repouso entre cada teste, além disso, o sujeito deveria atingir 100 batimentos por min. ao final do repouso (Rotstein, Inbar *et al.*, 2005). Deste modo, os sujeitos realizaram 10 testes.

Ordem	Situações
1°	2 km.h <sup>-1</sup> com carga ← 5min
2°	5 km.h <sup>-1</sup> com carga ← 5min
3°	3 km.h <sup>-1</sup> sem carga ← 5min
4°	4 km.h <sup>-1</sup> sem carga ← 5min
5°	4 km.h <sup>-1</sup> com carga ← 5min
6°	3 km.h <sup>-1</sup> com carga ← 5min
7°	1 km.h <sup>-1</sup> sem carga ← 5min
8°	5 km.h <sup>-1</sup> sem carga ← 5min
9°	1 km.h <sup>-1</sup> com carga ← 5min
10°	2 km.h <sup>-1</sup> sem carga ← 5min

**Figura 6.** Modelo experimental, exemplo da ordem de realização dos testes, velocidades e cargas, 5 minutos de caminhada intercalados com intervalos de 3 minutos e até atingir 100bpm entre cada teste.

### 3.7 Procedimentos estatísticos

A partir dos dados coletados, foram realizados os testes estatísticos para verificar o efeito da carga, da velocidade e interação entre elas sobre os parâmetros espaço temporais e do custo de transporte da caminhada.

Foi utilizada estatística descritiva através da média e desvio padrão. A normalidade das variáveis dependentes foi verificada através do teste de Shapiro - Wilk e de homogeneidade das variâncias com o teste de Levene.

Utilizou-se o teste de ANOVA de 2 fatores para medidas repetidas para verificar se houve interação entre as variáveis velocidades e carga.

Quando houve interação entre essas variáveis (velocidades\*carga) e para verificar o efeito principal das velocidades (1, 2, 3, 4 e 5 km h<sup>-1</sup>) foi realizado o desdobramento da variável velocidade utilizando o teste de ANOVA para medidas repetidas de um fator. Para localizar as diferenças entre as velocidades foi utilizado o teste de Bonferroni. O índice de significância adotado neste estudo foi de  $\alpha=0,05$ .

Para a comparação entre as duas situações de carga (sem carga e com carga, 25% MC) foram realizados o testes T pareado.

Todos os testes estatísticos foram realizados no programa estatístico SPSS (*Statistical Package for Social Sciences*) versão 17.0.

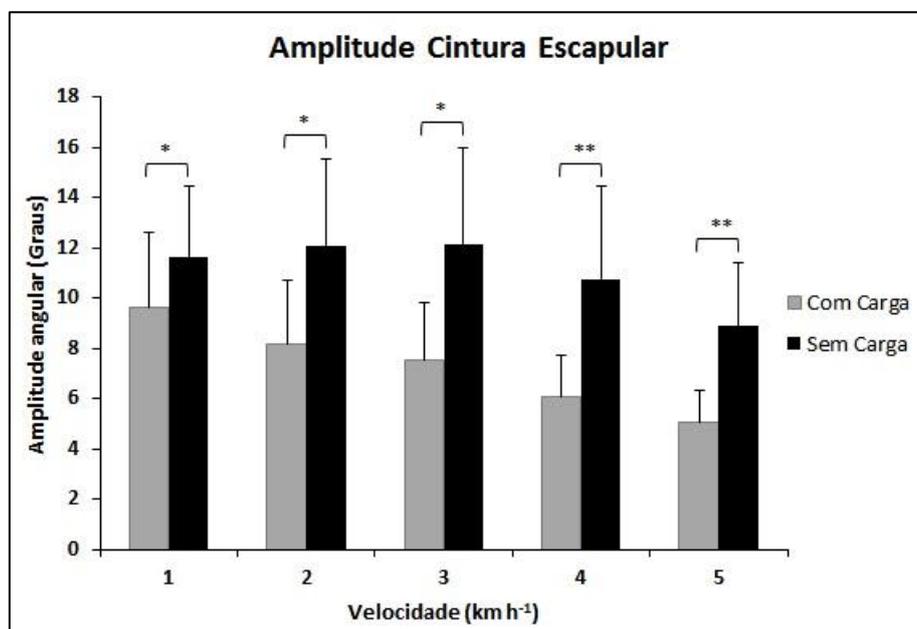
## 4 RESULTADOS

Os resultados indicam um efeito da carga em todas as variáveis analisadas com exceção da FP e CP, além disso, a velocidade interferiu em todas as variáveis.

Para facilitar a compreensão dos resultados eles foram divididos em três subcapítulos, sendo o primeiro: amplitude angular da cintura escapular e pélvica e Diferença de Fase, e o segundo: Inclinação e amplitude angular do tronco (ver Figura 1) e o terceiro: Custo de transporte Comprimento e Frequência de Passada.

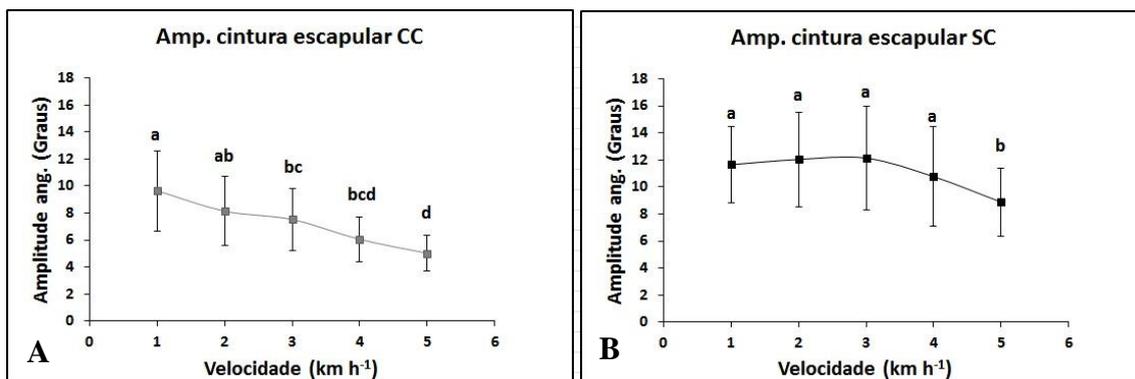
### 4.1 Amplitude angular da cintura pélvica e escapular e Diferença de fase

Com a análise da amplitude angular da cintura escapular foi possível observar como a carga, de maneira geral, afetou a amplitude de amplitude angular da cintura escapular em todas as velocidades no plano inclinado. Na Figura 6 podemos visualizar as diferenças entre na caminhada com carga e sem carga.



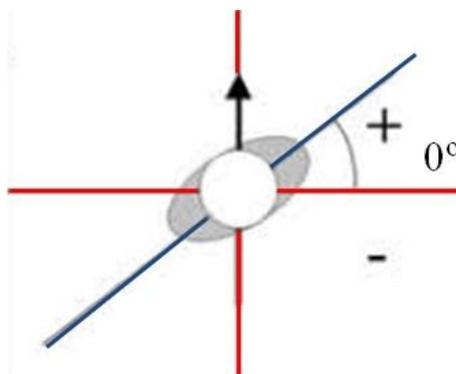
**Figura 7.** Médias e DP da amplitude angular da cintura escapular com carga (retângulos cinzas) e sem carga (retângulos pretos) nas diferentes velocidades. \* representa  $p < 0,005$  e \*\*  $p < 0,001$ .

Os resultados da amplitude angular da cintura escapular quanto à velocidade de caminhada podem ser melhores observados na figura 8 (A e B).



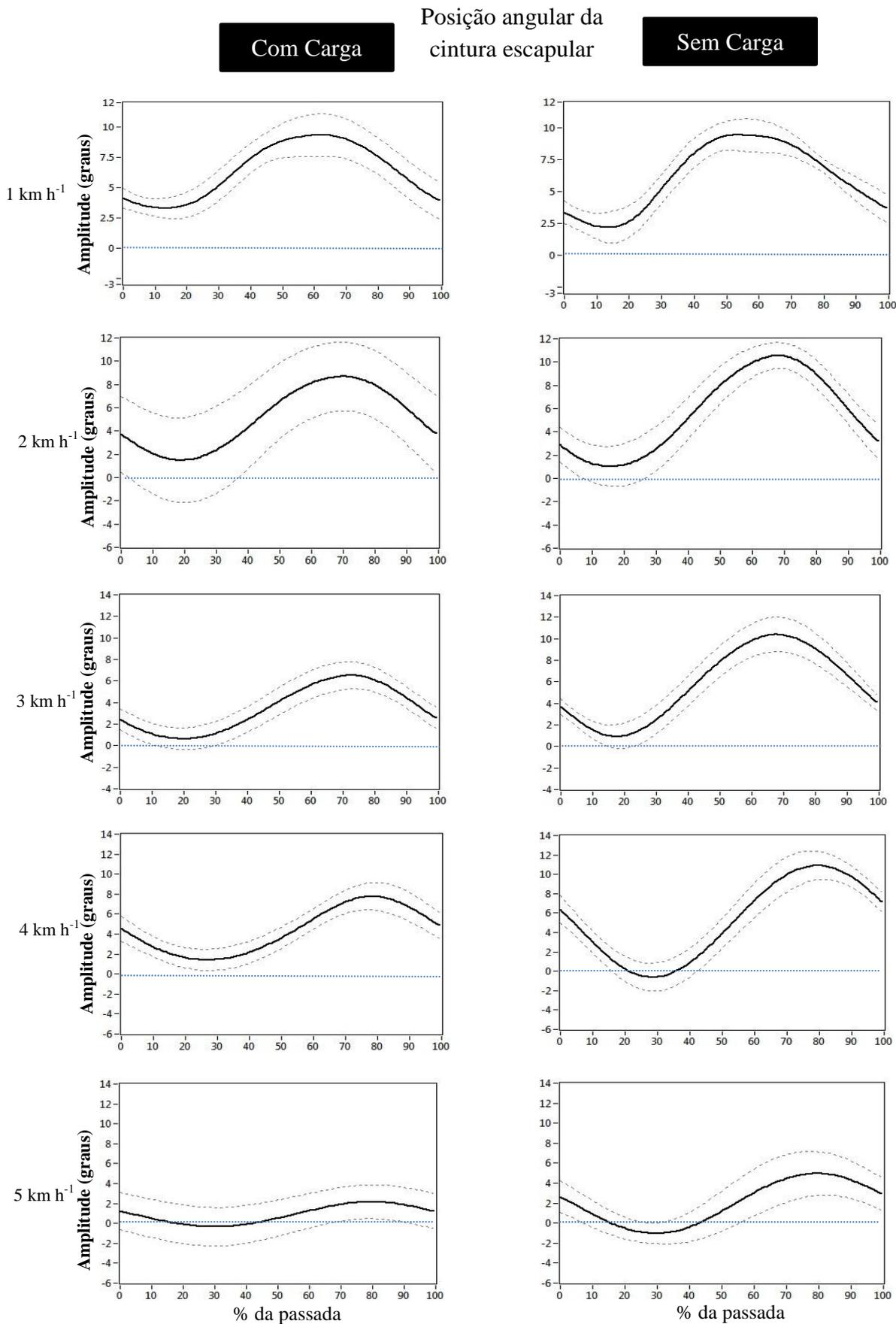
**Figura 8.** Média e DP da amplitude angular da cintura escapular. A) com carga (CC) e B) sem carga (SC) nas velocidades 1, 2, 3, 4 e 5 km h<sup>-1</sup>. Letras representam as diferenças significativas entre as velocidades  $p < 0,001$  com carga e  $p < 0,032$  sem carga.

Nas figuras 9,11 e 14 que servem de exemplo das rotações do quadril e ombro e a diferença de fase entre eles é importante levar em conta o que significam os resultados negativos e positivos. Para ajudar na compreensão observe a figura 9.



**Figura 9.** Vista do plano transversal, quando a linha azul formada entre os pontos do quadril direito e esquerdo e do ombro direito e esquerdo ultrapassa a linha vermelha à frente os valores são positivos e para trás negativos. Adaptado de Sharpe *et al.* 2008.

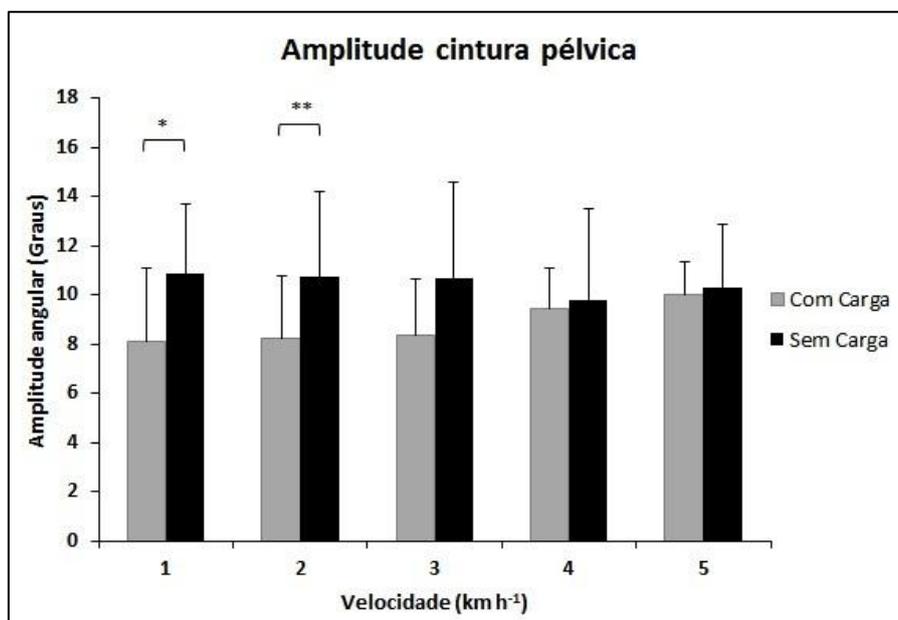
Os valores de posição angular da cintura escapular obtidos durante as 15 passadas de um sujeito foram interpolados e podem ser observados na figura 10.



**Figura 10.** Média e DP de 15 passadas da posição angular da cintura escapular do ombro ao longo da passada, com carga (coluna esquerda) e sem carga (coluna direita) nas cinco velocidades analisadas, advindas de um sujeito do estudo.

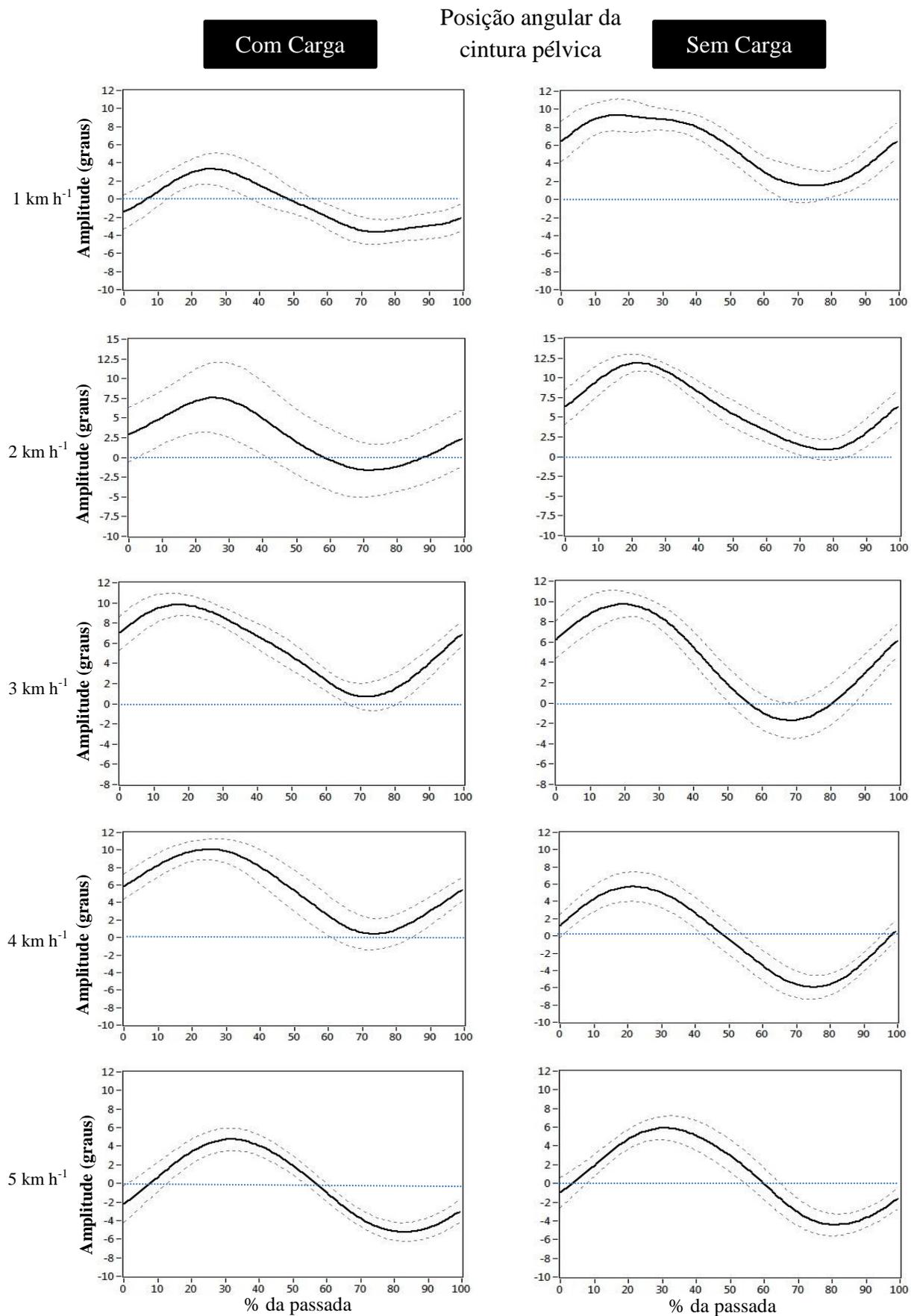
Nota-se na Figura 10 que a amplitude angular da cintura escapular foi menor quando o sujeito utilizou a carga e com o aumento da velocidade. Esses padrões foram estatisticamente comprovados pelo comportamento apresentado por toda a amostra deste estudo. A carga influencia a amplitude dos movimentos da cintura, diminuindo o movimento da cintura escapular.

Quanto aos movimentos da cintura pélvica, houve uma interação entre carga\*velocidade na amplitude de rotação do quadril que foi menor nas velocidades mais baixas durante a caminhada no terreno inclinado sem carga como pode ser observado na Figura 11.



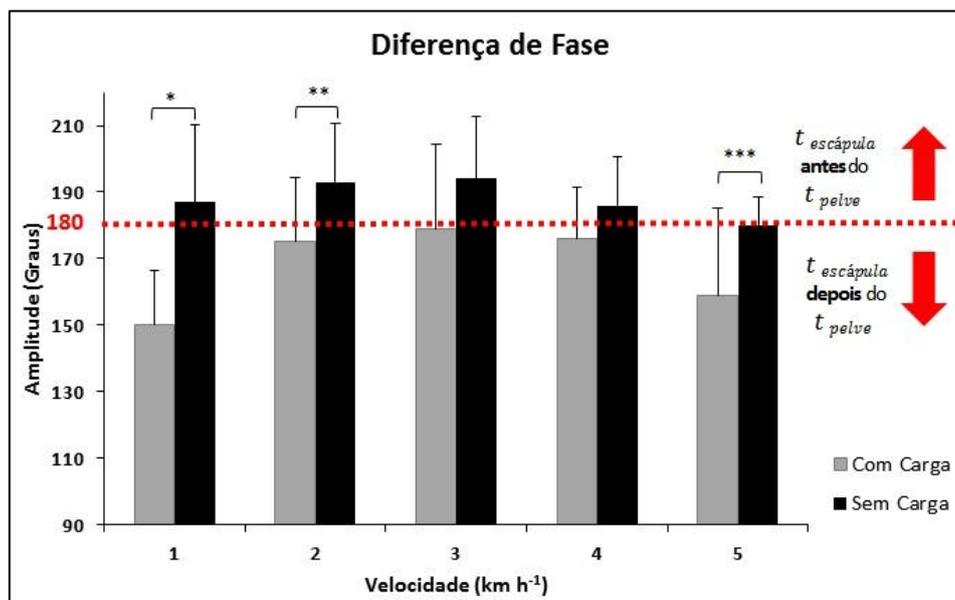
**Figura 11.** Amplitude de rotação do quadril nas cinco velocidades com carga (retângulos cinzas) e sem carga (retângulos pretos). \* representa  $p = 0,01$  e \*\*  $p < 0,05$ .

Os valores de posição angular da cintura pélvica obtidos durante as 15 passadas de um sujeito foram interpolados e podem ser observados na figura 12.

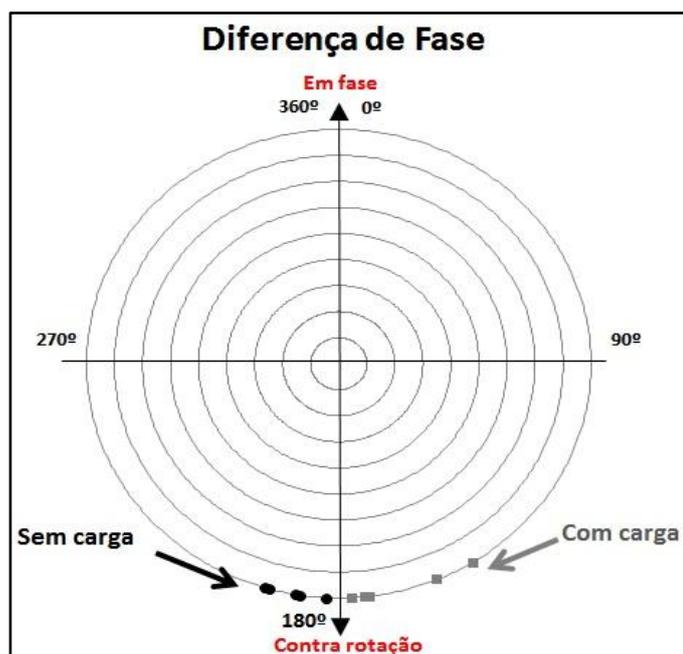


**Figura 12.** Média e DP de 15 passadas da posição angular da cintura pélvica ao longo da passada, com carga (coluna esquerda) e sem carga (coluna direita) nas cinco velocidades analisadas, advindas de um sujeito do estudo.

A diferença de fase entre a cintura escapular e pélvica foi maior durante a caminhada sem carga, demonstrando que a carga afetou essa variável. Na Figura 13 e 14 podemos observar a diferença entre a caminhada com carga e sem carga.



**Figura 13.** Diferença de fase (cinturas pélvica/escapular) nas cinco velocidades com carga e sem carga em média e DP.\* representa  $p = 0,001$ , \*\*  $p = 0,029$  e \*\*\*  $p = 0,01$ . Valores acima da linha vermelha significam que o  $t_{escápula}$  acontece antes de  $t_{pelve}$  e os valores abaixo significam que o  $t_{escápula}$  acontece depois de  $t_{pelve}$ .



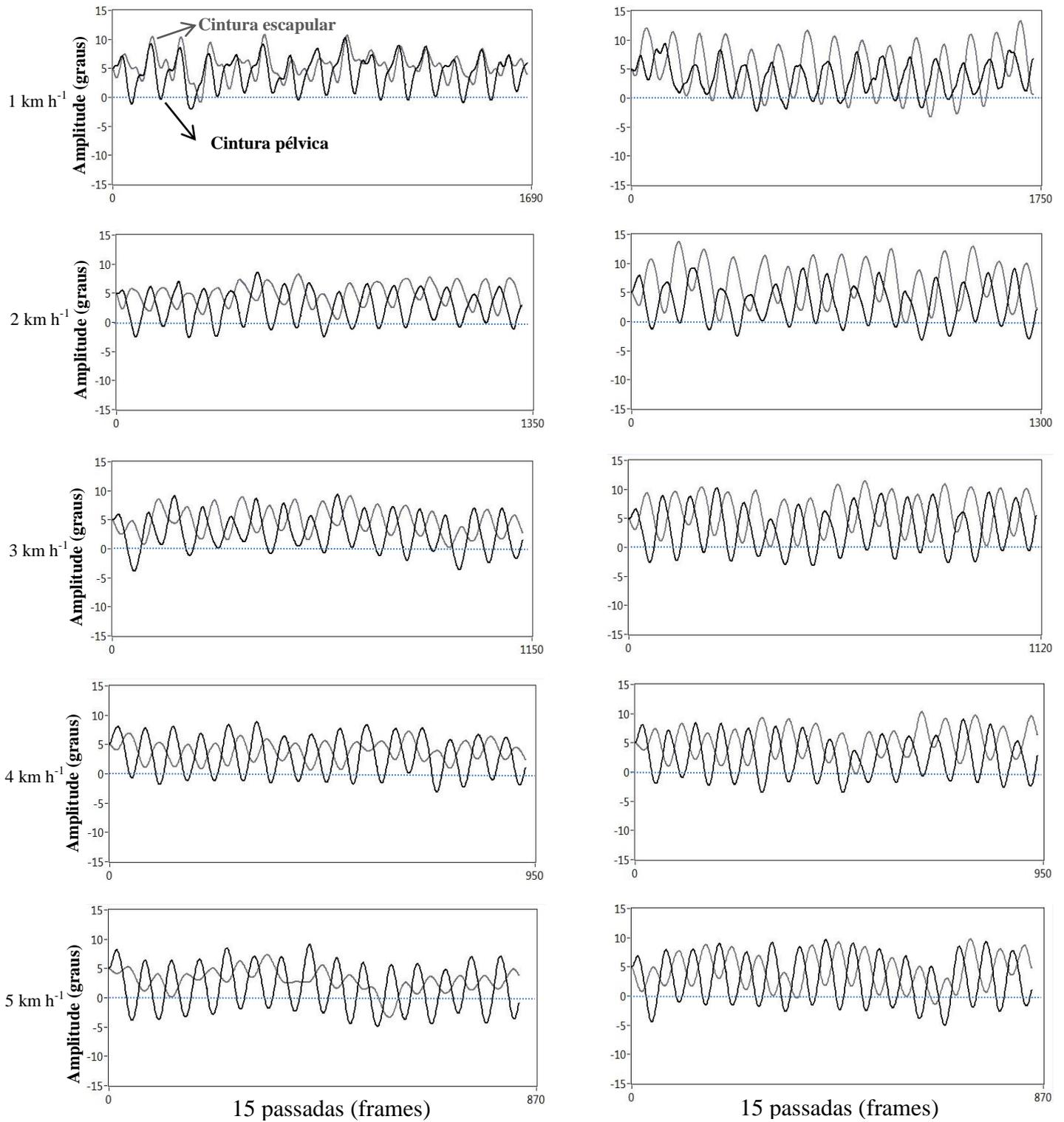
**Figura 14.** Diferença de fase nas cinco velocidades quadrados cinza com carga e pontos preto sem carga.

## Diferença de

Fase

Com Carga

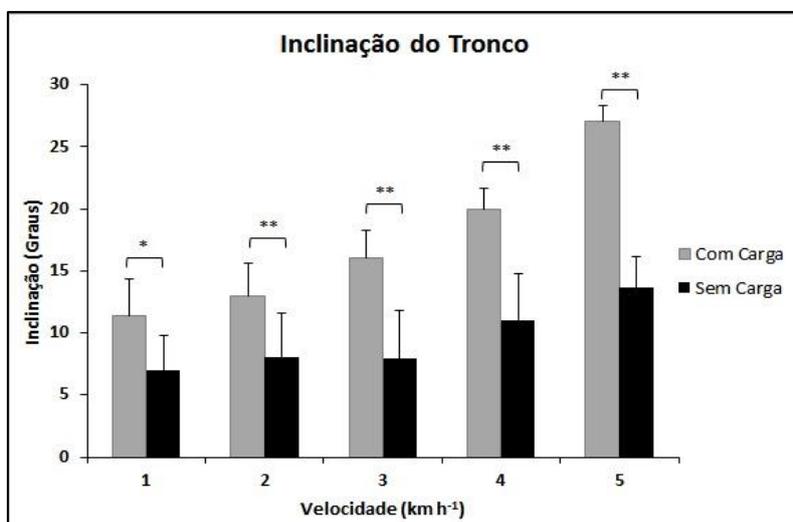
Sem Carga



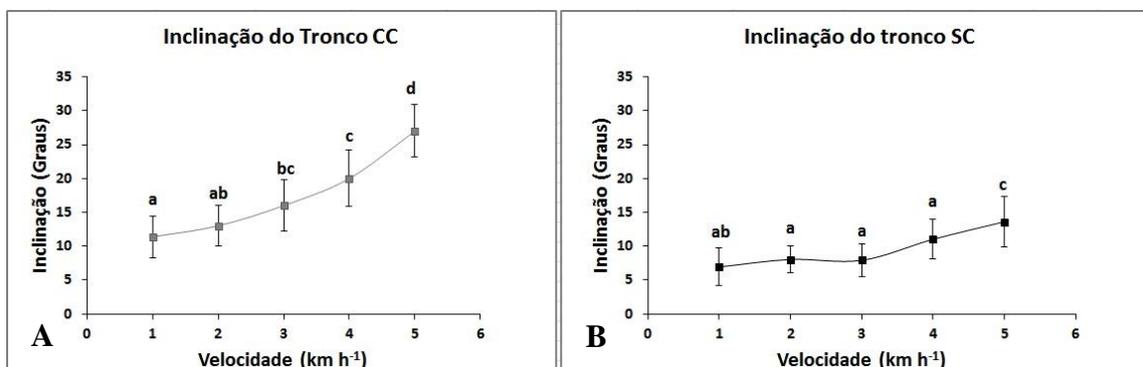
**Figura 15.** Posição angular da cintura escapular e pélvica o longo de passada 15 passadas, com carga (coluna esquerda) e sem carga (coluna direita) nas cinco velocidades analisadas, advindas de um sujeito do estudo.

## 4.2 Inclinação e Amplitude Angular do Tronco, Frequência e Comprimento de Passada

A inclinação do tronco foi maior em todas as velocidades de caminhada com carga comparada à caminhada sem carga, mostrando a grande influência da carga no padrão da caminhada em terreno inclinado. Houve uma interação entre carga\*velocidade com  $p < 0,05$ , indicando como as duas variáveis independentes alteraram a inclinação do tronco. Na Figura 16 observamos as diferenças referentes a carga e na figura 17 na velocidade de caminhada.

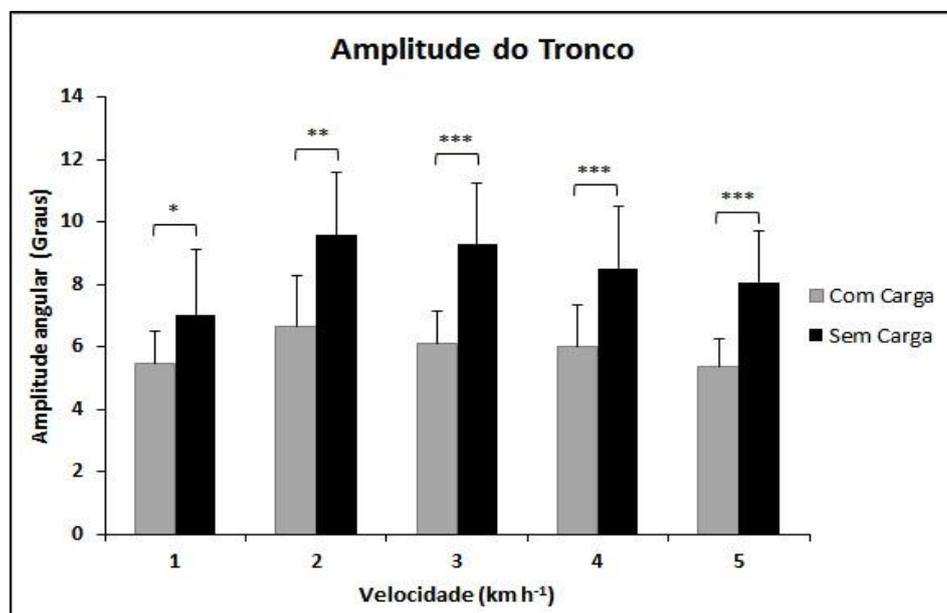


**Figura 16.** Média e DP da amplitude angular do tronco nas cinco velocidades com carga (retângulos cinzas) e sem carga (retângulos pretos). \* representa  $p = 0,002$  e \*\*  $p < 0,001$ .

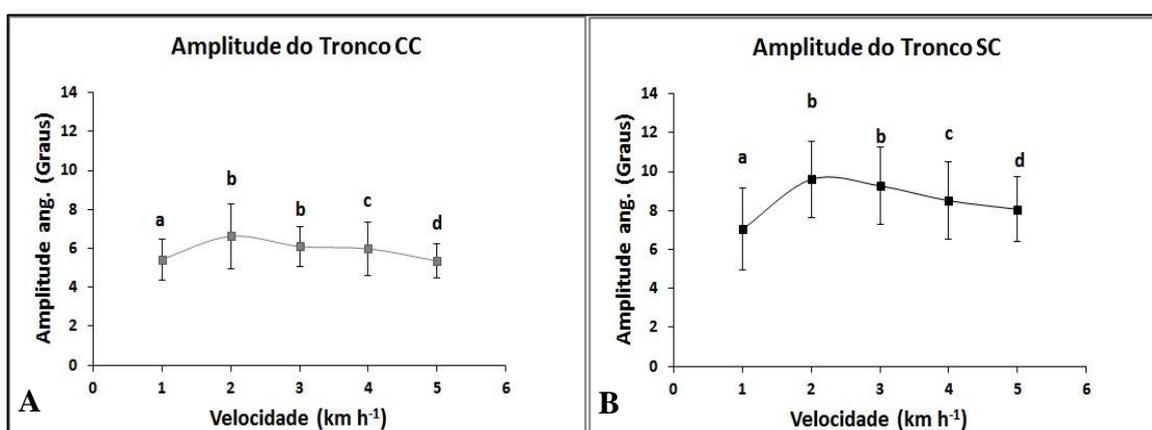


**Figura 17.** Comportamento da inclinação do tronco com carga (CC) e sem carga (SC) nas velocidades 1, 2, 3, 4 e 5 km h<sup>-1</sup> em média e DP. Letras iguais sem diferença e letras diferentes com significância de  $p < 0,001$  com carga e sem carga.

Em todas as velocidades a amplitude angular do tronco foi menor durante a caminhada com carga (Figura 18).



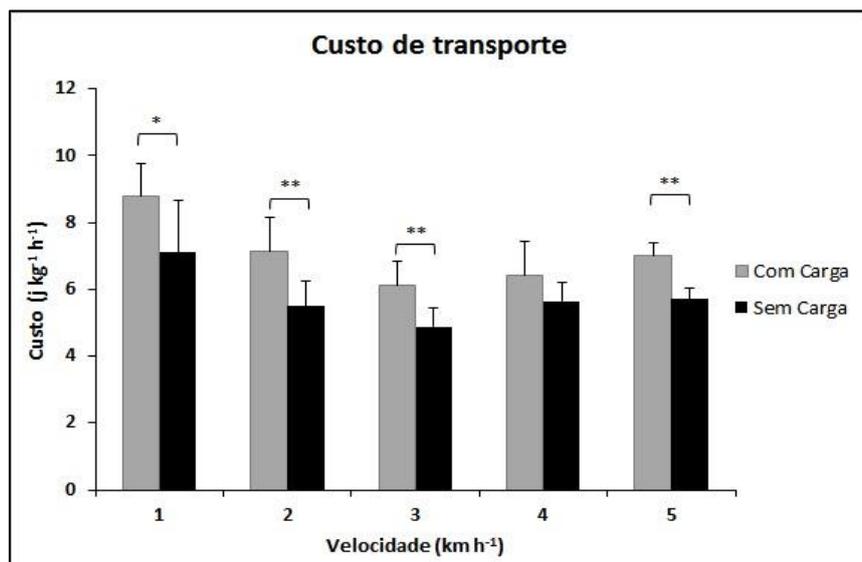
**Figura 18.** Média e DP da amplitude angular do tronco nas cinco velocidades com carga (cinza) e sem carga (preto). \* representa  $p = 0,019$ , \*\*  $p = 0,02$  e \*\*\*  $p < 0,001$ .



**Figura 19.** Média e DP da amplitude angular do tronco. A) com carga (CC) e B) sem carga (SC) nas velocidades 1, 2, 3, 4 e 5 km h<sup>-1</sup>. Letras iguais sem diferença e letras diferentes com significância de  $p = 0,003$  Com carga e sem carga.

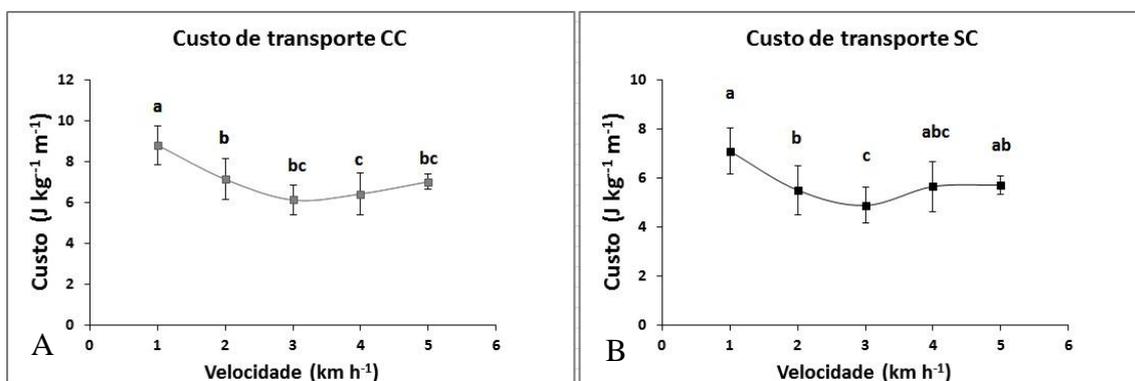
### 4.3 Custo de transporte, Comprimento e Frequência de Passada

O custo de transporte foi menor durante a caminhada sem carga como podemos observar na figura 20.



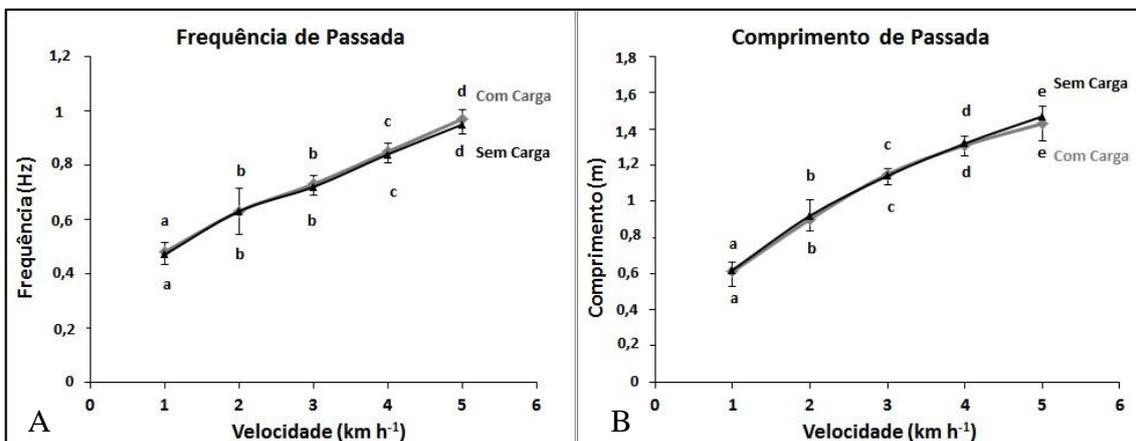
**Figura 20.** Média e DP do custo de transporte nas cinco velocidades com carga (retângulo cinza) e sem carga (retângulo preto) em média e DP. \* representa  $p = 0,002$ , \*\*  $p < 0,001$ .

Pode-se observar que o padrão de comportamento da curva de custo de transporte apresentou os menores valores foram aos 3 km h<sup>-1</sup>, nas duas situações de carga (ver figura 20).



**Figura 21.** Média e DP do Custo de transporte: A) com carga (CC) e B) sem carga (SC) nas velocidades 1, 2, 3, 4 e 5 km h<sup>-1</sup>. Letras iguais sem diferença e letras diferentes com significância de  $p < 0,001$  Com carga e  $p < 0,005$  sem carga.

A Frequência e o Comprimento de passada não tiveram diferença quanto à carga, as duas variáveis aumentaram com o acréscimo de velocidade.



**Figura 22.** A) A Frequência de passada com carga (CC) e sem carga (SC) nas velocidades 1, 2, 3, 4 e 5 km h<sup>-1</sup> em média e DP. B) Comprimento de passada com carga (CC) e sem carga (SC) nas velocidades 1, 2, 3, 4 e 5 km h<sup>-1</sup> em média e DP. Letras iguais sem diferença e letras diferentes com significância de  $p < 0,05$ .

## 5 DISCUSSÃO

Os resultados confirmaram a diferença nos padrões de caminhada com carga em terreno inclinado. Através da análise de movimentos das cinturas pélvica e escapular, do comprimento e frequência de passada e do C discutiremos os aspectos biomecânicos e energéticos que afetam a caminhada.

Os menores valores custo de transporte deste estudo foram encontrados nas velocidades intermediárias, o custo de transporte mais baixo durante a caminhada em terreno plano também ocorre em velocidades intermediárias próximas a  $4,5 \text{ km h}^{-1}$  que é a velocidade ótima (SAIBENE e MINETTI, 2003; BASTIEN *et al.*, 2005).

Autores justificam a velocidade ótima em velocidades intermediárias pelos maiores valores de *Recovery* da troca entre a energia potencial e cinética descrita pelo modelo do pêndulo invertido (CAVAGNA *et al.*, 1976). Durante a caminhada no plano o menor custo de transporte coincide com o maior *Recovery*. Entretanto, os maiores valores de *Recovery* na caminhada em terreno inclinado foram nas velocidades mais altas (GOMEŇUKA, 2011), o que sugere que outros mecanismos, como a melhora na coordenação entre as cinturas escapular e pélvica e do tronco, poderiam estar atuando para essa minimização de energia. Na investigação de outros mecanismos encontramos parâmetros que parecem ter forte influência no custo de transporte encontrado.

Emmerick e Wagenaar (1996) observaram que uma mudança sistemática na fase relativa entre o movimento no plano transversal da rotação das cinturas escapular e pélvica, aumenta de acordo com o acréscimo de velocidade, mudando de uma relação mais em fase ( $\pm 25^\circ$ ) para um padrão de mais contra rotação ( $120^\circ$ ). No presente estudo a diferença de fase tem um padrão maior de contra rotação durante a caminhada nas velocidades intermediárias. Esse padrão com maior contra rotação pode auxiliar na realização do movimento, fazendo com que o sujeito mantenha sua eficiência no gesto da caminhada, a carga interfere diretamente nesse padrão de movimento, porém, na inclinação o sujeito parece manter a contra rotação, mesmo que ocorram menores amplitudes angulares da cintura escapular.

Os resultados da relação entre a coordenação das cinturas pélvica e escapular, demonstrada pela Diferença de Fase indicam que, o padrão de marcha com maior contra rotação acontece em conjunto com menores valores de custo de transporte. Além disso,

durante a caminhada com carga o custo de transporte foi maior, enquanto que, a coordenação entre a cintura escapular e pélvica foi mais em fase. A coordenação da caminhada muda com o carregamento da carga assim como o custo de transporte.

Segundo o modelo descrito por LaFiandra *et al.* (2002) podemos dividir o corpo humano entre a parte superior e inferior, ligadas por uma mola de torsão no quadril. Se assumirmos que o quadril permanece fixo e a parte superior gira sobre ele no eixo transversal, a relação entre torque, deslocamento e rigidez é descrita pela equação:

$$I\ddot{\theta} = k\theta \quad \text{Equação 4}$$

onde  $I\ddot{\theta}$  representa o torque armazenado pela mola e  $k$  a rigidez de torção da mola e  $\theta$  a amplitude do ângulo entre os dois segmentos. Aumentando  $\theta$  ou  $k$  aumentaria o torque armazenado na mola e conseqüentemente o potencial da mola para gerar torque em qualquer segmento. Mantendo uma relação mais em fase entre cintura escapular e pélvica o  $\theta$  é reduzido, e conseqüentemente, o torque armazenado da mola também. Em sistemas fisiológicos a rigidez ( $k$ ) é influenciada pela co-contracção dos antagonistas de rotadores do tronco (oblíquo interno e externo abdominal). Kubo *et al.* (2006) observam um aumento da rigidez com incremento da velocidade da caminhada, sugerindo um papel passivo para retorno de energia especialmente com a rotação mais elevada do tronco.

A amplitude angular da cintura pélvica foi menor durante a caminhada com carga nas velocidades mais baixas. Os valores encontrados durante a caminhada com carga neste estudo foram muito próximos aos de LaFiandra *et al.* (2003) durante a caminhada sem carga em terreno plano, porém, quando comparamos a caminhada com carga do presente estudo a caminhada com carga (40% da MC) dos autores citados, a amplitude angular da cintura pélvica foi maior. Essa diferença pode estar relacionada com as diferentes cargas utilizadas e também com a situação de caminhada em terreno inclinado. A amplitude angular pélvica (rotação) auxilia a manter o comprimento da passada o que é importante para a manutenção da velocidade de progressão e no terreno inclinado essa contribuição foi ainda maior que no terreno plano.

Caminhando com cargas de 40% da MC (LAFIANDRA *et al.*, 2003) a amplitude da rotação da cintura escapular foi menor comparada à caminhada sem carga.

No presente estudo utilizando uma carga de 25% da MC à amplitude de rotação da cintura escapular também diminuiu em todas as velocidades de caminhada, mostrando uma influência da carga no padrão de rotação do ombro. Com isso, podemos notar que a carga comumente usada por praticantes de *treking* (BASTIEN *et al.*, 2005) a mesma utilizada neste estudo, provoca alterações no padrão de movimento dos sujeitos, levando em consideração que a caminhada em terrenos variados e com inclinações que podem superar os 15% esses padrões são ainda mais modificados. Além disso, militares que transportam cargas em mochilas em que o apoio na coluna é rígido, alteram o movimento natural das cinturas escapular e pélvica, aumentando o seu consumo energético (KNAPIC *et al.*, 1996).

Anteriormente foi estabelecido que a manutenção do comprimento da passada durante o aumento da velocidade de caminhada ocorre com auxílio da maior rotação do quadril (EMMERIK e WAGENNAR, 1996), porém com a carga essa rotação é diminuída e para que o comprimento da passada possa aumentar é realizada uma maior excursão do quadril o que provoca um aumento no movimento vertical do centro de massa.

Podemos observar que cargas mais altas contribuem mais para a diminuição da amplitude angular da cintura pélvica, porém a inclinação do terreno pode auxiliar na manutenção da amplitude angular das cinturas. Em futuros estudos é possível avaliar sujeitos carregando cargas mais altas em terreno inclinado.

A amplitude angular do tronco no plano frontal é alterada devido ao carregamento de cargas. Em estudo realizado por Minetti *et al.* (2006), foram comparados carregadores nepaleses com caucasianos e foi relatado que os nepaleses tiveram uma menor e mais consistente oscilação do tronco, e um menor custo energético, o que foi justificado por menores co-contrações. Populações adaptadas ao carregamento de cargas adaptam o padrão da marcha para circunstâncias extremas devido, no caso dos nepaleses, à necessidade de se locomover em regiões montanhosas e com condições de ar rarefeitas. A estabilidade do tronco é um fator determinante para o custo de transporte como observado em uma população adaptada, o que sugere que o treino de caminhada utilizando cargas auxilie no aumento dessa estabilidade.

Outra população adaptada ao carregamento de cargas são mulheres africanas da tribo Luo. Em estudo clássico de Maloij *et al.* (1986) investigaram essa população e

verificaram que quando elas caminhavam com cargas de 20% da MC na cabeça sem acréscimo no gasto energético.

O treinamento de caminhada com carga poderia gerar adaptações biomecânicas como, por exemplo, no comportamento do tronco, com menores co-contrações e menor amplitude angular do tronco, diminuindo assim o custo de transporte. Em futuros estudos o treinamento de caminhada com carga, poderia responder a essas questões e ajudar sujeitos que se utilizem da caminhada com carga como atletas e militares.

Singh *et al.* (2009) verificaram uma maior inclinação do tronco a frente em crianças caminhando com cargas de 20% da MC comparadas a condições estáticas com a carga, indicando diferentes estratégias empregadas para manter o equilíbrio em condições estáticas e dinâmicas. Hong *et al.* (2003) também encontraram em crianças uma maior inclinação do tronco com cargas de 20% da MC em comparação a utilização de 10 e 15% da MC durante a caminhada em terreno plano, além disso, a inclinação máxima do tronco encontrada nas crianças foi de aproximadamente 12°, enquanto que no presente estudo a inclinação máxima foi de 27°. A inclinação do terreno e a carga um pouco maior em nosso estudo (25% da MC) podem justificar essa maior magnitude da inclinação em relação ao estudo de Hong *et al.* (2003).

A literatura é clara quanto à escolha da FP e CP auto selecionadas serem as mais econômicas do ponto de vista energético (SAIBENE e MINETTI, 2003; DANION *et al.*, 2006) O aumento da FP e CP acontece com o aumento da velocidade. O produto da divisão entre trabalho mecânico e energia metabólica é a eficiência e a caminhada é otimizada através do ajuste destes parâmetros cinemáticos.

Foi encontrado um aumento no C com a utilização da carga, esse achado corrobora com o de Abe *et al.* (2008) que examinaram os efeitos da carga sobre o C da caminhada e verificaram que a demanda metabólica durante a caminhada com carga aumentou linearmente com a massa da carga.

## 6 CONCLUSÃO

Os padrões de movimentos analisados foram alterados com cargas de 25% MC durante a caminhada aos 15% de inclinação do terreno com exceção da FP e CP. A rotação da cintura escapular foi a mais influenciada pela carga e pelo aumento da velocidade, diminuindo sua amplitude. O custo de transporte apesar de apresentar valores maiores do que a caminhada sem carga foi menor na velocidade intermediária, assim como, na caminhada em terreno plano, mostrando que seu comportamento é sustentado mesmo com utilização da carga em terreno inclinado. A diferença de fase entre as rotações das cinturas escapular e pélvica apresentaram um padrão diferente na caminhada com e sem carga e, além disso, a amplitude máxima da cintura escapular ocorreu antes da amplitude máxima da cintura pélvica sem carga, e o contrário aconteceu com carga.

A diferença de fase deve ser mais explorada no futuro devido ao seu potencial como mecanismo minimizador energético, porém, é preciso quantificar as transferências de energia advindas dessas rotações para que se possa compreender sua influência no C. A inclinação do tronco e o deslocamento angular podem ser quantificados e usados como parâmetro de adaptação à carga, devido aos resultados encontrados com populações amplamente adaptadas ao transporte de cargas.

## REFERÊNCIAS

- ABE, D.; MURAKI, S.; YASUKOUCHI, A. Ergonomic effects of load carriage on the upper and lower back on metabolic energy cost of walking. **Applied Ergonomics**, v. 39, n. 3, p. 392-398, 2008.
- ARDIGÒ, L. P.; SAIBENE, F.; MINETTI, A. E. The optimal locomotion on gradients: walking, running or cycling? **European Journal of Applied Physiology**, v. 90, n. 3-4, p. 365-371, 2003.
- BASTIEN, G. J. *et al.* Effect of load and speed on the energetic cost of human walking. **European Journal of Applied Physiology**, v. 94, p. 76-83, 2005.
- BLAXTER, K. L. Energy metabolism in animals and man. Cambridge: University Press, 1989.
- CARLSON, H.; THORSTENSSON, A.; NILSSON, J. Lumbar back muscle activity during locomotion: effects of voluntary modifications of normal trunk movements. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 133, n. 3, 343-53, 1988.
- CAVAGNA, G. A.; THYS, H.; ZAMBONI, A. Sources of external work in level walking and running. **Journal of Physiology London**, v. 262, n. 3, p. 639-657, 1976.
- CROSBIE, J.; VACHALATHITIB, R.; SMITH, R. Patterns of spinal motion during walking. **Gait & Posture**, v. 5, p. 6-12, 1997.
- DANION, F.; VARRAINE, E.; BONNARD, M.; PAILHOUS, J. Stride variability in human gait: the effect of stride frequency and stride length. **Gait & Posture**, v.18, p. 69-77, 2003.
- DEVITA, P.; HONG, D.; HAMILL, J. Effects of asymmetric load carrying on the biomechanics of walking. **Journal of Biomechanics**, v. 24, n. 12, p. 1119-1129, 1991.
- FOWLER, N.E; RODACKI, A.L; RODACKI, C.D. Changes in stature and spine kinematics during a loaded walking task. **Gait & Posture**, v. 23, n. 2, p. 133-141, 2006.
- GOMEÑUKA, N. A. **Efeitos da inclinação do terreno e da carga sobre o trabalho mecânico e o custo de transporte na caminhada humana.** Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano/UFRGS, UFRGS, Porto Alegre, 2011.
- GOH, J.H.; THAMBYAH, A.; BOSE, K. Effects of varying backpack loads on peak forces in the lumbosacral spine during walking. **Clinical Biomechanics**, v. 3, n. 1, p. 26-31, 1998.
- HONG, Y.; CHEUNG, C.K. Gait and posture responses to backpack load during level walking in children. **Gait & Posture**, v. 17, n.1, p. 28-33, 2003.

HUANG, Y. *et al.* The effects of stride length and stride frequency on trunk coordination in human walking. **Gait & Posture**, v. 31, n. 4, p. 444-449, 2010.

KAVANAGH, J. J. Lower trunk motion and speed-dependence during walking. **Journal of Neuroengineering and Rehabilitation**, v. 6, 2009.

KERRIGAN, D.C.; RILEY P.O.; LELAS JL, DELLA CROCE U. Quantification of Pelvic Rotation as a Determinant of Gait. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, v. 82, n. 2, p. 217-220, 2001.

KNAPIK, J.; HARMAN, E.; REYNOLDS, K. Load carriage using packs: A review of physiological, biomechanical and medical aspects. **Applied ergonomics**, v. 27, n. 3, p. 207-216, 1996.

KUBO, M.; HOLT, K.G.; SALTZMAN, E.; WAGENAAR, R. C. Changes in axial stiffness of the trunk as a function of walking speed. **Journal of Biomechanics**, 39 750-757, 2006.

LAFIANDRA, M.; HOLT, K.G.; WAGENAAR, R.C.; OBUSEK, J.P. How do load carriage and walking speed influence trunk coordination and stride parameters? **Journal of Biomechanics**, v. 36, n.1, p. 87-95, 2003.

LAFIANDRA, M.; HOLT, K.G.; WAGENAAR, R.C.; OBUSEK, J.P. Transverse plane kinetics during treadmill walking with and without a load. **Clinical Biomechanics**, v. 17, n. 2, p. 116-122, 2002.

LERENA, M. A. M.; GOMES, M. M.; BARELA, J. A. Análise da oscilação lumbo-pélvica durante a marcha em esteira ergométrica. **Motriz**, v. 12, n. 1, p. 23-32, 2006.

LEROUX, A.; FUNG, J.; BARBEAU, H. Postural adaptation to walking on inclined surfaces: I. Normal strategies. **Gait & Posture**, v. 15, n. 1, p. 64-74, 2002.

LEVINE, D. *et al.* J. Sagittal lumbar spine position during standing, walking, and running at various gradients. **Journal of Athletic Training**, v. 42, n. 1, p. 29-34, 2007.

LI, J.X.; HONG, Y.; ROBINSON, P.D. The effect of load carriage on movement kinematics and respiratory parameters in children during walking. **European Journal of Applied Physiology**, v. 90, n. 1-2, p. 35-43, 2003.

MALOIY, G. M. O. *et al.* Energetic cost of carrying loads have African women discovered an economic way. **Nature**, v. 319, n. 6055, p. 668-669, 1986.

MARTIN, P. E.; NELSON, R. C. The effect of carried loads on the walking patterns of men and women. **Ergonomics**, v. 29, n. 10, p. 1191-1202, 1986.

MINETTI, A. E.; FORMENTI, F.; ARDIGO, L. P. Himalayan porter's specialization: metabolic power, economy, efficiency and skill. **Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences**, v. 273, n. 1602, p. 2791-2797, 2006.

PEYRÉ TARTARUGA, L. A. **Energética e mecânica da caminhada e corrida humana, com especial referência à locomoção em plano inclinado e efeitos da idade**. Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano/UFRGS, UFRGS, Porto Alegre, 2008.

PONTZER, H.; HOLLOWAY, J. H. 4<sup>TH</sup>; RAICHLIN, D.A.; LIEBERMAN, D.E. Control and function of arm swing in human walking and running. **The Journal of Experimental Biology**, v. 212, n. 4, p.523-534, 2009.

ROTSTEIN, A. et al. Preferred transition speed between walking and running: Effects of training status. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 37, n. 11, p. 1864-1870, 2005.

SAIBENE, F.; MINETTI, A. E. Biomechanical and physiological aspects of legged locomotion in humans. **European Journal of Applied Physiology**, v. 88, n. 4-5, p. 297-316, 2003.

SHARPE S.R.; HOLT K.G.; SALTZMAN, E.; WAGENAAR RC. Effects of a hip belt on transverse plane trunk coordination and stability during load carriage. **Journal of Biomechanics**, v. 41, n. 5, p. 968-976., 2008.

SINGH, T.; KOH. M. Effects of backpack load position on spatiotemporal parameters and trunk forward lean. **Gait & Posture**, v. 1, p. 49-53, 2009

SMITH, B. *et al.* Influence of carrying a backpack on pelvic tilt, rotation, and obliquity in female college students. **Gait & Posture**, v. 23,n. 3, p. 263-267, 2006.

TAYLOR, N. F.; GOLDIE, P.A.; EVANS, O.M. Angular movements of the pelvis and lumbar spine during self-selected and slow walking speeds. **Gait & Posture**, v. 9, n. 2, p.88-94, 1999.

VAN EMMERIK, R. E.; WAGENAAR, R. C. Effects of walking velocity on relative phase dynamics in the trunk in human walking. **Journal of Biomechanics**, v. 29, n. 9, p. 1175-1184, 1996.

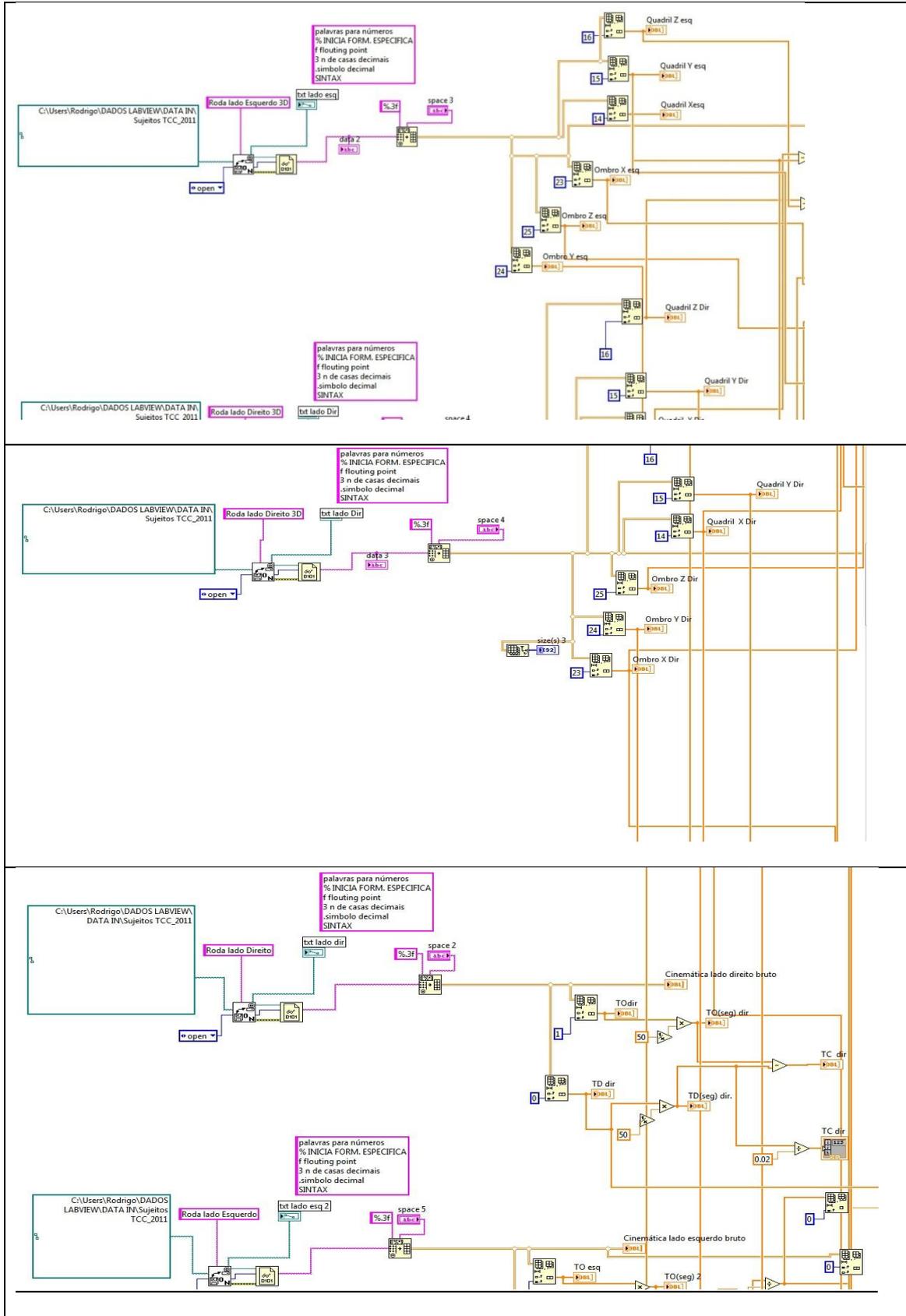
WAGENAAR, R.C; BEEK, W. J. Hemiplegic gait: a kinematic analysis using walking speed as a basis. **Journal of Biomechanics**, v. 25, n.9, p. 1007-1115. 1992.

WATERS, R. L; MORRIS, J. M. Electrical activity of muscles of the trunk during walking. **Journal of Anatomy**, v. 111, n. 2, 191-199, 1972.

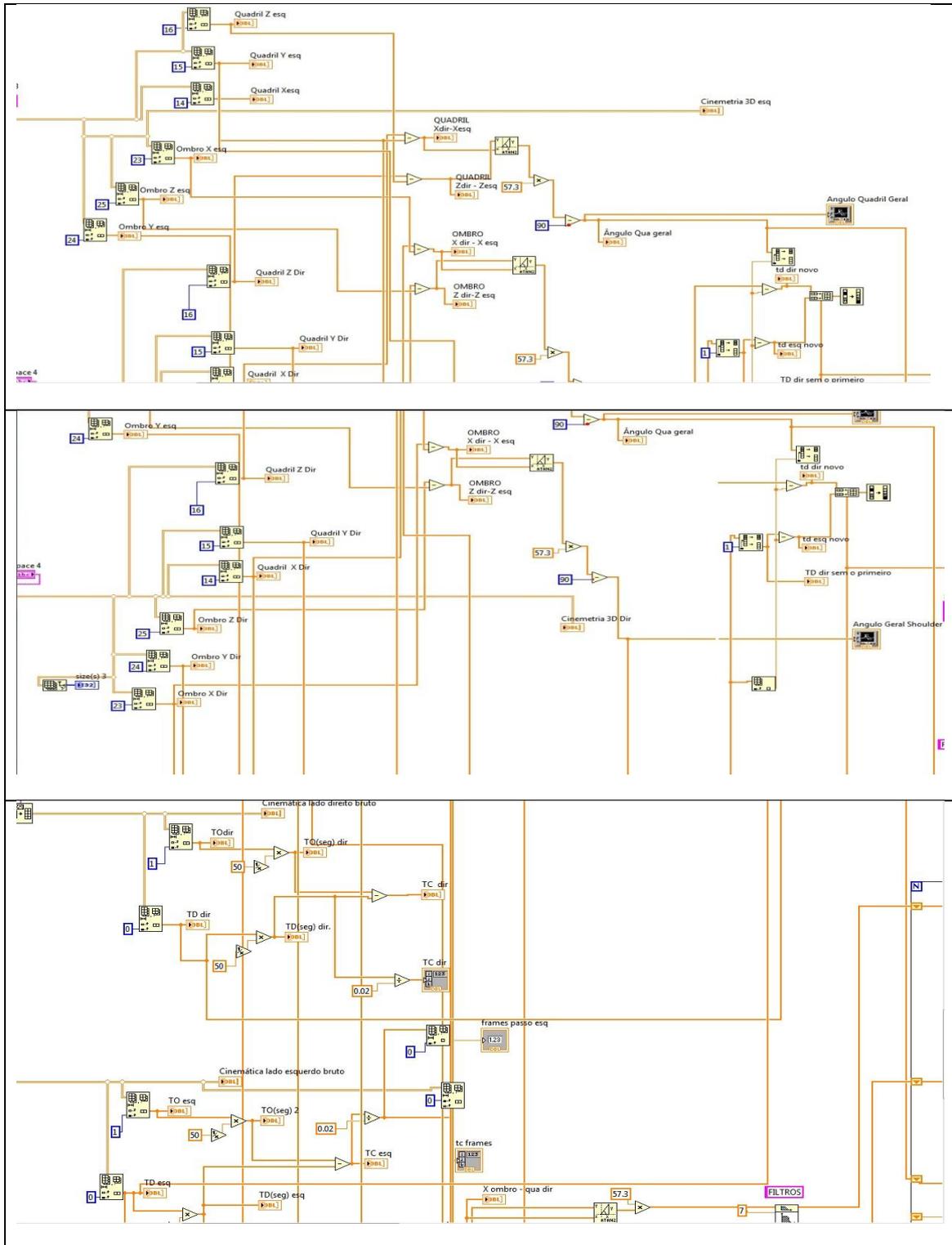
ZATSIORSKY, V. **Kinematics of human motion**. Champaign: Human Kinetics, 1998.

# ANEXO 1 ROTINA LABVIEW

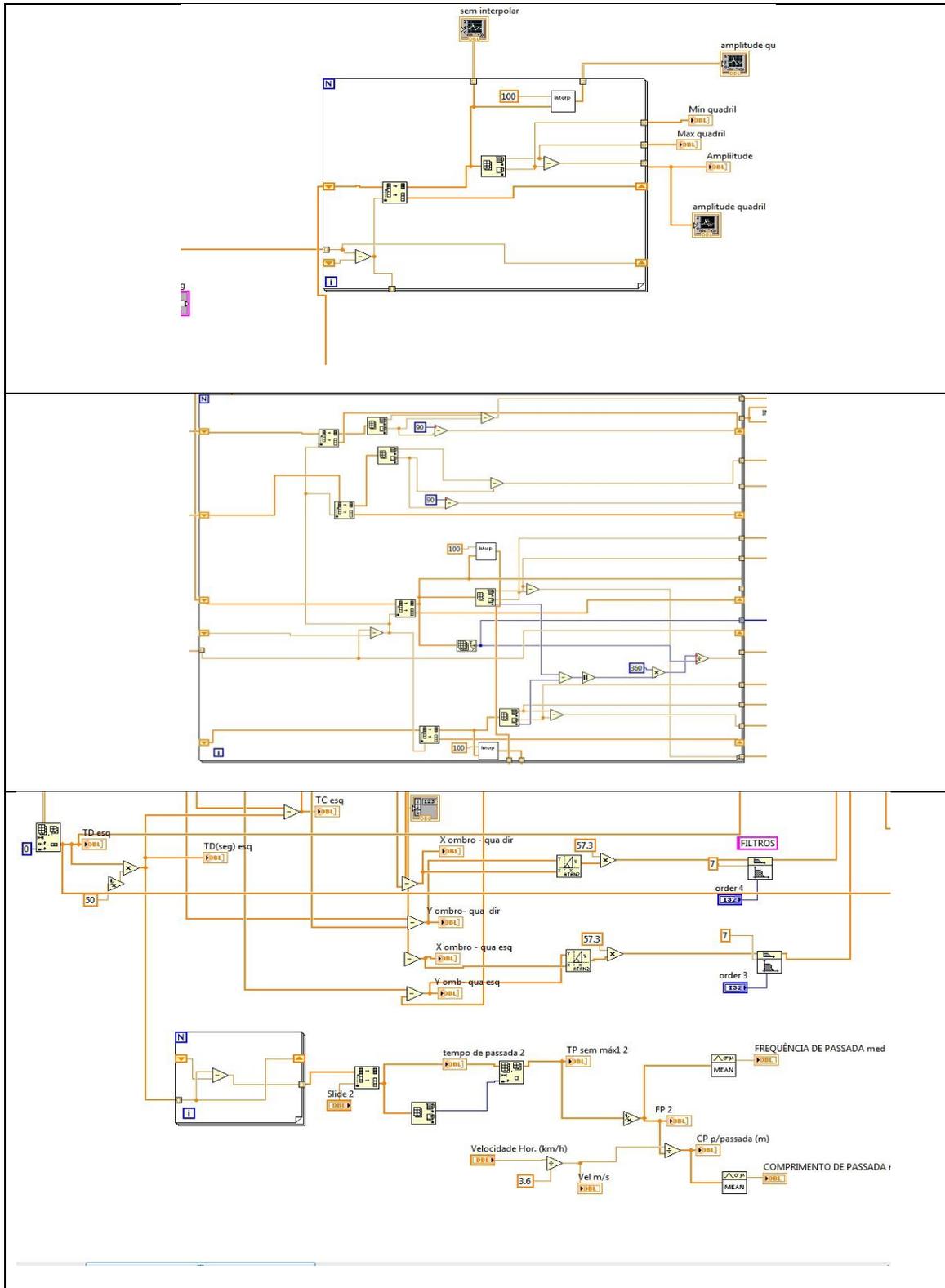
## 1) DADOS DE ENTRADA



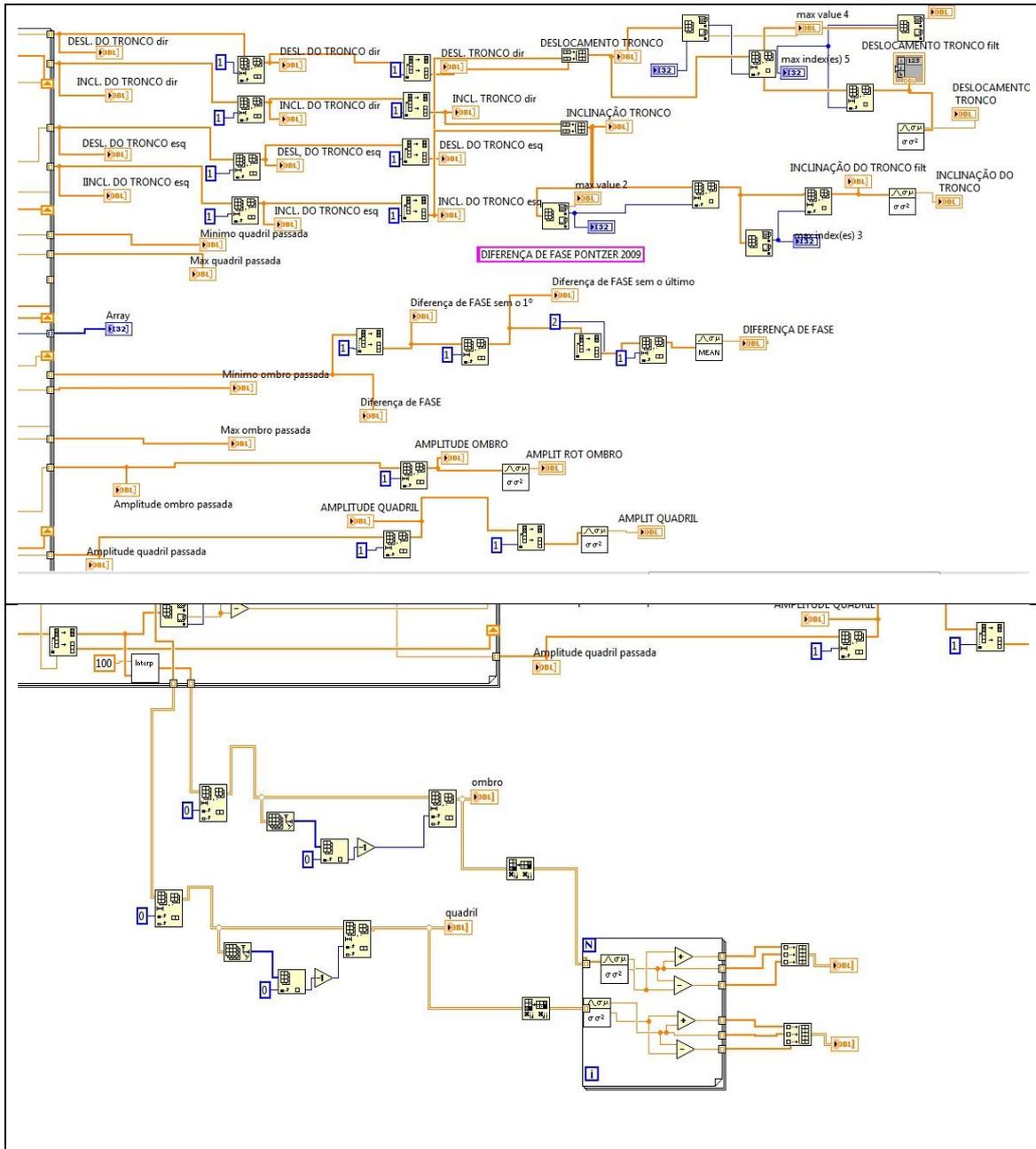
2) ROTINA ( caminho até o recorte por passo e passada)



3) ROTINA (Recorte das variáveis por passo e passada)



#### 4) ROTINA: Parte principal (variáveis do estudo, já recortadas por passada)



## **ANEXO 2 – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

Os objetivos do estudo intitulado *ANÁLISE TRIDIMENSIONAL DA CAMINHADA COM E SEM CARGA EM TERRENO INCLINADO* são analisar as alterações na inclinação do tronco, amplitude angular da cintura escapular e pélvica e do tronco e a frequência e o comprimento da passada na inclinação de 15% em diferentes velocidades (1, 2, 3, 4 e 5 km.h<sup>-1</sup>) de caminhada com e sem carga, bem como relacionar as modificações mecânicas com o custo de transporte da caminhada com e sem carga.

Eu por meio desta estou ciente que guiado pelo Pesquisador Rodrigo Gomes da Rosa e os bolsistas ou assistentes selecionados realizarão os seguintes procedimentos:

- a. Caminhar na esteira, no plano e na inclinação +15% durante 5 minutos em cada velocidade, no LAPEX da UFRGS.
- b. Caminhar na esteira, com e sem carga na inclinação de +15% durante 5 minutos em cada velocidade (1, 2, 3, 4 e 5 km.h<sup>-1</sup>), no LAPEX da UFRGS.
- c. Os testes na esteira serão filmados para posteriormente realizar os cálculos pertinentes.

*Durante o teste de esforço submáximo:*

- \* O sujeito respirará através de um bocal, no qual estará anexado a um analisador de gases na que a nariz ficará conectada.
- \* Alguns desconfortos poderão ser provocados pela realização dos exercícios físicos ou pelos procedimentos necessários para a realização da pesquisa:
  - dor e cansaço muscular temporário.
  - dor muscular nas costas, nas coxas ou cansaço físico, durante e após a realização dos exercícios físicos.
- \* Será monitorada a Frequência cardíaca durante e após das coletas.
- \* O protocolo do teste entre a preparação dos equipamentos e o período de caminhada terá a duração de aproximadamente 2 horas.
- \* Os procedimentos expostos acima serão explicados pelo pesquisador Rodrigo Gomes da Rosa ou algum bolsista.

1. Entendo que o professor orientador e/ou os bolsistas irão responder qualquer dúvida que eu tenha em qualquer momento relativo a estes procedimentos.
2. Foi informado que todos os dados relativos a minha pessoa irão ficar confidenciais e disponíveis apenas sob minha solicitação escrita. Além disso, entendo que no momento da publicação, não irá ser feita associação entre os dados publicados e eu.
3. Estou ciente que esse projeto de pesquisa não oferecerá nenhum tipo de benefício direto e imediato às condições de saúde e desempenho das pessoas avaliadas.
4. É assegurado o direito ao voluntário de não participar ou se retirar do estudo, a qualquer momento, sem que lhe represente qualquer tipo de prejuízo. Pode, portanto, o avaliado terminar ou interromper os testes em qualquer momento sob seu critério. É assegurada também a confidencialidade e privacidade às informações coletadas (bem como a garantia do esclarecimento a qualquer dúvida).
5. Será monitorada minha frequência cardíaca antes, durante e após as coletas.
6. Fico informado de que posso fazer contato com o Orientador do estudo, ou qualquer bolsista ou assistente, para quaisquer problemas referentes à minha participação no estudo ou se eu sentir que há uma violação nos meus direitos.

Pelo presente Consentimento Informado, declaro que fui esclarecido, de forma clara e detalhada, livre de qualquer forma de constrangimento e coerção, dos objetivos, da justificativa, dos procedimentos a que serei submetido, desconfortos e benefícios do presente Projeto de Pesquisa.

Telefones para contato:

Rodrigo Gomes da Rosa (autor): (51) 93111604

Data \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

CEP- Comitê de Ética e Pesquisa da UFRGS: 33083629

O Orientador responsável por este Projeto é o Professor Doutor Leonardo A. Peyré Tartaruga, fone 3308-5852 ou 8406-3793 (e-mail: leotartaruga@gmail.com).

Data \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

Nome e assinatura do Voluntário:

---

---