



Biomechanics of Elderly Walking

Guanis de Barros Vilela Junior^{1,2}; Bráulio Nascimento Lima²; Anderson dos Santos Carvalho^{2,3};
Klebson da Silva Almeida^{2,6}; Victor Marques da Fonseca Neto²; Bernardo de Oliveira Reis²;
Roberta Freitas Garcia Lima²; Bruno de Souza Vespasiano^{2,7}; Carlos Henrique Previtali Fileni²;
Gustavo Celestino Martins^{2,4,5}; Adriano de Almeida Pereira²; Ricardo Pablo Passos^{1,2}

ISSN: 2178-7514

Vol. 15 | Nº. 3 | Ano 2023

RESUMO

A biomecânica da caminhada pode fornecer informações importantes para profissionais da área da saúde, para avaliar, diagnosticar e prescrever ações que auxiliem as pessoas a eliminar ou minimizar algum problema de natureza neuromotora. Objetivo: Analisar o padrão de caminhada de idosos a partir de dados de acelerometria triaxial. Métodos: Amostra intencional com dez idosos com idade de (63,45; $\pm 2,21$), sendo que todos caminham entre 4 Km e 8 Km em seis dias da semana, há, pelo menos, cinco anos. Todos foram instruídos a caminhar numa cadência que cada um considerasse como vigorosa na escala de Borg, ou seja, entre 7 e 8. Essa cadência foi identificada e mantida em 100 passos/min; em terreno plano com asfalto. Todos estavam com bermudas e tênis adequado (de preferência individual) para a caminhada. Sobre a coluna lombar (L5/S1) dos sujeitos foi afixado com uma fita adesiva um acelerômetro, modelo SM-LSM6DSO com frequência de aquisição de dados de 100 Hz e resolução de 0,002 m/s². Os dados foram previamente tratados e realizada a análise espectral (FFT, Fast Fourier Transform) nos domínios das frequências. Realizou-se teste de correlações cruzadas (CCF) entre as acelerações nos três eixos para averiguar eventuais inconsistências na caminhada. A significância adotada foi de $p < 0,05$. Resultados: Os idosos pesquisados apresentaram padrões de caminhada sob cadência controlada em terreno plano, equivalentes ao de um jovem adulto saudável, provavelmente, decorrente de que os mesmos são praticantes assíduos dessa atividade. A análise espectral mostrou que nos três eixos (X, Y, Z) todos os picos ocorreram para frequências entre 0,018 e 0,030 Hz, características de um padrão de caminhada saudável. As correlações cruzadas (CCF) estiveram dentro dos limites superiores e inferiores esperados em todas as *lags*, sendo que a chamada *lag zero*, apresentou a maior correlação em todos os cenários (a^x e a^y ; a^x e a^z ; a^y e a^z), isso é um indicativo de que os eventos locomotores (movimentos das pernas, braços, tronco) inerentes à caminhada, estão numa sequência coordenativa que faz a tarefa eficiente.

Palavras-chave: biomecânica. Idosos, caminhada

ABSTRACT

The biomechanics of gait can provide important information for healthcare professionals to assess, diagnose, and prescribe interventions to help people eliminate or minimize neuromotor problems. This study aimed to analyze the gait pattern of active older adults using triaxial accelerometer data. Methods: Ten active older adults (mean age 63.45 $\pm$ 2.21 years) who walked between 4 and 8 km six days a week for at least five years were recruited. All participants were instructed to walk at a self-selected vigorous pace (7-8 on the Borg scale) with a controlled cadence of 100 steps per minute on a flat, paved surface. Participants wore shorts and comfortable shoes for walking. A triaxial accelerometer (SM-LSM6DSO, frequency of 100 Hz and resolution of 0.002 m/s²) was attached to the lumbar spine (L5/S1) using adhesive tape. Data were pre-processed and spectral analysis (FFT, Fast Fourier Transform) was performed. Cross-correlation analysis (CCF) was used to assess for inconsistencies in gait. Statistical significance was set at $p < 0.05$. Results: The results showed that the active older adults had gait patterns that were equivalent to those of healthy young adults. The spectral analysis showed that all peaks occurred at frequencies between 0.018 and 0.030 Hz, which are characteristic of healthy gait. The CCF values were within the expected upper and lower limits for all lags. The zero lag had the highest correlation for all scenarios (a^x and a^y ; a^x and a^z ; a^y and a^z). This suggests that the locomotor events (leg, arm, and trunk movements) inherent in gait are coordinated in a sequence that makes the task efficient.

Keywords: biomechanics, elderly, walk.

- 1- International Society of Human Movement Sciences - ISHMS
- 2- Núcleo de Pesquisa em Biomecânica Ocupacional e Qualidade de Vida - NPBOQV
- 3- Universidade Paulista - UNIP
- 4- Centro Universitário Octávio Bastos - UNIFEOB
- 5- Universidade Brasil - UB
- 6- Centro Universitário Fibrá - Fibrá/Pa
- 7- Faculdade de Ciências Sociais e Agrárias de Itapeva. Fait

Autor de correspondência

Guanis de Barros Vilela Junior - Guanis@gmail.com

INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU)⁽¹⁾, estima-se que até 2024 serão 1,5 bilhão de idosos (idade maior que 60 anos) e até 2040 esse número ultrapasse 2,1 bilhões de idosos.

Aqui, destaca-se a importância da atividade física regular, para todos (idosos inclusos), durante toda a vida, entretanto, a maioria dos idosos deles, não têm acesso às academias, clubes esportivos, ou a um *personal trainer*.

A prática da caminhada é uma excelente opção para a população idosa, pois além ser o movimento locomotor humano mais importante, é praticamente gratuita (basta uma roupa confortável e um tênis adequado), podendo ser praticada em qualquer lugar, público ou privado, como parques, praças, ruas, clubes, etc. Orientações básicas e de qualidade para idosos que queiram iniciar um programa de treinamento de caminhadas, são amplamente divulgadas na internet, fato importante, pois é necessário algum critério cientificamente embasado, e não sair simplesmente caminhando 10 Km por dia. Saber o histórico do indivíduo, suas patologias passadas e presentes, monitorar sua frequência cardíaca e pressão arterial, são um bom começo.

A caminhada, apesar de natural, possui uma técnica para ser eficiente e minimizar riscos de lesões; saber dar uma simples passada, parece trivial, mas milhares de passadas erradas numa caminhada podem causar danos ao sistema músculo esquelético dos praticantes. Por exemplo, pessoas que têm o hábito postural, de caminhar

apontando os pés, sempre na posição “dez para duas horas” (com rotação lateral em ambas as pernas, com o maior eixo dos pés formando aproximadamente 60 graus ente si), podem sentir dores nos pés, joelhos e quadris após uma caminhada, isso acontece, pois os pés deveriam estar direcionados para frente ou com ângulo entre os pés menores que o citado anteriormente.

O objetivo do presente estudo foi analisar o padrão de caminhada de 10 idosos, em terreno plano e cadência constante, a partir de variáveis de aceleração com análise espectral.

Aspectos biomecânicos da caminhada

A biomecânica da caminhada varia amplamente, entre sujeitos ficará sujeitos, sendo fortemente influenciada pela massa corporal, condições físicas do sujeito, idade, sexo, desvios posturais, tipo de calçado, tipo de pisada, estado emocional, além das condições do ambiente onde se caminha. A cadência é frequentemente utilizada em avaliações da caminhada, usualmente, se refere ao número de passos dados por minuto. São considerados como valores de referência:

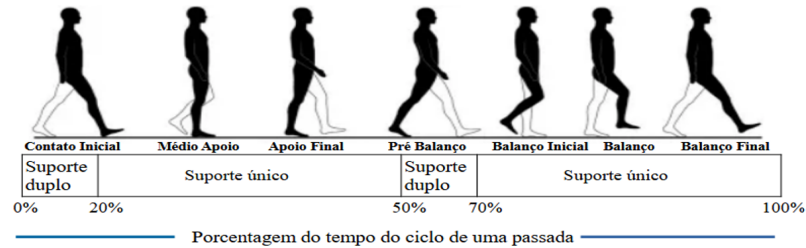
Cadência lenta: menos de 80 passos por minuto;

Cadência moderada: entre 80 e 100 passos por minuto;

Cadência rápida: mais de 100 passos por minuto.⁽²⁾

Uma passada considerada normal, usualmente, possui as distribuições percentuais médias de suas fases em um ciclo mostradas na figura 1; na literatura esses percentuais variam ligeiramente entre diferentes pesquisadores.

Figura 1 – Ciclo de uma passada, com suas fases e tempos percentuais.



Portanto, em média, cada passada acontece com 40% em suporte duplo (ambos os pés no solo) e 60% em suporte único (apenas um dos pés no solo)^(2,3,4).

As principais ações musculares no ciclo de uma passada, categorizados pelos complexos articulares estão presentes na figura 2. Onde P é a potência articular resultante.

Figura 2 – Ações musculares nos principais complexos articulares na caminhada

Fase da caminhada	Complexo articular do Tornozelo - Pé	Complexo articular do Joelho	Complexo articular do Quadril
Contato inicial	Ação concêntrica do Tibial Anterior (P>0)	Ação excêntrica do Bíceps Femural e do Quadríceps (P<0)	Ação concêntrica do Glúteo médio e Rotadores laterais (P>0). Ação excêntrica do Glúteo máximo (P<0)
Médio apoio	Ação excêntrica do Tibial anterior (P<0)	Ação concêntrica do Quadríceps Femural (P<0)	Ação concêntrica dos Glúteos e Isquiotibiais (P>0).
Apoio final	Ação concêntrica do sóleo, gastrocnêmio e fibulares (P>0)	Ação concêntrica do Quadríceps Femural (P<0)	Ação concêntrica dos adutores e rotadores mediais (P>0)
Pré-balanço	Ação concêntrica do tibial anterior (P>0)	Ação concêntrica do Quadríceps Femural (P<0)	Ação concêntrica dos adutores e rotadores mediais (P>0)
Balanço inicial	Ação concêntrica do tibial anterior (P>0)	Ação concêntrica dos Isquiotibiais (P>0)	Ação concêntrica do Iliopsoas, dos adutores e rotadores mediais (P>0)
Balanço	Ação concêntrica do tibial anterior (P>0)	Ação concêntrica dos Isquiotibiais (P>0)	Ação concêntrica do Iliopsoas, dos adutores e rotadores mediais (P>0)
Balanço final	Ação concêntrica do tibial anterior (P>0)	Ação excêntrica dos Isquiotibiais (P<0)	Ação concêntrica dos Rotadores laterais (P>0) e excêntrica do Glúteo máximo (P<0)

Na figura 2, é importante destacar que essas ações apresentam variabilidade entre as pessoas e dependem da idade, sexo, aptidão física e condicionamento físico. Quando P>0 (ações concêntricas) está ocorrendo uma geração

de força propulsora na articulação e quando P<0 (excêntricas) uma dissipação de energia, ou seja, o complexo articular está agindo como um amortecedor. Alterações significativas podem ser indícios de alguma patologia associada aos padrões

de uma caminhada normal, podendo ser reflexo de problemas neurológicos, psicológicos, sociais ou consequência do processo de envelhecimento ^(2,3,4).

Dentre os mecanismos determinantes da caminhada, estão, a rotação pélvica em relação ao eixo vertical; a inclinação pélvica no plano frontal; a flexão do joelho na fase de apoio; o complexo do tornozelo; o mecanismo do pé e o deslocamento lateral; isso explicita a importância de um aparato músculo esquelético forte o suficiente para que todos esses complexos articulares sejam eficientes. Aqui fica evidente a diferença entre *poder e querer*; a clássica problemática entre a aptidão física e a atividade física.

Adams et al. ⁽⁵⁾ pesquisaram os quatro grupos possíveis usando para a categorização deles, a capacidade de caminhar (podem ou não podem) e o comportamento real de caminhada (caminham ou não caminham). O estudo mostra que existem diferenças significantes entre os quatro grupos, ou seja, existem idosos que podem fazer e fazem caminhada; outros que podem, mas não caminham; os que não podem, mas, mesmo assim, caminham (altamente motivados) e os que não podem e não caminham (não tem aptidão física, geralmente em função das condições de saúde, e não fazem essa atividade). Isso mostra que garantir aptidão física para os idosos é condição necessária para a prática da caminhada, mas não é suficiente, pois, por outros motivos (psicológicos, socioeconômicos, ambientais, etc.) muitos que podem, não fazem e são sedentários.

Como reportam Arellano-González et al ⁽⁶⁾ em artigo de revisão sistemática, existem sete parâmetros biomecânicos espaciais mais utilizados em pesquisas sobre a biomecânica da caminhada, são eles: altura do passo, comprimento do passo, largura do passo, comprimento da passada, distância percorrida, altitude acumulada e encurtamento do membro inferior na fase de balanço. Os mesmos autores reportam nove parâmetros temporais mais pesquisados, são eles: cadência; fases da passada em percentuais; velocidade da caminhada; tempo de apoio; tempo do passo; velocidade da passada; tempo de balanço; autonomia de caminhada e tempo de repouso (quando os dois pés estão no solo, e não estão envolvidos em outras fases da passada).

Entretanto, outras variáveis também são utilizadas, por exemplo, com a popularização do uso de IMUs (com acelerômetro e giroscópio) em celulares, *smartwatches* e *hardwares* específicos para uso em pesquisas científicas e/ou avaliações no esporte ou clínicas; conforme mostram Lima et al. ⁽⁷⁾ e Gujarathi et al. ⁽⁸⁾, a aceleração tem sido cada vez mais utilizada, pois informa como a velocidade varia na unidade de tempo, podendo contribuir na identificação de padrões de caminhada a partir da obtenção do comprimento do passo e da passada, do tempo de apoio, tempo de balanço, velocidade da caminhada e cadência. Esses avanços oriundos das pesquisas em biomecânica da caminhada tem auxiliado de maneira importante na identificação de problemas de controle neuromotor, associados a alguma patologia e/ou ao processo de envelhecimento.

O corpo humano apresenta várias frequências de vibração em suas estruturas, compostas por diferentes biomateriais. Elas são determinadas pela massa, *stress* (razão entre a força e a superfície onde ela atua) e o *strain* (razão entre deformação sofrida e o tamanho da estrutura considerada antes da ação da força que a deforma) dessas estruturas (tecido ósseo, muscular, adiposo, ligamentar, de preenchimento, etc.). Em função do envelhecimento, essas frequências tendem a ser menores do que as dos jovens, devido, principalmente, às perdas de massa óssea e muscular.

O ambiente onde a caminhada ocorre também interfere nas frequências naturais de vibração do corpo humano, modificando a amplitude de suas características espectrais. Por exemplo, caminhar no asfalto plano e liso, garante uma base estável e uniforme, com uma provável melhor parametrização das variáveis biomecânicas, como força de contato com o solo, deslocamento de Centro de Pressão (COP) durante a pisada, amplitude da passada, cadência da caminhada, etc. O tênis utilizado também possui importância nas frequências naturais do corpo durante a caminhada, por exemplo, um tênis muito macio, apesar da percepção de conforto, pode ser a causa de instabilidade, especialmente, médio lateral durante a caminhada, conforme mostra estudos de Stergiou⁽³⁾.

De acordo com Mobbs et al.⁽⁹⁾ os métodos de análise como estereofotogrametria com câmeras infravermelho e plataformas de

força são de custo elevado e, portanto, ficam circunscritos a laboratórios de instituições de pesquisa; isso, inviabiliza pesquisas longitudinais com milhões de sujeitos. Com a miniaturização das *Inertial Measure Units* (IMUs), presentes em aparelhos celulares, *smartwatches* e pulseiras *fitness*, é possível a aquisição massiva de dados de boa parte da população. IMUs são baratas e de fácil instrumentação, podendo ter ampla variabilidade na frequência de captação dos dados, usualmente possuem acelerômetro e giroscópio triaxiais, portanto, são capazes de obter dados sobre aceleração e velocidade angular presentes no segmento corporal onde foi afixada⁽⁷⁾. Esses dados tratados adequadamente e submetidos às técnicas matemáticas de integração, fornecem dados das velocidades e deslocamentos (lineares e angulares).

MÉTODOS

Essa pesquisa, parte de um projeto integrado, foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Unimep, sob protocolo no 4126546 e todos os sujeitos assinaram o termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

A amostra composta por dez sujeitos do sexo masculino com idade de (63,45; $\pm 2,21$), sendo que quatro deles, foram sedentários e fumaram por mais de 20 anos, mas depois de aposentados começaram a caminhar; dois deles, durante a juventude e fase adulta, foram maratonistas e os outros quatro praticavam

esporadicamente outros esportes (futebol, voleibol e natação). Dos dez sujeitos, quatro sofreram algum tipo de câncer, que foram eliminados com o tratamento adequado, um deles apresentou como sequela da quimioterapia, Trombose Vascular Profunda (TVP), mas reporta que a caminhada e o medicamento atenuam a sensação de “peso” na perna esquerda. Os sujeitos da amostra caminham entre 4 Km e 8 Km em seis dias da semana, há, pelo menos, cinco anos.

Todos foram instruídos a caminhar numa cadência que cada um considerasse como vigorosa na escala de Borg, ou seja, entre 7 e 8, nessa escala que vai até 10. A velocidade média dos sujeitos durante a aquisição dos dados foi de 1,66 m/s, em terreno plano com asfalto. Todos estavam com bermudas e tênis adequado (de preferência individual) para a caminhada. Em todos eles foi afixado em com uma fita adesiva, sobre a coluna lombar (L5/S1), um acelerômetro STM, modelo SM-LSM6DSO com frequência de aquisição de dados de 100 Hz, sendo que o acelerômetro possui resolução de 0,002 m/s², sendo utilizada a frequência de Nyquist, portanto, $100/2 = 50$ Hz. Nos gráficos apresentados a frequência será reportada em percentuais, ou seja, $0,10 = 10$ Hz, $0,20 = 20$ Hz, até $0,50 = 50$ Hz.

Na aquisição dos dados os sujeitos caminharam em linha reta, terreno plano, durante 60 segundos, para esse estudo foram considerados os dados em um intervalo de

aproximadamente oito segundos, onde os sujeitos estavam com uma cadência, controlada por metrônomo, considerada rápida, com mais de 100 passos/ minuto.

Foi realizada, no software Origin 9.0, a análise espectral, utilizando a FFT (*Fast Fourier Transform*), para identificar o comportamento das acelerações no domínio da frequência e com o protocolo de Tukey-Hamming para reduzir o vazamento espectral com janelamento 5, ou seja, com *lags* de iguais a -5; -4; -3; -2; -1; 0; +1; +2; +3; +4; +5.

Foi realizada a correlação cruzada entre as variáveis para averiguar a existência de alguma sincronia na dinâmica nos movimentos, onde elevadas correlações em *zero lag* podem indicar que, por exemplo, os movimentos mediolaterais e verticais estão ocorrendo em um ritmo sincronizado durante a caminhada, sendo assim, essa correlação cruzada é um parâmetro importante de análise da caminhada, sendo um indicativo da qualidade da tarefa executada pelos sujeitos da amostra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram reportados e discutidos, sequencialmente, a estatística descritiva, a análise espectral e as correlações cruzadas para caracterizar aspectos biomecânicos relevantes da caminhada dos idosos.

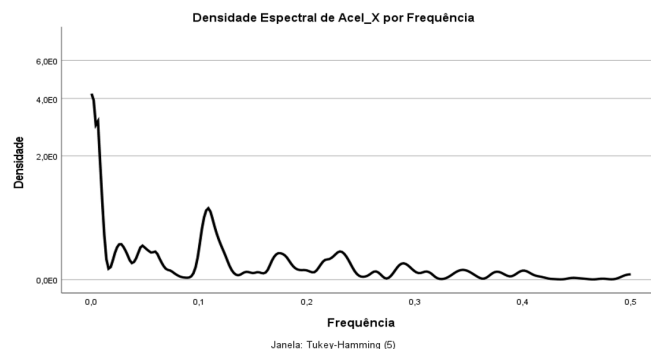
Figura 3 – estatística descritiva dos módulos das acelerações nos eixos X, Y e Z.

Aceleração (m/s ²)	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	Variância
Eixo X (médio lateral)	0,0000	0,9780	0,0261	0,0889	0,008
Eixo Y (vertical)	0,0000	1,3350	0,0462	0,1502	0,023
Eixo Z (entelho posterior)	0,0000	4,0190	0,0487	0,2135	0,046

Destaca-se na figura 3 que as médias das acelerações foram todas bem baixas, o que é previsível e esperado para uma caminhada eficiente; a menor média ocorreu no eixo x (médio lateral) com $a=0,0261 \text{ m/s}^2$; no eixo vertical (Y) a média foi de $0,0462 \text{ m/s}^2$ e no eixo Z, na direção da caminhada, a média foi de $0,0487 \text{ m/s}^2$, mesmo com um pico máximo encontrado de $4,0190 \text{ m/s}^2$ provavelmente, tenha sido consequência da necessidade de ajuste para que a cadência fosse mantida no valor solicitado.

A figura 4 mostra como variou a densidade espectral da aceleração no eixo x (direção médio lateral da caminhada) em função da frequência. Observa-se que o pico da densidade espectral ocorreu para frequências próximas de zero, decaindo em uma sucessão de picos relativos e após $f=25 \text{ Hz}$, sua densidade espectral tende a zero. As oscilações nesse eixo, mostram que os sujeitos pesquisados, mantiveram uma oscilação dentro do esperado e considerada natural para a idade dos idosos, mesmo diante de um pico relativo para frequências ligeiramente superiores a 10 Hz , provavelmente fruto de algum ajuste na fase de apoio duplo.

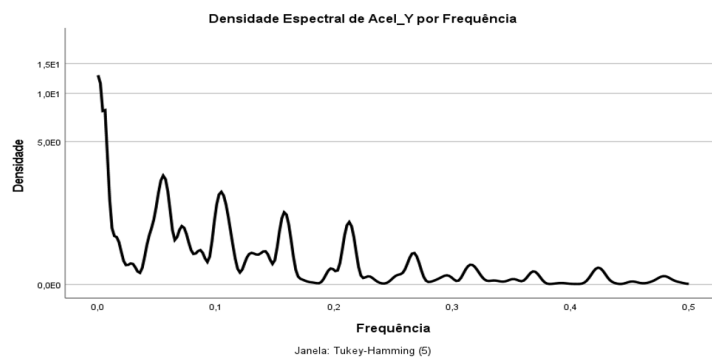
Figura 4 – Densidade espectral da aceleração no eixo x



A figura 5 mostra como variou a densidade espectral da aceleração no eixo Y (direção vertical) em função da frequência. Observa-se que o pico espectral também ocorreu em frequência próxima de zero, o que é esperado para uma caminhada eficiente. Como nesse eixo, o corpo está sob ação da gravidade e a cadência considerada rápida, a sucessão picos relativos que diminuem à medida

que a frequência aumenta, são indicativos de um padrão de caminhada adequado para idosos saudáveis segundo reporta Adrian ⁽³⁾. Para frequências maiores que 25 Hz existe um padrão assintótico horizontal da densidade espectral, esperado para a análise da caminhada em sujeitos saudáveis e fisicamente ativos.

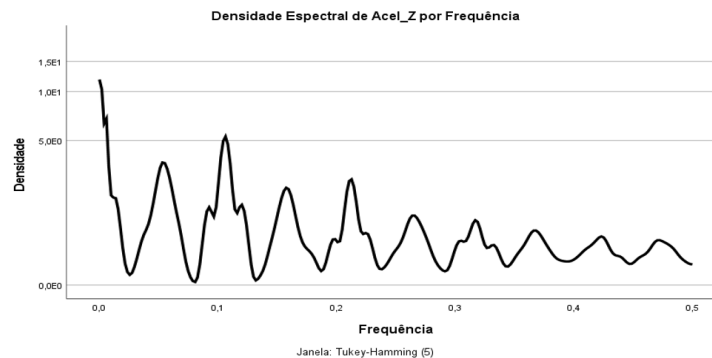
Figura 5 – Densidade espectral da aceleração no eixo Y



A figura 6 mostra como variou a densidade espectral da aceleração no eixo Z (direção ântero posterior) em função da frequência. Trata-se da direção da caminhada, com pico ocorrendo em

frequência próximo de zero e uma variabilidade que diminuiu, à medida que a frequência aumentou.

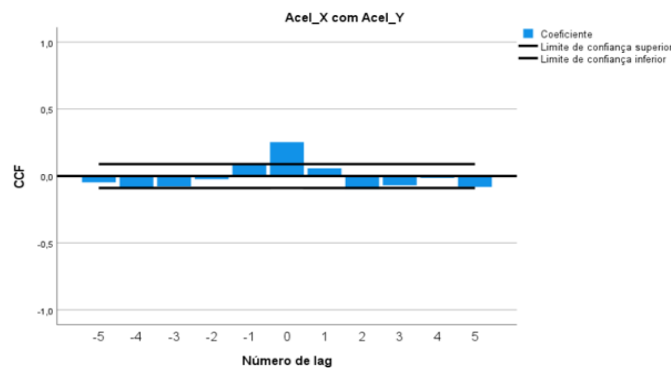
Figura 6 – Densidade espectral da aceleração no eixo Z



Para compreender se existe alguma evidência de que os movimentos executados pelos idosos durante a caminhada sob cadência rápida, são sincronizados entre si, nos três eixos, optou-se por calcular a correlação cruzada (em inglês,

Cross Correlation Factor, CCF) entre as acelerações. Os resultados das correlações cruzadas, entre as acelerações nos eixos x, y e z, estão sumarizadas nas figuras 7, 8 e 9.

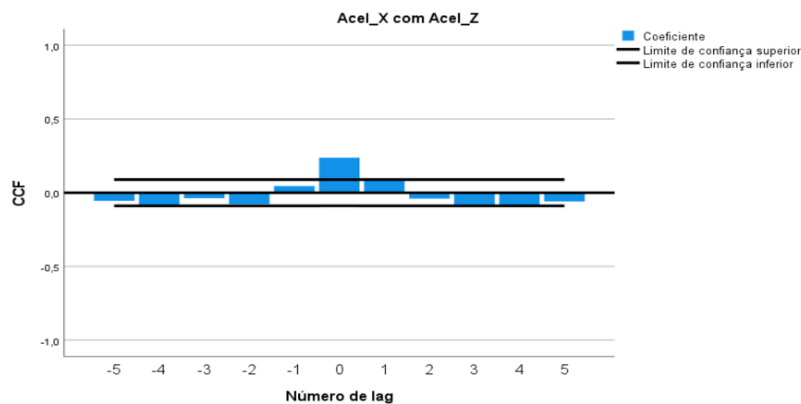
Figura 7 – Correlação cruzada (CCF) em função dos atrasos (*lags*) entre as acelerações nos eixos X e Y. Destaca-se a ocorrência, em *zero lag*, da maior correlação, o que pode ser um indicativo de uma caminhada normal e estável, especialmente em terreno plano, sob cadência rápida e controlada, isso pode refletir um padrão de marcha coordenado e eficiente. Em todas as lags testadas, os valores obtidos estão dentro dos limites esperados, entretanto, é necessária cautela ao estabelecer relação causal com esses resultados. Não obstante, é provável que apesar de independentes, existe uma sincronia das acelerações nos eixos X e Y, consequência do fato de que a caminhada é praticada com regularidade por esse grupo de idosos.



Na figura 8, observa-se que a CCF entre as acelerações nos eixos X e Z, também, parecem indicar uma sincronia entre os movimentos, realizados pelos idosos durante a caminhada. A

maior correlação em *zero lag*, é um indicativo de que não existe atraso temporal entre ambas, ou seja, mais um indicativo de movimento habilidoso para a tarefa caminhar para esse grupo de idosos.

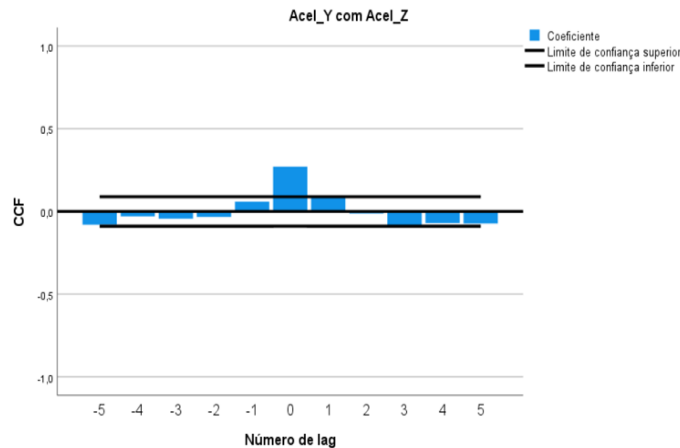
Figura 8 – Correlação cruzada (CCF) em função dos atrasos (lag) entre as acelerações nos eixos X e Z.



Na figura 9, a CCF entre acelerações nos eixos Y e Z, corrobora as outras correlações já reportadas; com maior valor em *zero lag*, e todas as outras correlações, nas diferentes *lags*, dentro dos limites superiores e inferiores esperados.

Tais resultados permitem afirmar que esse grupo de idosos, estão dentro do considerado padrão de normalidade na caminhada.

Figura 9 – Correlação cruzada (CCF) em função dos atrasos (lag) entre as acelerações nos eixos Y e Z.



É importante destacar que esses resultados implicam, na prática, em um encadeamento temporal de estratégias locomotoras, independentes, mas que são característicos do movimento coordenado e realizado com eficiência. Tais achados estão em consonância com pesquisa realizada por Henmi et al.⁽¹⁰⁾ que utilizaram a análise espectral com dados de acelerometria, comparando padrões de caminhada entre jovens, idosos e parkinsonianos; ou seja, os idosos caminhantes não apresentaram diferenças significantes com os jovens.

Tsuruoka e Shibasaki⁽¹¹⁾ mostraram em sua pesquisa, a diferença que o exercício físico (caminhada) promove na capacidade de equilíbrio e eficiência na caminhada de idosos, portanto, nossos achados são pertinentes, pois tanto a

análise espectral quanto as correlações cruzadas são evidências da eficiência do equilíbrio dos idosos durante a caminhada.

Outro aspecto importante em nossos resultados é que os picos de frequência na análise espectral ocorreram em frequências entre 0,018 e 0,030 Hz, o que é esperado para a caminhada de idosos praticantes da modalidade, tais resultados estão em concordância com estudos de Sarbaz et al.⁽¹²⁾. No eixo ântero-posterior, usualmente, não são encontradas diferenças significantes na capacidade de equilíbrio durante a caminhada, entre jovens e idosos treinados na tarefa, conforme reportam^(13,16,17,20,21); isso permite afirmar que nesse eixo os resultados encontrados na presente pesquisa estão dentro de padrões de normalidade, ou seja, os sujeitos da amostra

realizam a tarefa caminha de maneira habilidosa. Seifer et al.⁽¹⁴⁾ pesquisaram parâmetros espectrais da aceleração obtida por IMUs para fornecer *feedback* auditivo, em tempo real, para idosos que em algum instante tenham risco de queda durante a caminhada, um exemplo de aplicabilidade da análise espectral na vida cotidiana dos idosos.

Vários pesquisadores^(16,17,18,19,22,23,24) recorreram aos acelerômetros (IMUs) em suas pesquisas que corroboram nossos resultados, evidenciando, a aplicabilidade desses dispositivos para análise da caminhada.

A utilização de IMUs para analisar o comportamento biomecânico teve um crescimento importante nos últimos 20 anos, mas conforme ressaltam Benson et al.⁽¹⁵⁾, em artigo de revisão, 64% das pesquisas analisaram o movimento (com acelerações) no eixo vertical e 23% no sentido ântero posterior; 6,5% das pesquisas analisadas aconteceram no asfalto e apenas 10% recorreram à análise espectral para tentar explicar o nível de sincronia nos diferentes movimentos que determinam a caminhada; em concordância com eles, entendemos que de fato, as pesquisas precisam sair dos laboratórios, afinal, é lá fora que as pessoas vivem suas vidas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os idosos pesquisados apresentaram um padrão de caminhada considerado normal (não difere estatisticamente de adultos saudáveis na mesma tarefa); todas as acelerações atingiram

magnitudes máximas em frequências inferiores a 0,30 Hz; as correlações cruzadas obtidas, permitem concluir que em função da aptidão e capacidade física deles, as diferenças temporais das acelerações nos três eixos estão em sincronia esperada para um movimento habilidoso.

Novas pesquisas com IMUs e análise espectral, devem ser realizadas, especialmente, em ambientes onde as pessoas praticam suas atividades físicas, recreativas ou laborais, com amostras maiores e, no caso da caminhada, considerando distâncias maiores, diferentes condições ambientais (subidas, descidas, areia, asfalto, terra, tipo de calçado, etc.) para uma melhor compreensão das complexas estratégias que cada um estabelece em uma tarefa, aparentemente, tão simples.

REFERÊNCIAS

- 1- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). The Decade of Healthy Aging in the Americas (2021-2030) Disponível em: <https://www.paho.org/en/decade-healthy-aging-americas-2021-2030>
- 2- ADRIAN, M. Biomechanics of Human Movement. New York: Brown & Benchmark Pub, 1994.
- 3- STERGIOU, N. Biomechanics of gait analysis. Omaha: Academic Press. 1a ed. 2020.
- 4- VILELA JUNIOR, G.B., HAUSER, M. W. Cinesiologia. Ponta Grossa: Editora UEPG, 1991.
- 5- ADAMS, M.; CARRASCOSA, L.; JANSEN, C.-P.; RITTER, Y.; SCHWENK, M. “Can Do” vs. “Do Do” in Older Adults: A Cross-Sectional Analysis of Sensor-Derived Physical Activity Patterns. *Sensors* 2023, 23, 1879.
- 6- ARELLANO-GONZÁLEZ, Juan Carlos et al. A practical review of the biomechanical parameters commonly used in the assessment of human gait. *Revista mexicana de ingeniería biomédica*, v. 42, n. 3, 2021.
- 7- LIMA, B.N.; PASSOS, R.P.; OLIVEIRA, J.R.L.; FILENI, C. H. P.; PEREIRA, A.A.; FONSECA NETO, V.M.; RODRIGUES, M.F.; SILIO, L.F.; VILELA JUNIOR,

- G.B. Inteligência Artificial (IA), prototipagem e aplicações da acelerometria controlada por K-NN para análise do movimento humano: uma revisão bibliográfica. *Revista CPAQV*. v.14, n.3, 2022.
- 8- GUJARATHI, Trupti; BHOLE, Kalyani. Gait analysis using imu sensor. In: 2019 10th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT). IEEE, 2019. p. 1-5.
- 9- MOBBS, Ralph Jasper et al. Gait metrics analysis utilizing single-point inertial measurement units: A systematic review. *Mhealth*, v. 8, 2022.
- 10- HENMI, Osamu et al. Spectral analysis of gait variability of stride interval time series: comparison of young, elderly and Parkinson's disease patients. *Journal of Physical Therapy Science*, v. 21, n. 2, p. 105-111, 2009.
- 11- TSURUOKA, Yuriko; SHIBASAKI, Ryosuke. Spectral analysis in walking balance by elderly subjects. In: 2006 International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE, 2006. p. 5420-5423.
- 12- SARBAZ, Yashar et al. Gait Spectral analysis: an easy fast quantitative method for diagnosing Parkinson's Disease. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, v. 12, n. 03, p. 1250041, 2012.
- 13- WILLIAMS, Harriet G.; MCCLENAGHAN, Bruce A.; DICKERSON, John. Spectral characteristics of postural control in elderly individuals. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, v. 78, n. 7, p. 737-744, 1997.
- 14- SEIFER, Ann-Kristin et al. EarGait: estimation of temporal gait parameters from hearing aid integrated inertial sensors. *Sensors*, v. 23, n. 14, p. 6565, 2023.
- 15- BENSON, Lauren C. et al. Is this the real life, or is this just laboratory? A scoping review of IMU-based running gait analysis. *Sensors*, v. 22, n. 5, p. 1722, 2022.
- 16- GHAFFARI, Arash et al. Criterion validity of linear accelerations measured with low-sampling-frequency accelerometers during overground walking in elderly patients with knee osteoarthritis. *Sensors*, v. 22, n. 14, p. 5289, 2022.
- 17- PILKAR, Rakesh et al. The Potential Of Accelerometry-Derived Gait Features For Assessing The Risk Of Falls In Older Adults. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, v. 103, n. 12, p. e164, 2022.
- 18- COBO, A. et al. Assessing Older Adult's Gait Speed with Wearable Accelerometers in Community Settings: Validity and Reliability Study. In: International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare. Cham: Springer Nature Switzerland, 2022. p. 127-137.
- 19- TERRIER, Philippe; PIERGIOVANNI, Sophia. A novel method to assess correlation structure among stride intervals using a low-back accelerometer: A validation study in older adults. *Gait & Posture*, v. 97, p. S161-S162, 2022.
- 20- ZHONG, Runting; GAO, Tian. Impact of walking states, self-reported daily walking amount and age on the gait of older adults measured with a smart-phone app: a pilot study. *BMC geriatrics*, v. 22, n. 1, p. 1-12, 2022.
- 21- HAGOORT, Iris et al. Age and walking conditions differently affect domains of gait. *Human Movement Science*, v. 89, p. 103075, 2023.
- 22- KEKÄLÄINEN, Tiia et al. Individual and country-level factors associated with self-reported and accelerometer-based physical activity in old age: a cross-national analysis of European countries. *European journal of ageing*, v. 19, n. 4, p. 1529-1542, 2022.
- 23- ETUMUSEI, Jonathan et al. A Novel Martingale Based Model Using a Smartphone to Detect Gait Bout in Human Activity Recognition. *Journal of Sensors*, v. 2022, 2022.
- 24- URBANEK, Jacek K. et al. Free-living gait cadence measured by wearable accelerometer: a promising alternative to traditional measures of mobility for assessing fall risk. *The Journals of Gerontology: Series A*, v. 78, n. 5, p. 802-810, 2023.

Observação: os/(as) autores/(as) declaram não existir conflitos de interesses de qualquer natureza.