

UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Faculdade de Ciências Humanas e Sociais

Variáveis Percetivo-Motoras na Sincronização da Marcha

Marta Alexandra Narciso Oliveira

Mestrado em Neurociências Cognitivas e Neuropsicologia

2012

UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Faculdade de Ciências Humanas e Sociais

Variáveis Percetivo-Motoras na Sincronização da Marcha

Marta Alexandra Narciso Oliveira

Mestrado em Neurociências Cognitivas e Neuropsicologia

Dissertação orientada por: Professor Doutor Jorge A. Santos, Universidade do Minho

Coorientada por: Professor Doutor Luís Faísca, Universidade do Algarve

2012

Agradecimentos

Ao Professor Jorge pela orientação, disponibilidade e compreensão. Apesar de estar no canto oposto do país, fez-me sentir parte integrante da equipa de investigação e deu-me segurança para continuar quando tudo parecia impossível de concretizar. Um imenso obrigado, por ter acreditado na minha capacidade de trabalho e pela atitude de calma e tranquilidade que soube transmitir.

À Catarina, a imensa dedicação, as orientações teóricas e a ajuda no processo de pesquisa e tratamento dos dados, sem os quais teria sido impossível concluir a dissertação.

Ao Bruno, verdadeiro anjo da guarda, que esteve sempre presente durante as aquisições do movimento, sem ti o Vicon teria sido ininteligível. Ensinaste-me a ser metódica no trabalho e íntegra, enquanto pessoa, competências que espero manter no futuro.

À Liliana, a familiarização com os softwares e as horas, do teu tempo pessoal, que abdicaste para me ensinares a “perseguir” pontos no ecrã e transformá-los em dados de Excel. Não esquecerei a disponibilidade que demonstras-te para participar no estudo, mesmo sob as piores condições.

No geral gostaria de mostrar o meu apreço pela forma como toda a equipa me acolheu no Laboratório de Visualização e Perceção, senti-me sempre membro integrante da equipa de investigação.

A todos os participantes que aceitaram participar no estudo, por terem tolerando as longas e desgastantes condições de marcha.

Aos meus amigos Liliana e Ricardo que me acolheram na sua casa durante as longas semanas que passei no Laboratório, jamais esquecerei o vosso gesto de amizade.

Ao Professor Faísca a ajuda na análise estatística e a orientação dos aspetos formais da tese.

Ao meu colega Tiago que compôs o ritmo musical usado nas experiências, ao José Luís, fonte de motivação para ir sempre mais além e ao António, o meu farol, que incentivou e autorizou (enquanto chefe) a deslocação à Universidade do Minho.

Por fim, o apoio do meu marido, pais e restante família, que sempre tiveram um abraço e uma palavra de alento, mesmo nos meus dias mais negros.

The Effect of Rhythmic Auditory Cues over Stepping Frequency on Treadmill

Abstract

The relationship between music and body movement is well documented. Several sports activities, like aerobics or spinning, are based on the use of music. It is also common, in a live concert, to see people clapping hands in synchronization with music. Although stepping frequency is tightly coupled with walking velocity during natural locomotion, there is evidence that stride frequency and stride length may be decoupled from the speed of the treadmill, by imposing auditory pacing signals.

The aim of this work was to study the effect of different rhythmic auditory cues on gait on treadmill.

A volunteer sample of 10 healthy students from the University of Minho performed a walking control condition, without auditory cues, at four velocities: 1,0m/s, 1,2m/s, 1,4m/s and 1,6m/s. For walking conditions with auditory cues the subjects were split in 2 groups: the first group was instructed to synchronize the gait with auditory cues. The second group was only directed to strait walk. There were presented two types of cues: steps sounds and music. The subjects performed five randomized cued walking conditions on treadmill. Auditory cues were administered at baseline frequency, at an increased step frequency of 5 and 10% above baseline and at a decreased step frequency of 5 and 10% below baseline. These conditions were repeated at velocities of 1,0m/s, 1,2m/s, 1,4m/s and 1,6m/s. Mean step frequency, walking speed, stride length and anthropometric measures were collected.

The major finding of this study was the conditioning of the instruction on the effect of auditory cues. Although auditory cues seemed have a general effect on step frequency, for both groups, results suggested that only instructed group synchronized with the auditory cues. There was no difference in step frequency between the two types of auditory cues used.

Keywords: gait, musical synchronization, auditory cues, gait on treadmill and rhythm.

Efeito da Utilização de Pistas Auditivas Rítmicas na Marcha em Passadeira Rolante

Resumo

A relação entre música e o movimento do corpo tem sido amplamente explorada. Várias atividades como aeróbica ou spinning são baseadas no uso da música. Também é comum pessoas baterem palmas em sincronia num concerto ao vivo.

Apesar da frequência da passada estar intimamente relacionada com a velocidade durante a locomoção, existem evidências de que a frequência e amplitude da passada podem ser dissociadas da velocidade da passadeira rolante através da aplicação de pistas auditivas rítmicas.

O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito de diferentes pistas auditivas rítmicas na marcha em passadeira rolante

Uma amostra de 10 alunos, voluntários, da Universidade do Minho realizou uma condição de marcha, considerada de controlo, sem pistas auditivas, para as velocidades de 1,0m/s, 1,2m/s, 1,4m/s e 1,6m/. Para a realização das condições com pista auditivas os participantes foram separados em dois grupos, o primeiro recebeu instrução para sincronizar a frequência da passada com as pistas auditivas apresentadas, enquanto o segundo foi instruído apenas para andar. Foram apresentadas pistas de som de passos e música a ambos os grupos. Os participantes realizaram cinco situações de teste em passadeira rolante, de forma aleatória, para cada tipo de pista. As pistas apresentavam frequência de som igual à frequência da passada (100%) bem como variações de 5 e 10% acima e abaixo desta frequência. As condições de marcha foram efetuadas para as quatro velocidades mencionadas acima. Foram analisados os dados antropométricos, bem como a velocidade, frequência e amplitude média da passada.

Os resultados indicam que apesar do efeito geral da pista auditiva na frequência da passada, apenas o grupo com instrução sincronizou a frequência da passada com as pistas auditivas. Não se encontraram diferenças entre a frequência da passada com pista de som de passos e a frequência da passada com pista de música.

Palavras-chave: marcha, sincronização com música, pistas auditivas, marcha em passadeira rolante e ritmo.

ÍNDICE

<i>Agradecimentos</i>	iii
<i>Abstract</i>	iv
<i>Resumo</i>	v
INTRODUÇÃO	8
<i>Caracterização da marcha</i>	10
<i>Mecanismos de percepção – ação</i>	13
<i>Percepção do som /ritmo</i>	14
<i>Sincronização da marcha com pistas auditivas</i>	16
<i>Objetivos e hipóteses do estudo</i>	19
MÉTODOS	21
<i>Amostra</i>	21
<i>Instrumentos</i>	21
<i>Procedimentos</i>	22
<i>Protocolo ético</i>	24
RESULTADOS	25
<i>Relação entre a frequência e amplitude da passada, sem pista auditiva, em cada velocidade analisada.</i>	25
<i>Análise das características temporais da marcha em função da velocidade, valor e tipo da pista auditiva apresentada.</i>	27
<i>Análise das características espaciais da marcha em função da velocidade, valor e do tipo de pista apresentada.</i>	34
<i>Comparação entre a frequência da passada antes da introdução de cada pista auditiva e a frequência de passada da situação controlo.</i>	37
<i>Análise da sincronização da frequência da passada com o tipo de pista auditiva em função do grupo.</i>	38
<i>Distribuição da frequência da passada ao longo do tempo de cada situação experimental.</i>	40
CONCLUSÃO.....	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
ANEXOS.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Caracterização das fases de apoio (stance) e balanço (swing) ao longo da marcha.....	10
Figura 2. Distribuição dos parâmetros espaciais da marcha – amplitude da passada (step length).....	11
Figura 3. Caracterização da frequência da passada sem pista auditiva, com pista de som de passos e de música para cada participante do grupo com instrução, em função da velocidade.....	28
Figura 4. Caracterização da frequência da passada sem pista auditiva, com pista de som de passos e de música para cada participante do grupo sem instrução, em função da velocidade.....	30
Figura 5. Efeito de interação entre a velocidade da passadeira rolante e a instrução....	31
Figura 6. Efeito de interação entre a instrução e o valor da pista auditiva, sobre a frequência da passada.....	32
Figura 7. Efeito de interação entre a velocidade da passadeira rolante e o valor da pista auditiva (pista de 90, 95, 100, 105 e 110%) para cada grupo.	33
Figura 8. Efeito de interação entre o tipo de pista e a instrução.....	33
Figura 9. Efeito de interação entre a interação e a velocidade da passadeira rolante sobre a amplitude da passada.....	35
Figura 10. Efeito de interação entre a velocidade e o valor da pista sobre a amplitude da passada, para cada grupo.....	36
Figura 11. Efeito de interação entre o tipo de pista auditiva e a instrução sobre a amplitude da passada..	36
Figura 12. Efeito de interação entre as condições de marcha, sem pista, e a velocidade, sobre a frequência da passada para cada grupo..	37
Figura 13. Efeito de interação entre as condições de marcha, sem pista, e a instrução, sobre a frequência da passada.....	38
Figura 14. Sincronização da marcha com cada tipo de pista, em função do grupo.....	39
Figura 15. Exemplo da distribuição da frequência da passada, com a pista 110%, para a velocidade de 1,4 m/s de um participante com instrução.....	42
Figura 16. Exemplo da distribuição da frequência da passada, com a pista 110%, para a velocidade de 1,4 m/s de um participante sem instrução,	42

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 <i>Relação entre a Frequência e a Amplitude da Passada sem Pista Auditiva. (Coeficiente de correlação de Pearson (CCP); N=9)</i>	26
Tabela 2 <i>Distribuição da Frequência da Passada, do Grupo com Instrução, ao Longo das Situações Experimentais de Pista Auditiva.</i>	41
Tabela 3 <i>Distribuição da Frequência da Passada, do Grupo sem Instrução, ao Longo das Situações Experimentais de Pista Auditiva.</i>	41
Tabela 4 <i>Teste de Normalidade dos Parâmetros da Marcha da Situação Controlo.</i>	53
Tabela 5 <i>Teste da Normalidade para a Frequência da Passada com Pista Auditiva.</i> ..	55
Tabela 6 <i>ANOVA Mista para as Variáveis Experimentais Relacionada com a Frequência da Passada</i>	56
Tabela 7 <i>ANOVA unifatorial do Valor da Pista em Função da Velocidade para o Grupo com Instrução.</i>	56
Tabela 8. <i>Teste da Normalidade para a Amplitude da passada com Pista Auditiva</i>	58
Tabela 9 <i>ANOVA Mista para as Variáveis Experimentais Relacionada com a Amplitude da Passada.</i>	59
Tabela 10 <i>Teste t : Comparação da Altura da Perna em Função do Grupo</i>	59
Tabela 11 <i>Comparação entre a Frequência da Pista Auditiva e a Respetiva Frequência da Passada para o Grupo com Instrução.</i>	61
Tabela 12 <i>Comparação Entre a Frequência da Pista Auditiva e a Respetiva Frequência da Passada para o Grupo sem Instrução.</i>	61

ÍNDICE DE ANEXOS

<i>Anexo A - Relação entre Frequência e Amplitude da Passada para cada Velocidade sem Pista Auditiva.....</i>	<i>52</i>
<i>Anexo B - Análise das Características Temporais da Marcha em Função da Velocidade, Valor da Pista, Tipo de Pista e Instrução.</i>	<i>54</i>
<i>Anexo C - Análise das Características Espaciais da Marcha em Função da Velocidade, Valor da pista, Tipo da Pista e Instrução.</i>	<i>57</i>
<i>Anexo D - Análise da Sincronização da Frequência da Passada com o Tipo de Pista Auditiva em Função do Grupo.</i>	<i>60</i>

INTRODUÇÃO

Ao longo do processo evolutivo a principal característica que distinguiu o Ser Humano dos seus parentes primatas foi a adoção da posição bípede e consequente libertação dos membros superiores durante a marcha (Logan et al., 2010). Actualmente a marcha é considerada um movimento cíclico que permite a deslocação do indivíduo no espaço de forma automatizada. É devido à automatização da marcha que as pessoas não dão conta de que, quando caminham lado a lado, o seu padrão de marcha está sincronizado (Zivotofzky & Hausdorff, 2007). Apesar de ser aceite como um movimento automatizado, o controlo da marcha assenta num processo altamente complexo, sendo regulado por uma variedade de redes neuronais e por mecanismos de feedback. O papel do feedback auditivo de som de passos, produzido durante a marcha, tem sido pouco explorado. No entanto, é um complemento da informação proprioceptiva e cinestésica, sendo também uma importante fonte de informação sobre as características do chão ou da velocidade da marcha, contribuindo para o seu plamenamento motor em ambiente natural. O som de passos não é a única fonte de informação auditiva disponível, com impacto no planeamento motor e na sincronização com o ritmo percebido. Por exemplo, o ritmo de música é uma fonte de informação externa que permite o movimento coordenado dos alunos de uma classe de aeróbica ou a sincronização de movimentos de um par de dançarinos (Styns, Van Noorden, Moelants, & Leman, 2007). No contexto de investigação em laboratório, recorre-se frequentemente ao uso de passadeira rolante para estudar as características da marcha, visto que requer pouco espaço e, segundo alguns autores, permite uma avaliação rigorosa através do controlo da velocidade (Visell, Fontanac, Giordanod, Nordahle, Serafina, & Bresinf, 2009). Vários autores consideraram que o impacto da informação auditiva, como é o caso da música ou do som de passos, é tão forte que pode condicionar, só por si, a frequência da passada em passadeira rolante, rivalizando com o condicionalismo que a velocidade da passadeira impõe (Osaki, Kunin, & Cohen, 2008; Styns et al., 2007).

O presente estudo tem como objetivo investigar o efeito das pistas auditivas sobre a frequência da passada em contexto de marcha em passadeira rolante. Pretende-se averiguar se é possível alterar a frequência da passada em função da presença de pistas auditivas impostas e se essa sincronização é espontânea ou está dependente de instrução

específica. Procura-se ainda investigar o efeito de diferentes tipos de pistas auditivas – som de passos e música – apresentados a diferentes frequências.

A compreensão do efeito de pistas auditivas sobre o controlo da marcha é especialmente importante no contexto de reabilitação motora, existindo evidência de que pessoas com Doença de Parkinson ou com Acidente Vascular Cerebral podem melhorar o seu padrão de marcha através da sincronização com pistas auditivas (de Bruin et al., 2010; Thauta, McIntosha, & Riceb, 1997).

Caracterização da Marcha

A independência do indivíduo baseia-se numa característica primordial, a mobilidade. Entende-se por mobilidade a capacidade do indivíduo alterar e deslocar a sua posição no espaço (Cook & Woollacott, 2003).

Andar é um ato que envolve uma intenção, a ativação muscular a coordenação dos vários segmentos do corpo e a adaptação às variações ambientais. Para que a eficácia da marcha seja garantida é necessário assegurar três requisitos: progressão, estabilidade e adaptação. O primeiro baseia-se num padrão básico de movimento que assegura a deslocação do indivíduo na direção pretendida incluindo, ainda, a capacidade de iniciar e terminar a deslocação. A estabilidade, paradoxalmente, é analisada como um requisito dinâmico, correspondendo à manutenção de uma postura adequada à marcha durante a aplicação de forças externas, sejam elas esperadas ou inesperadas. A adaptação prevê a capacidade do indivíduo ajustar a sua marcha aos objetivos traçados bem como às exigências ambientais (Masani, Kouzaki, & Fukunaga, 2002).

A marcha consiste numa progressão no espaço obtida através de um padrão alternado e simétrico dos movimentos dos membros inferiores (Vaughan, Davis, & O'Connor, 1992). Assim, o movimento que ocorre desde o contacto inicial do pé com o solo até que este atinge novamente o solo define um ciclo de marcha. O ciclo de marcha é composto por duas fases, uma de apoio e outra de balanço, como mostra a Figura 1 (Cook & Woollacott, 2003; Osaki et al., 2008; Vaughan et al., 1992).

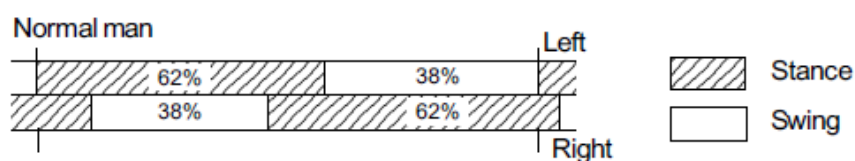


Figura 1. Caracterização das fases de apoio (stance) e balanço (swing) ao longo da marcha.

Fonte: Cook, A. S., & Woollacott, M. H. (2003). *Controle Motor teoria e aplicações práticas*. São Paulo: Manole.

A fase de apoio inicia-se no instante em que um pé contacta com o solo e continua enquanto o pé estiver em contacto com o mesmo. A fase de apoio corresponde a aproximadamente 60% do ciclo de marcha. A fase de balanço inicia-se quando o pé se afasta do solo e termina antes que, o mesmo pé, inicie o ataque ao solo. Esta fase constitui cerca de 40% do ciclo de marcha (Masani et al., 2002; Vaughan et al., 1992).

A marcha pode ser descrita de acordo com várias perspectivas: a cinemática, que estuda o padrão de movimento coordenado das articulações e dos segmentos do corpo durante a marcha, a cinética que consiste no estudo das forças que influenciam o movimento. Estas forças estão relacionadas com as tensões mecânicas, internas e externas e os parâmetros temporais e espaciais da marcha. Estes parâmetros são os fatores usados neste estudo para caracterizar a marcha e incluem a velocidade, o comprimento e a frequência da passada (Cook & Woollacott, 2003; Parvataneni, Ploegi, Olney, & Brouwer, 2009).

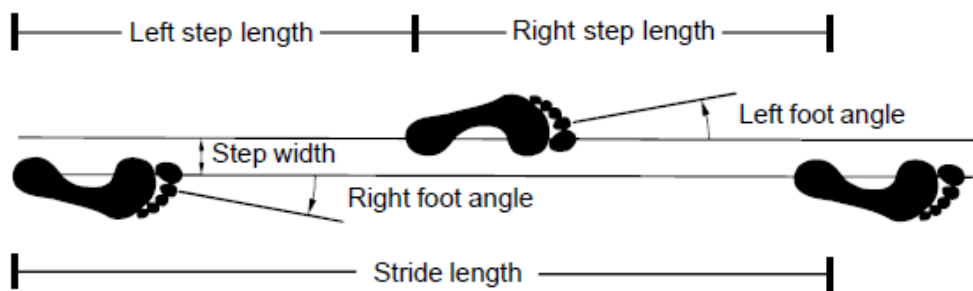


Figura 2. Distribuição dos parâmetros espaciais da marcha – amplitude da passada (step length).
Fonte: Cook, A. S., & Woollacott, M. H. (2003). *Controle Motor teoria e aplicações práticas*. São Paulo: Manole

A velocidade é definida como o espaço percorrido em função do tempo; o comprimento da passada é a distância máxima entre os dois pés, quando estão apoiados no solo; por último, a frequência da passada é descrita como o número de passos em função do tempo (Nessler & Gilliland, 2009; Osaki et al., 2008; Powell, Stevens, & Simmonds, 2009). A frequência da passada normalmente varia entre 1,25 e 2,08 Hz. Estes valores estão associados à velocidade escolhida pelo indivíduo para caminhar normalmente, pois corresponde à eficiência máxima do ponto de vista mecânico e metabólico. Desta forma, a velocidade usualmente escolhida pelo indivíduo corresponde ao menor consumo de oxigénio possível por unidade de deslocação (Lee & Hidler, 2008). Masani e colaboradores (2002) referem este fenómeno como otimização da marcha ou velocidade ótima. O consumo de oxigénio aumenta a par com o aumento do trabalho muscular, logo situações de marcha que provoquem maior esforço acarretam maiores gastos energéticos. Lee e Hidler (2008) sugerem também, que associada à velocidade ótima se obtém um controlo mais estável da marcha.

Têm vindo a ser abordadas as características da marcha em ambiente natural, no entanto, no contexto de investigação os investigadores recorrem frequentemente à

passadeira rolante para estudar a dinâmica da marcha. A passadeira rolante apresenta várias vantagens: requer pouco espaço para ser utilizada e permite controlar a velocidade da marcha de forma fiável. No entanto, será que existem diferenças entre caminhar em ambiente natural e caminhar em cima de uma passadeira rolante? Vários estudos comparam a marcha em passadeira rolante com a marcha em ambiente natural e indicam que os parâmetros temporais e a cinemática, ou seja, o padrão do movimento são semelhantes para as duas situações. Contudo verificaram-se diferenças do ponto de vista cinético, na ativação muscular, e do ponto de vista metabólico. Desta forma, para a mesma velocidade os participantes que andam em passadeira rolante apresentam batimento cardíaco mais acelerado e maior consumo de oxigénio do que quando andam em ambiente natural (Lee & Hidler, 2008; Masani et al., 2002; Parvataneni et al., 2009).

Mecanismos de Percepção – Ação

A intencionalidade do movimento, ou seja, a ação dirigida do corpo para alcançar um objetivo, pode ser definida como um efeito do mecanismo de percepção-ação. Este fenómeno é facilmente explicado se for tido em linha de conta que, a partir dos processos de codificação neuronal subjacentes à percepção, são criadas simulações de respostas motoras sobre o ambiente. De uma forma redutora pode-se considerar percepção como uma imagem do mundo exterior, construída a partir do input sensorial. Esta conjectura pressupõe uma interação dinâmica e intencional entre o participante e o ambiente (Leman, 2008).

No que diz respeito a situações de marcha, o controlo postural é o requisito mais significativo para ação. A correção postural e o equilíbrio são aspetos inerentes ao controlo postural. Estes dois aspetos estão interligados por mecanismos fisiológicos tais como: o sistema vestibular, responsável pela orientação do corpo no espaço e pela manutenção do equilíbrio; os sistemas proprioceptivo e cinestésico, que enviam informação aferente acerca da posição relativa dos diferentes segmentos corporais e do movimento que está a ser executado (Cook & Woollacott, 2003; Gazzaniga, Ivery, & Mangun, 2009; Goldstein, 2010). A visão, que participa tanto, na manutenção da posição bípede, como na modulação do ciclo da marcha, deslocação no espaço e desvio de obstáculos (Logan et al., 2010). Vários estudos demonstraram que o optic flow – padrão constituído pelo movimento aparente de objetos e superfícies, resultante da deslocação do indivíduo no espaço, tem um efeito modelador em algumas das características da marcha como, velocidade, tamanho do passo e transição entre marcha e corrida (Bank, Roerdink, & Peper, 2011; Logan et al., 2010; Mohler et al., 2007). Por último o feedback auditivo do som dos passos, que funciona como uma assinatura, fornecendo informação sobre as características do chão, (gelo, cascalho, areia, etc.) sobre as características dinâmicas da marcha, (velocidade e estabilidade) e ainda sobre as características antropométricas do indivíduo (peso e género) (Visell et al., 2009).

Graças à integração da informação aferente e aos mecanismos de feedback e feedforward o indivíduo tem a capacidade para se deslocar na direção pretendida e para ajustar a marcha às exigências do contexto (Aldo Faisal & Wolpert, 2009; Cook & Woollacott, 2003).

Percepção do Som / Ritmo

A frequência de som audível por humanos varia entre 20 a 20.000 Hz. No entanto, a maior parte dos sons que ouvimos, tais como fala, música ou até o choro de um bebê, situam-se entre os 1000 a 4000Hz (Gazzaniga et al., 2009).

A percepção da música difere da percepção da linguagem, pois não depende apenas das características individuais das notas mas também da forma como, as notas, estão agrupadas ao longo do tempo, em termos da duração, disposição e intervalos entre elas (Kolb & Whishaw, 2009). O processo de percepção da música pressupõe sobretudo a identificação dos atributos físicos do som: a amplitude, que está relacionada com a intensidade do som e, apesar de ser mensurada objetivamente em decibéis, é avaliada, subjetivamente, como volume alto ou baixo; o tom, que está associado às propriedades ressonantes de cada nota ou objeto, isto é, à frequência de som por eles emitida; e o timbre, que representa a singularidade de cada som, ou seja, é a qualidade que permite distinguir dois sons de igual amplitude e tom (Gazzaniga et al., 2009; Kolb & Whishaw, 2009).

Para além dos atributos físicos do som, outro elemento fundamental para a percepção do ritmo é o compasso – forma quantitativa de dividir as notas em função do tempo. É o compasso que indica a regularidade do batimento, sendo interpretado pelo ouvinte como ritmo (Goldstein, 2010; Iversen, Repp, & Patela, 2009; Kolb & Whishaw, 2009). Os compassos são classificados de acordo com o número de notas que compõem a unidade de tempo. Desta forma, dizer que um compasso é simples, significa que cada unidade de tempo pode ser dividida por duas notas. Dizer que um compasso é complexo pressupõe que cada unidade de tempo, desse compasso, possa conter três notas. Os compassos também são classificados de acordo com a métrica – número de tempos que possuem. Os compassos mais comuns são: o binário simples – compasso de dois tempos, sendo cada tempo composto por duas notas (como por exemplo o som de passos) e o ternário simples – compasso formado por três tempos em que cada tempo é composto por duas notas (Grube & Griffiths, 2009; Kolb & Whishaw, 2009; Large & Jones, 1999).

Nozaradan e colaboradores (2011) defenderam a existência de um processo de controlo top-down na percepção do ritmo, mesmo quando os atributos do som são ambíguos ou estão diminuídos. Segundo o processo de controlo top-down o ouvinte pode interpretar diferentes compassos de acordo com o tempo que escolhe como referência. Normalmente o tempo de referência é mais forte (ou mais acentuado) que os restantes,

por esta razão torna-se o primeiro tempo do compassos. É em torno do tempo forte que se define a periodicidade do compasso. A distinção entre o tempo forte e os restantes tempos do compasso pode ser induzida através de pistas acústicas, relacionadas com o tom, com a melodia ou com o volume do som (Grube & Griffiths, 2009).

O registo eletroencefalográfico usado em alguns trabalhos corrobora esta linha de pensamento, sugerindo que o processamento da estrutura métrica está relacionado com a atenção prestada aos tempos que compõem o compasso (Nozaradan et al., 2011).

De acordo com Moelants e McKinney (2004) peças musicais com métrica bem definida permitem uma perceção mais precisa do ritmo. Ou seja um maior número de ouvintes irá interpretar um ritmo da mesma forma, enquanto métricas mais afastadas deste tempo podem induzir maior ambiguidade na interpretação do ritmo musical. (Grube & Griffiths, 2009; Moelants & McKinney, 2004). Grube e Griffiths (2009) confirmam estes resultados, mostrando que a ausência de um tempo forte numa sequência isócrona-constituída por notas iguais separadas, entre si, por intervalos de tempo regulares, impossibilita a definição de uma sequência métrica.

O fato da métrica emergir da regularidade temporal do compasso, fornece um padrão que molda não só a interpretação do ritmo, mas também, as expectativas em relação à sua progressão no tempo. As expectativas desempenham um papel essencial na sincronização com um ritmo externo (Grube & Griffiths, 2009; Repp, 2005).

Os estudos de Large e Jones (1999) vêm introduzir uma visão dinâmica da interpretação do ritmo ao longo do tempo. Os modelos definidos até então (modelo estático e modelo de perceção baseado no batimento) assentavam no princípio de que o ritmo era interpretado de uma forma rígida ao longo do tempo. O modelo de atenção dinâmica, defendido por Large e Jones (1999) indica que a atenção seletiva concedida ao tempo forte, que marca a periodicidade do ritmo, varia de forma dinâmica ao longo do tempo, variando também a estrutura métrica do ritmo (Iversen et al., 2009; Moelants & McKinney, 2004; Nozaradan et al., 2011; Repp, 2005). A atenção seletiva implica o cumprimento de requisitos tais como: a existência de um foco de atenção no tempo do compasso e a coordenação entre o compasso e a interpretação do mesmo. Quanto mais vincada for a sequência métrica, mais nítido será o foco da atenção seletiva ao longo do tempo. (Large & Jones, 1999).

Sincronização da Marcha com Pistas Auditivas

Graças à evolução dos testes de imagiologia, nomeadamente a ressonância magnética funcional, vários estudos (Iversen et al., 2009; Nozaradan et al., 2011) demonstraram uma relação entre o sistema auditivo e motor, verificando-se, de um modo geral, uma ativação do sistema motor em tarefas de perceção do ritmo. Os gânglios da base e a área motora suplementar parecem estar especialmente ativos quando a estrutura métrica induz maior regularidade ao ritmo.

De acordo com Thaut (2005) a batida/compasso é a característica mais proeminente da sincronização. Este princípio pode explicar a tendência do indivíduo para sincronizar o movimento quando exposto a ritmos. Basta observar alguns comportamentos do quotidiano para identificar situações de sincronização com um ritmo: pessoas a aplaudir num concerto, caminhar lado a lado, desempenho dos alunos numa aula de dança ou acompanhar uma música, que está a passar na rádio, com movimentos de precursão dos dedos (Styns et al., 2007; Zivotofzky & Hausdorff, 2007). No âmbito da marcha a sincronização em fase, ocorre quando dois indivíduos que caminham lado a lado (Chafe, Cáceres, & Gurevich, 2010) dão um passo com o membro inferior do mesmo lado, por exemplo a perna esquerda, precisamente ao mesmo tempo. É comum os indivíduos não terem consciência de que estão em sincronia como o outro (Leman, 2008; Zivotofzky & Hausdorff, 2007).

As experiências sensoriomotoras de percussão (tapping experiments) têm sido as mais usadas para estudar o fenómeno de sincronização motora com o ritmo apresentado.

Este fenómeno tem sido investigado de diferentes perspetivas teóricas e metodológicas:

(1) Perspetiva teórica da relação entre o ato motor e o compasso que compõe o ritmo. Neste âmbito alguns autores tentam provar que, numa situação de perfeita sincronia entre o ato motor de percutir e o ritmo, existe uma tendência antecipatória ou seja, o participante tende a percutir ligeiramente antes de ouvir o estímulo auditivo. Esta antecipação é explicada, do ponto de vista teórico, como resultado de expectativas que o indivíduo cria, em relação à progressão do ritmo no tempo, em função da interpretação que faz do compasso (Large & Jones, 1999; Repp, 2005). O trabalho de Chafe e colaboradores (2010) mostra evidência de que a separação temporal entre dois participantes tem efeito nas tarefas de sincronização musical. Nas suas experiências de sincronização com estímulos, através de aplausos, o desempenho máximo dos participantes foi acompanhado de atraso do estímulo auditivo, atraso esse considerado

normal (relacionado com a disposição espacial e velocidade de propagação do som). Sugere ainda, a tendência dos participantes para acelerarem o ritmo quando não se verificava o atraso temporal. Estes dados indicam que a antecipação do ato motor é inerente à reprodução de ritmo. Outros autores, têm investigado o processo de correção do erro de sincronismo através da análise do comportamento dos participantes face a alteração da sequência métrica (Chafe et al., 2010).

(2) Papel dos diferentes tipos de feedback, tátil, visual e auditivo, no processo específico de sincronização da marcha: Zivotofzky e Hausdorff (2007) estudaram o impacto do feedback visual, auditivo e tátil na sincronização da marcha, entre indivíduos que caminhavam lado a lado em contexto natural. Os participantes deste estudo não tinham conhecimento dos objetivos do estudo nem receberam instrução para sincronizar com o seu par, tendo-se verificado resultados de sincronização da marcha, estatisticamente significativos, apenas na condição de feedback tátil. A explicação apresentada para os resultados foi o fato do feedback tátil (mãos dadas) ter funcionado como vínculo de interação e condicionamento da frequência da marcha dos participantes. Logan e colaboradores (2010) explicaram o papel que a visão tem na marcha, nomeadamente nos parâmetros espaciais e na definição da trajetória. O estudo de Bank e colaboradores (2011) comprova o papel da visão na sincronização da marcha, mostrando que a apresentação de marcas luminosas na passadeira rolante induz ajustes mais eficazes da marcha do que sons emitidos pelo metrômetro. O papel do feedback auditivo na sincronização da marcha tem sido largamente explorado, tanto na população normal como na reabilitação de indivíduos com Doença de Parkinson, existindo evidência de que um ritmo imposto consegue condicionar, só por si, a frequência da passada (de Bruin, et al., 2010; Herman, Giladi, & Hausdorff, 2009; Osaki et al., 2008; Zivotofzky & Hausdorff, 2007). Murray-Smith e colaboradores (2007) demonstraram que a sincronização da marcha pode ocorrer com uma pessoa distante, com quem se está a falar ao telefone sendo que, nesta situação, o único feedback passível de influenciar a sincronização da marcha é a voz do interlocutor.

(3) Contexto onde ocorre a sincronização da marcha com o ritmo. Vários estudos comprovam que a sincronização com o ritmo ocorre em contexto de marcha natural (de Bruin, et al., 2010; Picelli et al., 2010; Rochester, Burn, Woods, Godwin, & Nieuwboer, 2009; Styns et al., 2007;). O estudo de Osaki e colaboradores (2008) mostrou que, marcha em contexto de passadeira rolante, também pode ser condicionada pela imposição de pistas auditivas. Parvataneni e colaboradores (2009) responderam à

questão se andar em passadeira rolante é igual a andar em ambiente natural. Segundo eles a marcha em passadeira rolante é semelhante à marcha em contexto natural, no que diz respeito aos parâmetros temporais e padrão motor do movimento. As diferenças entre os dois contextos, segundo estes autores, residem na ativação muscular e na taxa metabólica, estando associada à marcha em passadeira rolante uma taxa de consumo de oxigénio mais elevada. Lee e Hidler (2008) mostram que, tanto numa situação de marcha em ambiente natural, como numa situação de marcha em passadeira rolante, ocorre um aumento linear da frequência da passada em função do aumento velocidade. No entanto Schellenbach e colaboradores (2010) defendem que numa fase inicial de marcha em passadeira rolante pode ocorrer um processo de adaptação à velocidade da passadeira. Este processo consiste no aumento da frequência da passada, para estabilizar a marcha que pode durar até 15 minutos.

(4) Papel da intencionalidade na sincronização da marcha. Esta questão nunca foi explorada em conjunto com a introdução de pistas auditivas. Em geral, apenas Nessler e Gilliland (2010) abordaram a questão da intencionalidade na sincronização da marcha, mas sobre a perspectiva da marcha lado a lado, em passadeira rolante. No referido estudo os participantes foram submetidos a três condições de marcha: sozinho, a pares sem instrução para sincronizar a marcha como o outro participante e a pares com instrução explícita para sincronizar. Verificaram-se resultados estatisticamente significativos apenas para a situação de sincronização forçada, ou seja, o padrão de marcha na situação de sincronização não intencional apresentou parâmetros temporais e espaciais semelhantes aos da situação de marcha sozinho.

(5) Aplicabilidade da sincronização da marcha na área da reabilitação. Apenas tem sido explorada a aplicabilidade da sincronização intencional na área da reabilitação motora (Nessler & Gilliland, 2010). O estudo de De Bruin e colaboradores (2010) mostra evidência dos benefícios que a prática de exercício, acompanhados por música tem no controlo da marcha de indivíduos com Doença de Parkinson. Este tipo de exercícios pode conduzir à melhoria do desempenho sobretudo no que diz respeito à velocidade e cadência da marcha (Herman, Giladi, & Hausdorff, 2009).

Objetivos e Hipóteses do Estudo

Quando um indivíduo anda em passadeira rolante, tende a adotar uma frequência de passada de conforto. Esta frequência é considerada de conforto pois corresponde à maior eficiência, do ponto de vista mecânico e metabólico, para a velocidade da passadeira. No entanto, quando o participante é forçado, pela instrução, a sincronizar a sua marcha com pistas auditivas, ocorrem alterações da frequência e da amplitude de passada, no sentido de garantir uma sincronização eficaz. Estas alterações obrigam ao afastamento da frequência de conforto. Este afastamento está associado a um aumento do esforço motor e conseqüentemente ao aumento do consumo de oxigénio. A dimensão da passadeira passa também a atuar como condicionante, existindo inevitavelmente um limite para a variação da frequência e amplitude do passo (Osaki et al., 2008; Parvataneni et al., 2009; Terrier & Dériaz, 2011). Não foram encontrados estudos que tenham abordado a sincronização com pistas auditivas de forma espontânea ou não intencional, pelo que é importante clarificar o papel da instrução na sincronização com pistas auditivas.

Assim sendo o objetivo do presente estudo é avaliar o impacto que a pista auditiva tem na frequência da passada em contexto de passadeira rolante. Para isso será analisado o efeito de diferentes pistas, que variam em frequência, na marcha em passadeira rolante. Espera-se que os participantes sincronizem a frequência da passada com a pista auditiva imposta, independentemente da velocidade da passadeira. A fim de averiguar se esta sincronização ocorre de forma espontânea ou se está dependente da intencionalidade, será comparado o desempenho de participantes a quem é dada instrução explícita para sincronizar com a pista auditiva, com o desempenho dos participantes a quem é solicitado para apenas andar. Serão usados dois tipos de pistas auditivas: som de passos, por se tratar do feedback auditivo natural associado à marcha; música, pelo forte impacto que o ritmo musical tem sobre o movimento do corpo e por ser um ritmo mais ambíguo, devido à sua estrutura métrica, que o som de passos. A comparação destes dois tipos de pistas permite avaliar qual delas é mais eficaz na sincronização da marcha. Pretende-se ainda explorar se, após a apresentação de uma pista auditiva, o participante retoma rapidamente a sua frequência de passada de conforto.

Finalmente procura-se avaliar o grau de sincronização alcançado nas diferentes condições experimentais. Com esta análise pretende-se descrever em que medida os

participantes conseguem adotar a 100% a frequência das pistas como a sua frequência de passada.

MÉTODOS

No que se refere ao desenho de estudo, este trata-se de um estudo experimental tendo em conta que há manipulação das variáveis em estudo, distribuição aleatória dos participantes pelos grupos e aleatorização da ordem de apresentação das pistas auditivas.

Amostra

A amostra é constituída por estudantes da Universidade do Minho. Foi determinada por conveniência, sendo composta por 3 homens e 6 mulheres, com idades compreendidas entre os 21 e 35 anos ($\bar{X} \pm DP = 25 \pm 4,47^1$). No que se refere às características antropométricas dos participantes a altura varia entre 1,54m e 1,78m ($\bar{X} = 1,67 \pm 0,85$). Os participantes apresentavam padrões de marcha e acuidade auditiva normais.

Instrumentos

Os sons de passos foram produzidos em Matlab^{®2}, a partir de um ficheiro de som de passos em chão de madeira; a música usada foi composta no programa Cool Edit Pro³ e modificada através do programa BPM Studio 4 Profi. Este programa possui funções básicas como edição, afinação, contador de BPM e funções especiais como gravação em tempo real das versões mixe criadas.

A aquisição do movimento foi obtida através do sistema *Motion Capture Vicon*^{®4} MX F20 constituído por seis câmaras, tendo sido efetuada a uma amostragem de 240Hz.

¹ Forma escolhida para indicar a média e respetivo desvio padrão ao longo do trabalho.

² Matlab (MATrix LABoratory) constitui uma linguagem de programação vocacionada para o cálculo matemático. Integra análise numérica, cálculo com matrizes, processamento de sinais e construção de gráficos em ambiente fácil de usar, com a particularidade de serem escritos matematicamente de acordo com a conveniência e necessidade do investigador.

³ Programa de edição de áudio digital que permite cortar, colar e recortar arquivos de áudio permitindo ainda combiná-los com efeitos sonoros especiais para criar a faixa de áudio desejada.

⁴ O sistema Vicon MX permite captar e analisar as componentes do movimento. É constituído por seis câmaras, o módulo de hardware de controlo, o software para analisar e apresentar os dados, e o computador para executar o software.

A introdução das pistas auditivas e a velocidade da passadeira rolante foram controladas através de um cluster de três computadores. A análise das aquisições foi feita a partir de dois algoritmos criados em Matlab com os quais se obtiveram os valores de frequência e amplitude da passada de cada experiência. Os algoritmos foram criados por dois investigadores da Universidade do Minho: Corália Barbosa e Marco Oliveira.

O primeiro algoritmo forneceu dados absolutos relativos ao tempo total de cada situação experimental, enquanto o segundo permitiu analisar períodos de cinco segundos de marcha.

A análise dos resultados foi feita a partir do SPSS (versão 19) e do Origin Pro 8.1.

A análise da distribuição das variáveis através do teste de Shapiro-Wilk não levou à rejeição da hipótese de normalidade em nenhum dos casos analisados. O nível de significância considerado nos testes estatísticos foi de $\alpha = 0,05$.

Recorreu-se à estatística descritiva para a apresentação dos resultados bem como à ANOVA fatorial mista para apurar se existia efeito da interação entre as variáveis experimentais (velocidade, o tipo de pistas, o valor das pistas e a instrução) na frequência da passada. Para analisar a relação entre frequência e amplitude da passada, para cada velocidade em estudo, optou-se pelo coeficiente de correlação de Pearson. Este coeficiente de correlação foi usado ainda para caracterizar a sincronização com a pista auditiva em função da instrução que os participantes receberam. Por último usou-se o Teste t para amostras independentes, para avaliar possíveis diferenças na altura da perna dos participantes de cada grupo.

Procedimentos

Os participantes deste estudo foram submetidos a três condições de marcha em passadeira rolante; (1) marcha sem pista auditiva, que funcionou como situação controlo (2) marcha com pista auditiva de som de passos e (3) marcha com pista auditiva de música. Cada condição foi realizada com, pelo menos, um dia de intervalo, devido a um critério de disponibilidade dos participantes. Não foi feito o balanceamento das condições experimentais por duas razões: a situação controlo realizou-se sempre em primeiro lugar porque era a partir desta condição que se elaboravam os estímulos auditivos. Entre a condição de som de passo e de música não se procedeu ao

balanceamento por se considerar que as diferenças entre os estímulos não iriam originar transferência de aprendizagem.

Foi explicado aos participantes que a passadeira rolante não possuía apoio para as mãos e que, para garantir a sua segurança, seriam ligados por um arnês a um cabo de segurança, suspenso do teto. Foram, ainda, instruídos a usar sapatilhas e calças justas para não interferir na captação do sinal dos marcadores.

Os sapatos de velcro foram ajustados ao pé do participante e procedeu-se à colocação dos marcadores ao nível do maléolo externo da tibia, do calcâneo e dos dedos de ambos os pés. A primeira condição incluiu quatro aquisições de marcha com a duração de 120s cada, para as velocidades de 1,0; 1,2; 1,4 e 1,6 m/s. As aquisições de dados tiveram início após um período de 15s de adaptação à velocidade em questão, sendo feitas sempre por ordem crescente de velocidade. Os participantes eram sempre avisados previamente, pelo instrutor, acerca da alteração da velocidade. Foi a partir dos valores de frequência da passada obtidos nesta condição de controlo que se definiram os estímulos usados nas condições seguintes.

Constituíram-se dois grupos de participantes de acordo com o tipo de instrução fornecida na segunda e terceira condição de marcha. Desta feita, os participantes do grupo I (com instrução) receberam instruções para sincronizar a passada com as pistas auditivas apresentadas; ao grupo II (sem instrução) foi dito apenas para caminharem como haviam feito na condição anterior (isto é, na condição de controlo).

A segunda condição incluiu 20 aquisições com a duração de 145 segundos cada (15s sem pista auditiva e 120s com pista auditiva). O início da aquisição do período de 15 segundos sem pista, foi medido através de um cronómetro.

Efetuuou-se um intervalo de 15 minutos após 10 aquisições, no entanto o participante tinha liberdade para solicitar a interrupção da aquisição a qualquer momento. Para cada velocidade foram apresentas cinco pistas auditivas de som de passos, que correspondiam a variações da frequência da passada obtida na primeira condição (pista igual à frequência da passada sem pista auditiva, ± 5 e 10% da frequência da passada sem pista auditiva). Procedeu-se à aleatorização da ordem pela qual as velocidades e os respetivos estímulos foram apresentados.

Os procedimentos usados para as aquisições da terceira condição foram em tudo iguais aos acima referidos, variando apenas o tipo de estímulo apresentado, sendo neste caso música em vez de som de passos.

Protocolo Ético

No que concerne à dimensão ética, é importante salientar que a participação dos indivíduos no estudo foi voluntária, na sequência do conhecimento a que tiveram acesso sobre o estudo. Todos os participantes receberam informação prévia limitada sobre o âmbito da investigação, o investigador referiu apenas que se tratava de um estudo sobre as características da marcha. Foi assumido o compromisso da disponibilização dos resultados após a conclusão do estudo. A informação cedida inicialmente acerca dos objetivos específicos do estudo foi limitada para não enviesar os resultados e apurar de forma isenta o papel que a instrução tem na sincronização com pistas auditivas. No final do estudo foi feito um esclarecimento pós-investigação.

RESULTADOS

Os resultados são apresentados de acordo com 6 alíneas; na alínea (1) explora-se a relação entre a frequência e a amplitude da passada em cada velocidade analisada. Na alínea (2) analisam-se as características temporais da marcha nomeadamente o efeito da velocidade, do valor e do tipo de pista sobre a frequência da passada. Os efeitos de interação de segunda e terceira ordem são explorados em função do grupo, ou seja do tipo de instrução que é dado. Na alínea (3) apresenta-se a caracterização da amplitude da passada com base no efeito de interação com as variáveis experimentais. Na alínea (4) compara-se a frequência da passada antes da introdução da pista auditiva com a frequência da passada da situação controlo. São analisados os efeitos da velocidade e do tipo de pista sobre a frequência da passada, em função do grupo. Na alínea (5) descreve-se a sincronização da marcha de acordo como o tipo de pista auditiva, em função do grupo. Por último na alínea (6) descreve-se a distribuição da frequência da passada ao longo do tempo, exemplificando com a ilustração da distribuição da frequência da passada, de participantes de grupos diferentes, para a mesma situação experimental.

Relação entre a Frequência e Amplitude da passada, sem Pista Auditiva, em cada Velocidade Analisada.

De acordo com a Tabela 1 existe uma correlação, estatisticamente significativa, entre a frequência e a amplitude da passada em todas as velocidades analisadas. Observa-se uma correlação forte e negativa, o que sugere que as duas variáveis evoluem em sentidos opostos, ou seja, para cada velocidade da passadeira rolante um aumento da frequência da passada está associado a uma diminuição da sua amplitude.

Tabela 1

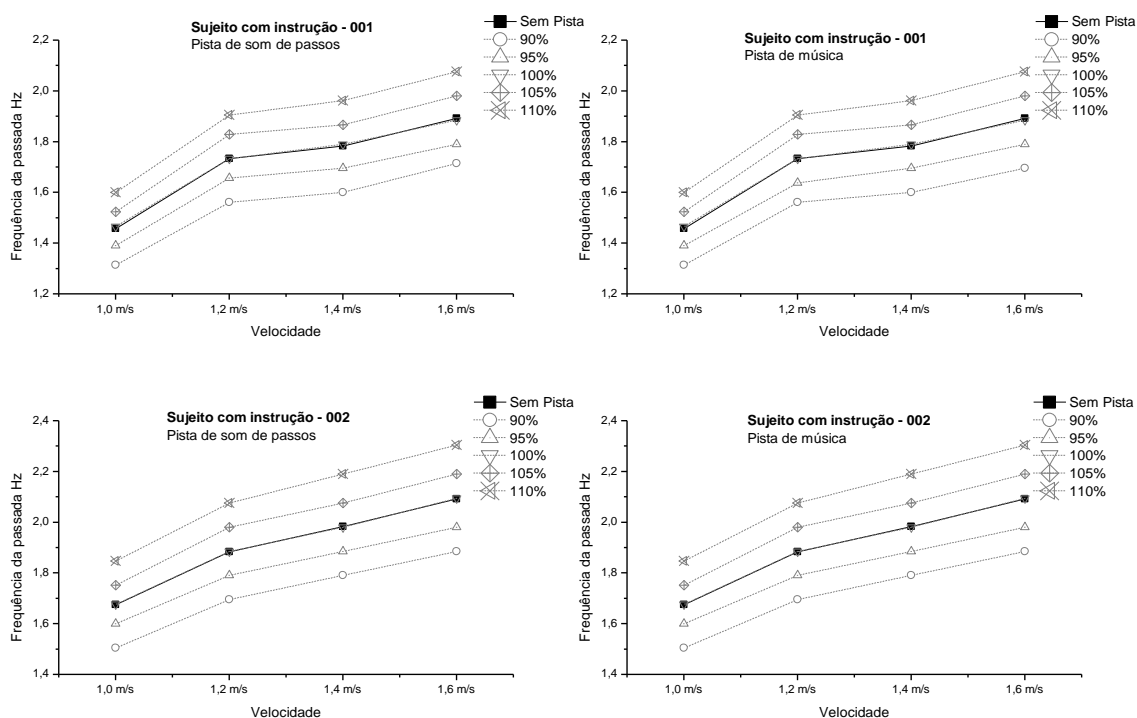
Relação entre a Frequência e a Amplitude da Passada sem Pista Auditiva. (Coeficiente de correlação de Pearson (CCP); N=9)

	CCP
Frequência vs amplitude da passada para a velocidade 1,0 m/s	-,975*
Frequência vs amplitude da passada para a velocidade 1,2 m/s	-,941*
Frequência vs amplitude da passada para a velocidade 1,4 m/s	-,945*
Frequência vs amplitude da passada para a velocidade 1,6 m/s	-,929*

Nota: * $p < ,001$.

Análise das Características Temporais da Marcha em função da Velocidade, valor e Tipo da Pista Auditiva Apresentada.

Uma análise, com base nos gráficos da Figura 3 e 4, sugere semelhanças entre o desempenho dos participantes do grupo com instrução; aparentemente a frequência da passada aumenta de forma linear em função da velocidade. Quando se comparam os gráficos da frequência da passada com pistas de som de passos com os de música não parecem existir diferenças entre o tipo de pistas. No que se refere ao valor da pista auditiva, pode-se observar a sobreposição entre os valores da frequência da passada para a situação controlo e para a pista de 100%, observa-se também a dispersão dos valores da frequência da passada para as restantes pistas auditivas (pista de 90, 95, 105 e 110%).



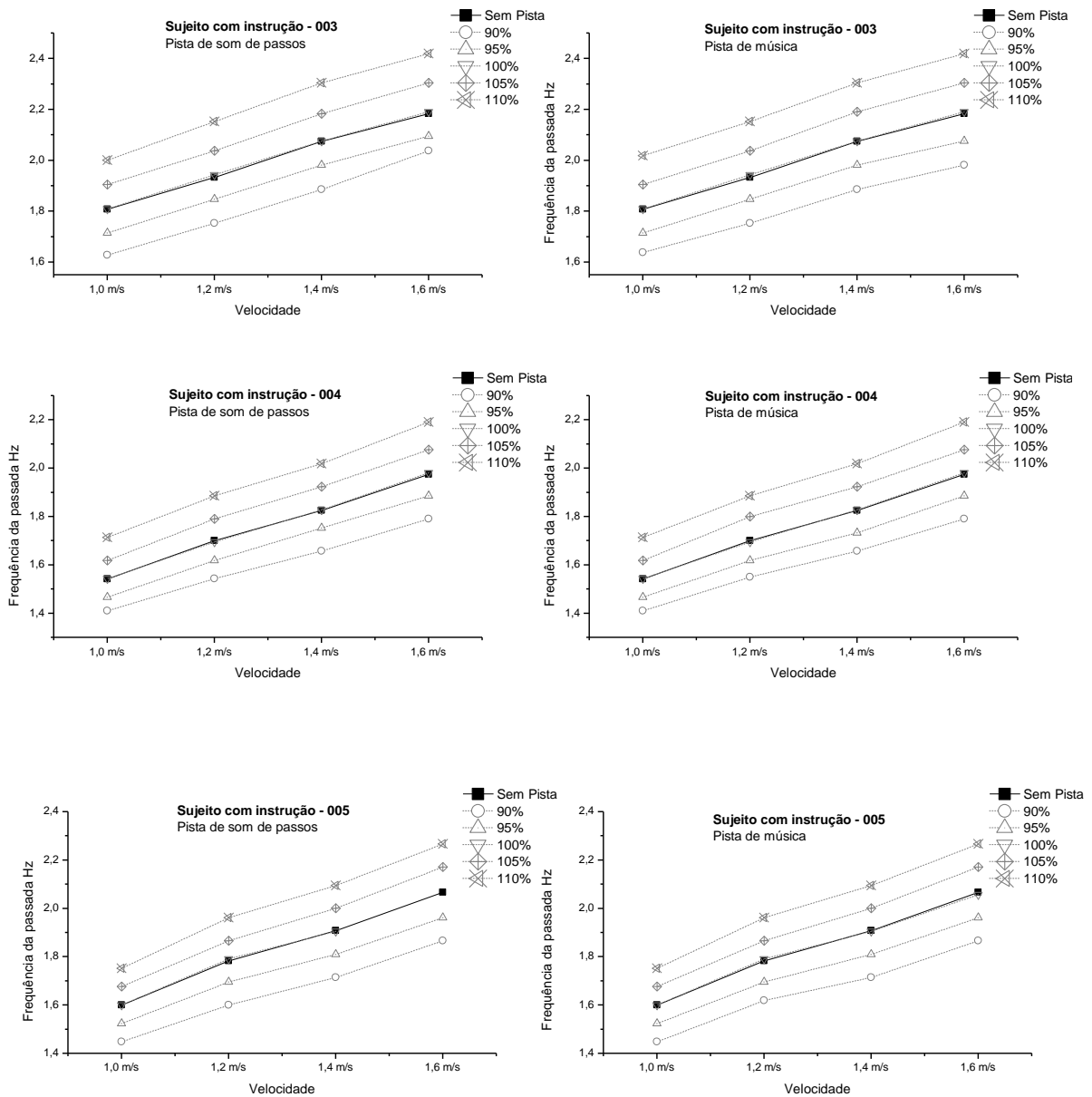
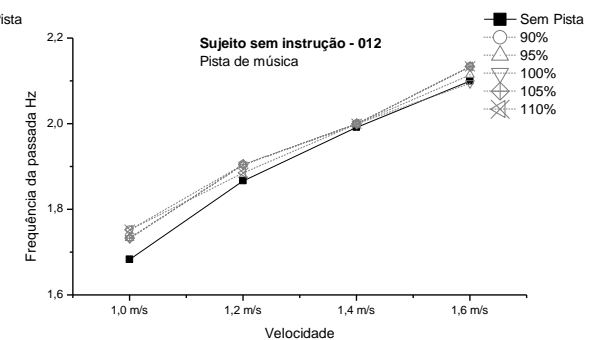
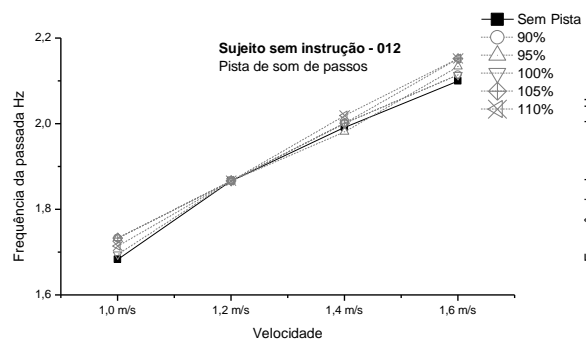
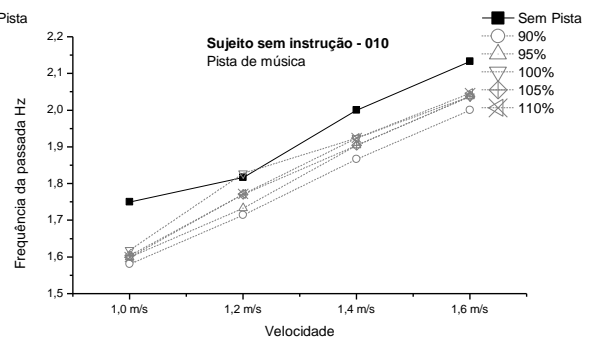
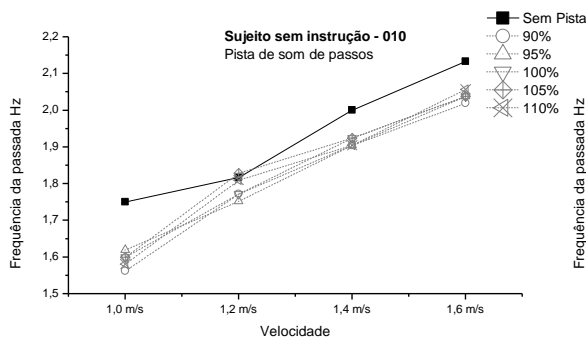


Figura 3. Caracterização da frequência da passada sem pista auditiva, com pista de som de passos e de música para cada participante do grupo com instrução, em função da velocidade (N= 5) (cada pista auditiva corresponde a 90, 95, 100, 105 e 110% da frequência da passada da situação controlo, isto é, sem pista auditiva).

O desempenho dos participantes que constituem o grupo sem instrução é apresentado na Figura 4. Também neste grupo a frequência da passada parece aumentar de forma linear em função da velocidade da passadeira rolante e não parecem existir diferenças entre a frequência da passada com pista de som de passos e com música. No entanto, os participantes do grupo sem instrução aparentam um desempenho diferente, comparativamente ao grupo com instrução, perante as várias pistas auditivas. De forma geral a frequência da passada dos participantes sem instrução, não se afasta da

frequência da passada da situação controlo. É importante referir alguns casos particulares, como o caso do participante 10: embora as frequências da passada das diferentes situações experimentais sejam semelhantes entre si, parecem dispersar-se da frequência da passada da situação controlo, nas velocidades de 1,0 m/s, 1,4 m/s e 1,6 m/s. O mesmo acontece com o participante 14 no que se refere às situações experimentais para as velocidades de 1,4 e 1,6 m/s e no participante 15 nas velocidades de 1,0 e 1,2 m/s.



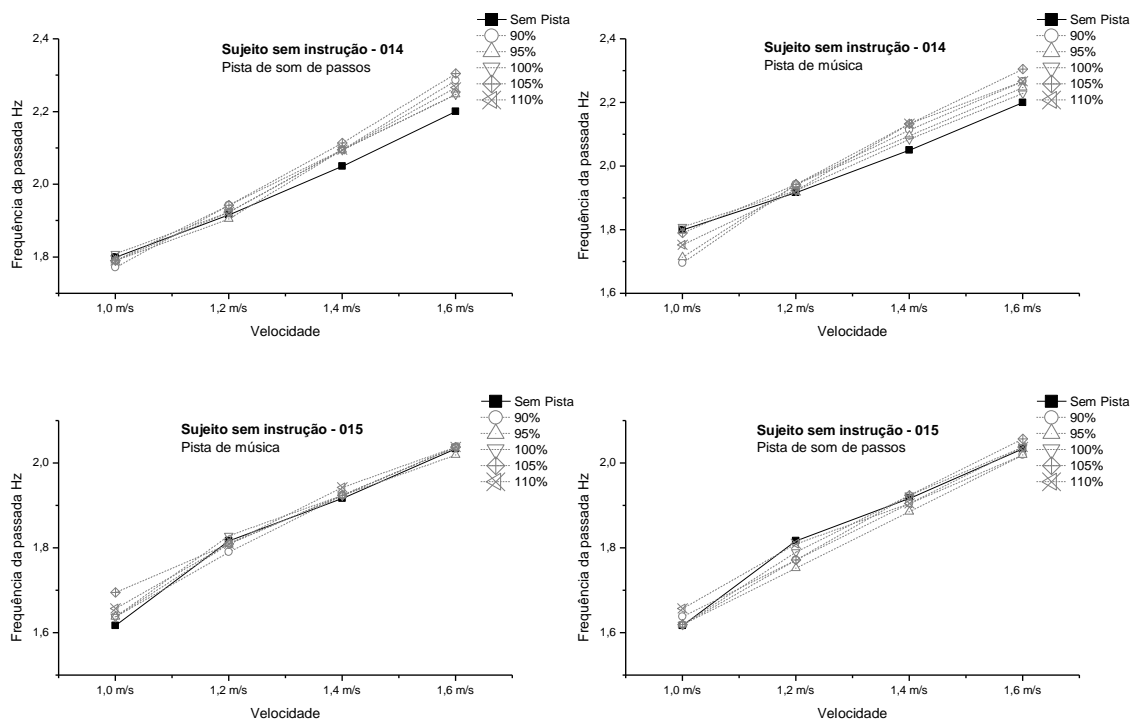


Figura 4. Caracterização da frequência da passada sem pista auditiva, com pista de som de passos e de música para cada participante do grupo sem instrução, em função da velocidade (N= 4) (cada pista auditiva corresponde a 90, 95, 100, 105 e 110% da frequência da passada da situação controlo, isto é, sem pista auditiva).

Na análise estatística recorreu-se à ANOVA mista, que permitiu estudar o efeito de interação entre as variáveis experimentais; velocidade, valor e tipo de pista sobre a frequência da passada (variável dependente). Verifica-se assim, um efeito da velocidade da passadeira sobre a frequência da passada $F_{(3,21)}=402,191$, $p =0,001$, $\varepsilon=0,655^5$, $\text{partial } \eta^2=0,983$], que não é afetado pela existência de instrução [interação velocidade x instrução: $F_{(3,21)}=0,764$, $p =0,482$, $\varepsilon=0,655$, $\text{partial } \eta^2=0,098$]. De uma forma geral, a frequência da passada aumenta linearmente em função da velocidade da passadeira, tanto para o grupo com instrução como para o grupo sem instrução. Os participantes do grupo com instrução apresentam, contudo, valores de frequência da passada superiores para todas as velocidades analisadas.

⁵ Representa o Epsilon – Greenhouse-Geisser, ou seja, é o fator de correção para os graus de liberdade de acordo com o teste de Greenhouse-Geisser. Lê-se na tabela do teste de esfericidade.

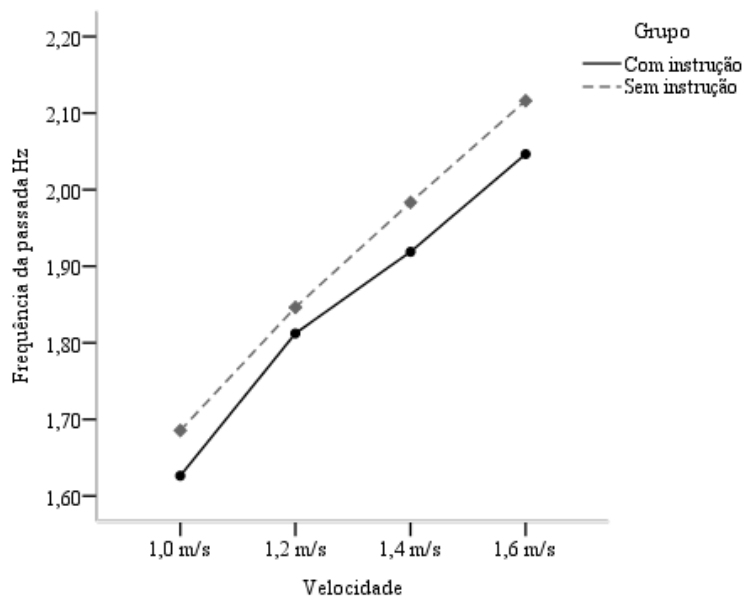


Figura 5. Efeito de interação entre a velocidade da passadeira rolante e a instrução. Verifica-se um efeito da velocidade sobre a frequência da passada, que não é afetado pela instrução.

Também se observa um efeito do valor das pistas [$F_{(4,28)}=456,393$, $p=0,001$, $\epsilon=0,512$, partial $\eta^2=0,985$]: de uma forma geral, a frequência da passada aumenta linearmente com o valor da pista auditiva. No entanto, este efeito depende fortemente da instrução [interação valor da pista x instrução: $F_{(4,28)}=369,234$, $p=0,001$, $\epsilon=0,512$, partial $\eta^2=0,981$]. Enquanto os participantes do grupo com instrução apresentam valores de frequência da passada diferentes, de acordo com a pista auditiva, os participantes do grupo sem instrução assumem valores da frequência da passada semelhantes nas diferentes situações experimentais de pista auditiva.

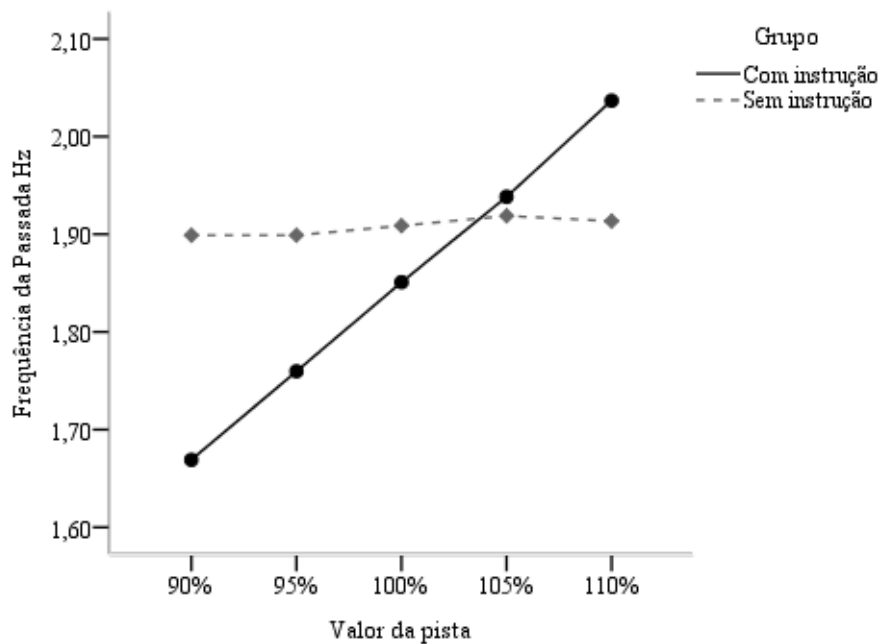


Figura 6. Efeito de interação entre a instrução e o valor da pista auditiva, sobre a frequência da passada. O efeito geral da pista auditiva é condicionado fortemente pela presença de instrução.

É de referir ainda que o efeito da pista auditiva na frequência da passada parece também ser influenciado pela velocidade da passadeira, [interação valor da pista x instrução x velocidade: $F_{(12,84)}=3,607$, $p=0,036$, $\xi=0,225$, $\text{partial } \eta^2=0,340$]. Para compreender este efeito de interação de terceira ordem, analisou-se separadamente a interação velocidade x valor da pista para cada um dos grupos. Essa interação não foi significativa no grupo sem instrução [$F_{(12,36)}=0,633$, $p=0,800$, $\xi=0,166$, $\text{partial } \eta^2=0,174$], mas foi no grupo com instrução [$F_{(12,48)}=11,709$, $p=0,001$, $\xi=0,490$, $\text{partial } \eta^2=0,997$]. Realizaram-se então quatro ANOVA unifatoriais, com o objetivo de averiguar a origem da interação entre o valor das pistas e a velocidade observada neste grupo, com instrução. Da comparação entre a frequência média da passada, originada pelas cinco pistas, para cada velocidade, resultou que o valor das pistas induzia menor diferenciação na frequência da passada quando a velocidade era baixa, [velocidade 1,0 m/s: $F_{(4,16)}=152,784$, $p=0,001$, $\xi=0,350$, $\text{partial } \eta^2=0,974$] de que quando a velocidade era alta [velocidade 1,6 m/s: $F_{(4,16)}=1540,870$, $p=0,001$, $\xi=0,490$, $\text{partial } \eta^2=0,997$].

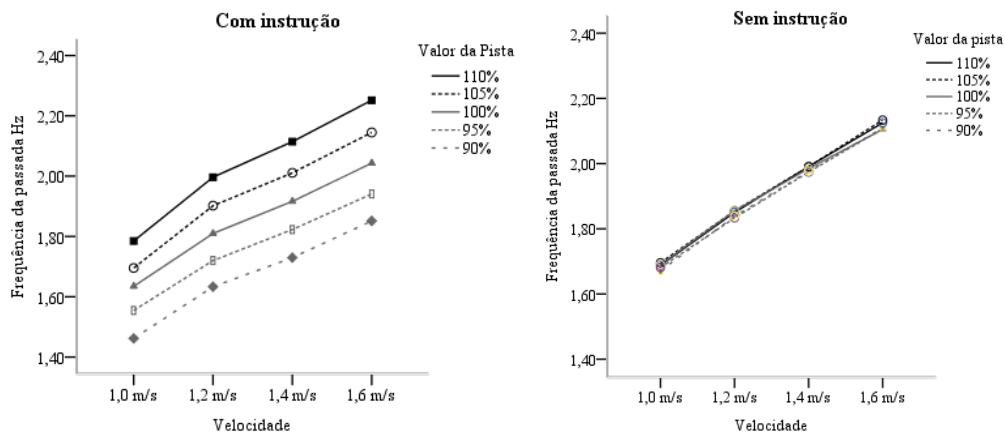


Figura 7. Efeito de interação entre a velocidade da passadeira rolante e o valor da pista auditiva (pista de 90, 95, 100, 105 e 110%) para cada grupo. Apenas o grupo com instrução altera a frequência da passada em função do valor da pista auditiva.

O efeito do tipo de pista sobre a frequência da passada não é significativo [$F_{(1,7)}=0,869$, $p=0,382$, $\xi=1,00$, $\text{partial } \eta^2=0,110$], sem sofrer o efeito da instrução [interação tipo de pista x instrução: $F_{(1,7)}=0,048$, $p=0,833$, $\xi=1,00$, $\text{partial } \eta^2=0,007$]. De resto, este fato não afeta nenhuma das interações anteriormente referidas. Ou seja o desempenho de cada grupo é semelhante na condição de som de passos e de música.

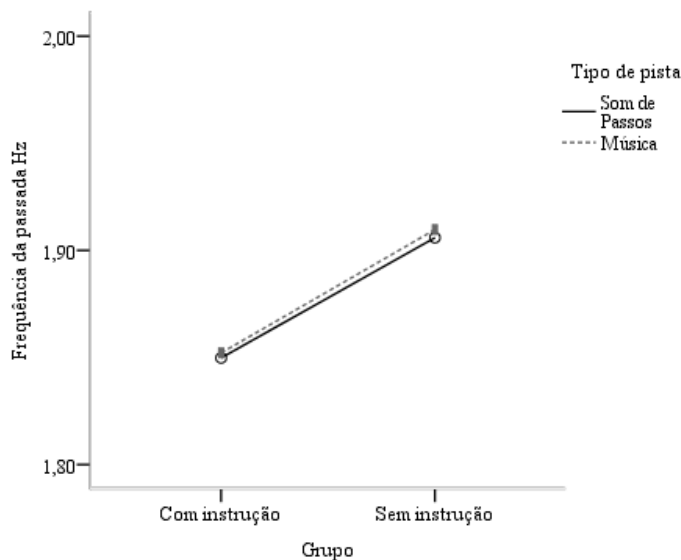


Figura 8. Efeito de interação entre o tipo de pista e a instrução. Não se observaram diferenças entre a frequência média da passada com pista de som de passos e a frequência média da passada com pista de música, tanto para o grupo com instrução, como para o grupo sem instrução.

Análise das Características Espaciais da Marcha em Função da Velocidade, Valor e do Tipo de Pista Apresentada.

Na primeira alínea dos resultados observou-se uma correlação forte e de sinal negativo entre a frequência e a amplitude da passada em cada uma das velocidades analisadas. Para compreender a associação entre a frequência e a amplitude da passada em função do aumento da velocidade recorreu-se ao do coeficiente de correlação de Pearson, que mostra uma correlação positiva e muito forte ($r=0,997$, $gl=2$, $p=0,003$), ou seja a um aumento da velocidade está associado um aumento linear da frequência e amplitude da passada.

Através da ANOVA observa-se um efeito da velocidade [$F_{(3,21)}=267,056$, $p=0,001$, $\xi=0,541$, $\text{partial } \eta^2=0,974$], que não é afetado pela existência de instrução [interação velocidade x instrução: $F_{(3,21)}=0,752$, $p=0,533$, $\xi=0,541$, $\text{partial } \eta^2=0,097$]. De uma forma geral, a amplitude da passada aumenta linearmente em função da velocidade da passadeira, tanto para o grupo com instrução como para o grupo sem instrução.

Para compreender a diferença dos valores de amplitude da passada entre os grupos analisou-se o tamanho da perna dos participantes através de um teste t para amostras independentes. Este teste mostrou que não existem diferenças estatisticamente significativas entre os grupos, no que se refere ao tamanho das pernas dos participantes ($t = 2,026$, $gl=7$, $p=0,082$). No entanto, os participante do grupo com instrução têm pernas mais altas ($\bar{X} = 980,20 \pm 37,93$) do que os participantes do grupo sem instrução ($\bar{X} = 923,75 \pm 45,89$). Esta diferença pode estar relacionada com o fato dos participantes do grupo com instrução apresentarem valores de amplitude de passada superiores para todas as velocidades analisadas.

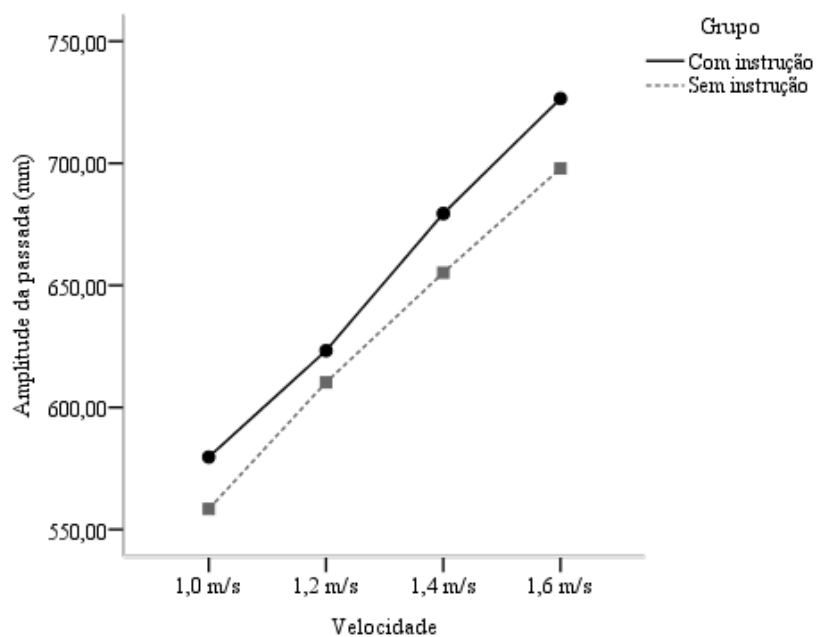


Figura 9. Efeito de interação entre a interação e a velocidade da passadeira rolante sobre a amplitude da passada. Observou-se um aumento linear da amplitude da passada em função da velocidade que não é afetado pela instrução.

Observa-se também um efeito do valor das pistas, [$F_{(4,28)}=463,790$, $p=0,001$, $\epsilon=0,497$, $\eta^2=0,985$] de uma forma geral, a amplitude da passada aumenta linearmente com o valor da pista auditiva. No entanto, este efeito depende fortemente da instrução [interação valor da pista x instrução: $F_{(4,28)}=372,462$, $p=0,001$, $\epsilon=0,497$, $\eta^2=0,982$]. Enquanto os participantes do grupo com instrução apresentam valores de amplitude da passada diferentes, de acordo com a pista auditiva, os participantes do grupo sem instrução assumem frequências da passada semelhantes para todas as pistas auditivas.

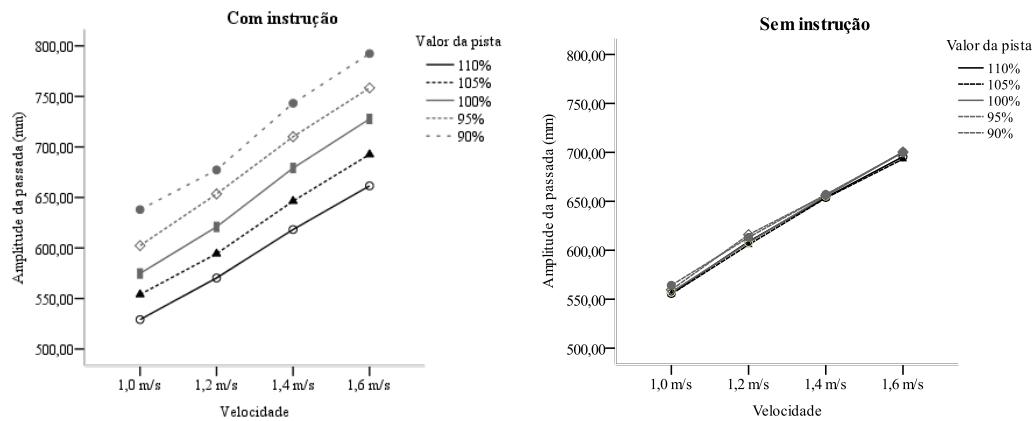


Figura 10. Efeito de interação entre a velocidade e o valor da pista sobre a amplitude da passada, para cada grupo. Verificou-se que apenas o grupo com instrução altera a amplitude da passada em função do valor da pista auditiva.

O efeito do tipo de pista sobre a amplitude da passada não é significativo [$F_{(1,7)}=0,007$, $p=0,934$, $\varepsilon=1,00$, $\text{parcial } \eta^2=0,001$], sem sofrer o efeito da instrução [interação tipo de pista x instrução: $F_{(1,7)}=0,382$, $p=0,556$, $\varepsilon=1,00$, $\text{parcial } \eta^2=0,052$]. Isto significa que, tal como no caso da frequência da passada, o desempenho de cada grupo não sofre alterações perante diferentes tipos de pistas auditivas.

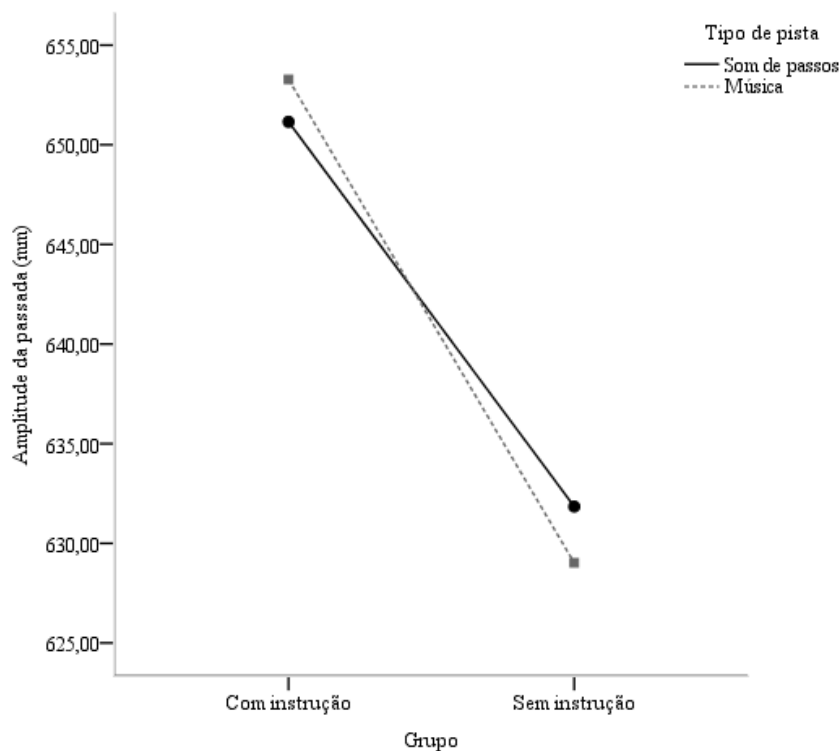


Figura 11. Efeito de interação entre o tipo de pista auditiva e a instrução sobre a amplitude da passada. Verificou-se que a amplitude da passada do grupo com instrução e do grupo sem instrução foi semelhante para os dois tipos de pistas: som de passos e música.

Comparação entre a Frequência da Passada antes da Introdução de cada Pista Auditiva e a Frequência de passada da situação Controlo.

Como é referido no protocolo experimental, procedeu-se à aquisição dos dados da frequência da passada no período de 15 segundos que antecede a introdução de cada pista auditiva. A comparação da frequência média da passada, sem pista auditiva, entre as três condições experimentais, (controlo, pista auditiva de passos e de música) é feita em função da velocidade e do tipo de pistas. Observa-se assim um efeito geral da velocidade da passadeira rolante sobre a frequência da passada sem pista auditiva [$F_{(3,21)}=882,645, p=0,001, \xi=0,797, \text{partial } \eta^2=0,992$], que não é afetado pela instrução [interação velocidade x instrução: $F_{(3,21)} p=0,161, \xi=1,00, \text{partial } \eta^2=0,222$], nem pela condição de pista auditiva [interação velocidade x condição de pista auditiva: $F_{(6,42)}=0,692 p=0,571, \xi=0,517, \text{partial } \eta^2=0,090$]. Para compreender melhor o efeito de interação entre a velocidade da passadeira e a condição de pista auditiva sobre a frequência da passada, analisou-se separadamente a interação velocidade x condição de pista auditiva para cada um dos grupos. A interação não foi significativa no grupo com instrução [$F_{(6,24)}=1,289, p=0,321, \xi=0,544, \text{partial } \eta^2=0,244$], nem no grupo sem instrução [$F_{(6,18)}=0,396, p=0,678, \xi=0,313, \text{partial } \eta^2=0,117$]. Isto significa que a frequência da passada aumenta de forma linear em função da velocidade da passadeira quer para o grupo com instrução, quer para o sem instrução e que assume valores semelhantes para as diferentes condições de marcha (controlo, com som de passos e música).

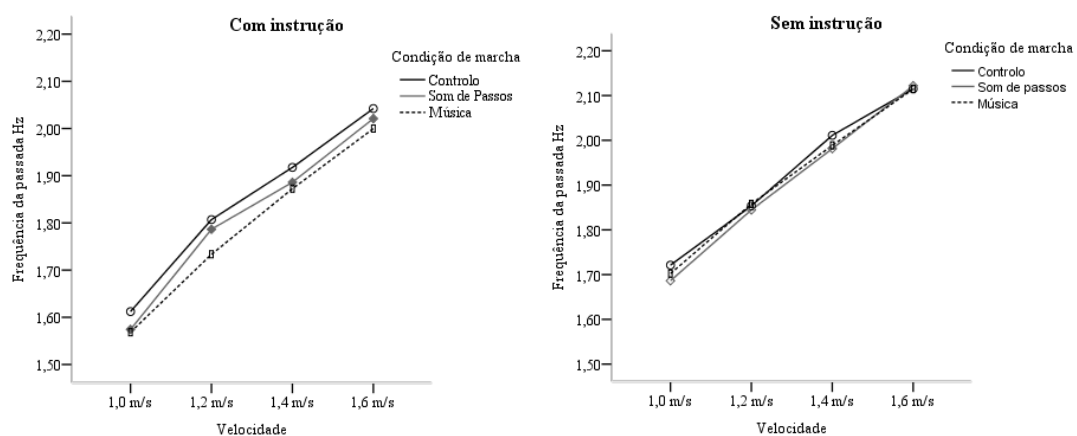


Figura 12. Efeito de interação entre as condições de marcha, sem pista, e a velocidade, sobre a frequência da passada para cada grupo. Observou-se um aumento da linear da frequência da passada em função da velocidade. Observou-se um efeito da velocidade mas assume valores semelhantes para as três condições de marcha sem pista.

É de referir que o efeito de interação entre a condição de pista auditiva e a instrução sobre a frequência da passada não foi significativo [condição condição de pista auditiva x instrução: $F_{(2,14)}=1,205$, $p=0,315$, $\varepsilon=0,587$, $\text{partial } \eta^2=0,147$], ou seja os valores de frequência da passada sem pista auditiva são semelhantes para as três condições, quer no caso do grupo com instrução, quer no caso do grupo sem instrução. Tal como acontecia durante a apresentação das pistas, a frequência da passada do grupo sem instrução é superior à do grupo com instrução.

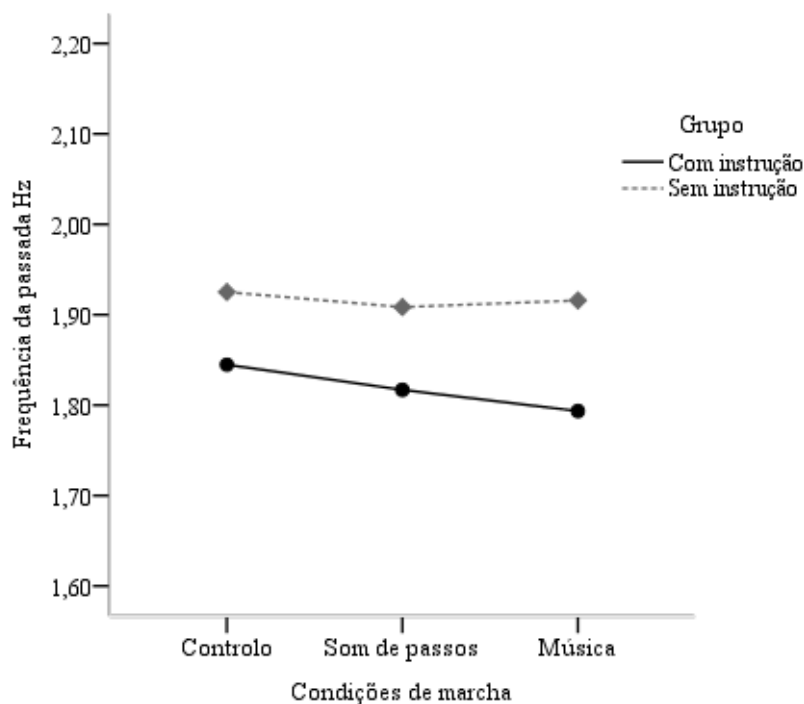


Figura 13. Efeito de interação entre as condições de marcha, sem pista, e a instrução sobre a frequência da passada. Não se observaram diferenças da frequência da passada entre as três condições de marcha, tanto no grupo com instrução, como no grupo sem instrução. No entanto o grupo sem instrução apresenta valores de frequência média da passada mais elevados.

Análise da Sincronização da Frequência da Passada com o Tipo de Pista Auditiva em Função do Grupo.

A análise da frequência da passada da segunda alínea dos resultados mostra um efeito do valor da pista auditiva sobre a frequência da passada. No entanto é importante perceber se os participantes adotam a frequência da pista auditiva como a sua frequência da passada. Para levar a cabo a análise da sincronização da frequência da passada com a pista auditiva calculou-se, para cada situação experimental, a percentagem da frequência

da passada e da respetiva pista auditiva, tendo como base, a frequência da passada do período de 15 segundo que antecede a introdução de cada pista.

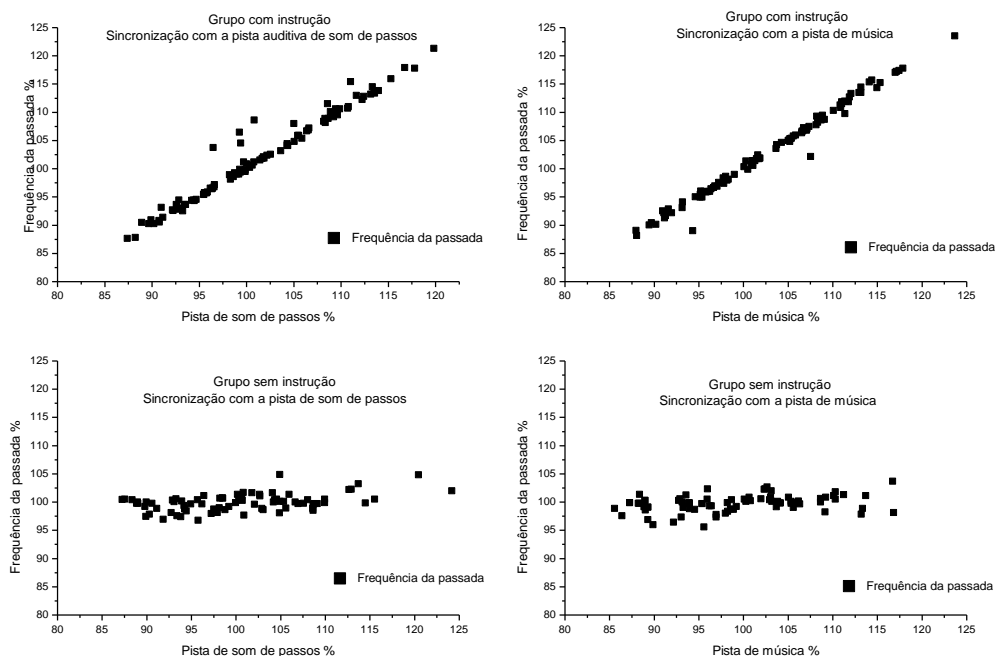


Figura 14. Sincronização da marcha com cada tipo de pista, em função do grupo. Observaram-se valores próximos dos 100% de sincronização com as pistas de som de passos e música, no caso do grupo com instrução. No grupo sem instrução a percentagem de sincronização é desprezível para os dois tipos de pistas.

A associação entre a pista e a frequência da passada foi avaliada através do coeficiente de correlação de Pearson. O grupo com instrução apresenta correlações positivas e muito forte, para a sincronização com a pista de som de passos ($r = 0,982$, $gl = 98^6$, $p < 0,001$) e para a sincronização com pista de música ($r = 0,968$, $gl = 98$, $p < 0,001$). A variância da frequência da passada que é explicada por cada tipo de pista é ligeiramente superior no caso da pista de som de passos (97% e 94% respetivamente). Esta pequena diferença entre o tipo de pista pode dever-se ao desvio padrão da frequência da passada com pista de música ser superior, indicando maior variabilidade da frequência da passada nas pistas de música, como mostra a Tabela 11.

⁶ Consideraram os dados brutos de todas as situações experimentais para explorar em maior detalhe a correlação entre cada frequência da pista auditiva e respetiva frequência da passada.

O grupo sem instrução mostra uma correlação positiva e fraca, para a sincronização com a pista de som de passos ($r = 0,439$, $gl = 78$, $p < 0,001$) e para a sincronização com a pista de música ($r = 0,334$, $gl = 78$, $p < 0,001$). A variância da frequência da passada explicada pela pista é negligenciável, tanto para a pista de som de passos como para a pista de música. Isto significa que em 81% das situações, no caso da pista de som de passos e 89% das situações, no caso da pista de música, os participantes não sincronizam a frequência da passada com a frequência da pista auditiva.

Distribuição da Frequência da Passada ao Longo do Tempo de cada Situação Experimental.

Nesta última alínea pretende-se descrever a distribuição da frequência da passada ao longo do tempo. Para tal dividiu-se o tempo de cada situação experimental com pista auditiva, (90s) por períodos de cinco segundos e calculou-se a frequência da passada para cada um deles. Por último calculou-se a MODA da frequência da passada para cada situação experimental de pista auditiva e o número de períodos associados à MODA. Estes cálculos permitem descrever qual o valor da frequência da passada que os participantes mantêm mais tempo durante cada situação experimental de pista auditiva. De forma geral o grupo com instrução mantém a frequência da passada associada à MODA por um intervalo de tempo que varia entre 9 e 18 períodos, ou seja mais de metade do tempo da situação experimental. O grupo sem instrução apresenta um intervalo de tempo mais alargado, entre 6 e 18 períodos. Como mostra a Tabela 2 o tempo médio, que o grupo sem instrução mantém a frequência, associada à MODA, para cada pista auditiva é menor que o tempo médio do grupo com instrução. Esta diferença associada ao fato do desvio padrão no grupo sem instrução ser superior, poderá indicar que existe maior variabilidade do desempenho dos participantes do grupo sem instrução em cada situação experimental de pista auditiva.

Tabela 2

Distribuição da Frequência da Passada, do Grupo com Instrução, ao Longo das Situações Experimentais de Pista Auditiva.

Tempo em intervalos 5s cada	Grupo com instrução									
	Pista de som de passos					Pista de música				
	90%	95%	100%	105%	110%	90%	95%	100%	105%	110%
Média	12,45	12,75	13,00	13,65	12,9	12,7	12,7	13,75	14,55	12,75
DP	2,68	2,17	2,67	2,56	3,01	2,75	2,49	2,38	2,72	2,95
Mínimo	9	9	9	9	8	9	8	10	9	6
Máximo	17	16	18	18	18	18	17	18	18	17

Tabela 3

Distribuição da Frequência da Passada, do Grupo sem Instrução, ao Longo das Situações Experimentais de Pista Auditiva.

Tempo em intervalos 5s cada	Grupo sem instrução									
	Pista de som de passos					Pista de música				
	90%	95%	100%	105%	110%	90%	95%	100%	105%	110%
Média	12,13	12,38	11,25	11,31	12,94	12,3	12,44	11,13	11,94	12,38
DP	3,24	2,00	1,98	3,24	3,02	3,24	3,37	2,42	3,11	2,13
Mínimo	7	9	8	6	7	7	7	8	8	9
Máximo	18	16	15	18	18	18	18	16	18	17

Para se compreender melhor a questão da distribuição da frequência da passada ao longo do tempo é apresentada, a título de exemplo, a distribuição da frequência da passada, de um participante de cada grupo, para a situação experimental de pistas 110% na velocidade de 1,4 m/s.

No caso do participante com instrução o valor da frequência da passada distribuiu-se em torno do valor da pista auditiva. Como se pode observar na Figura 15 existem oscilações dos valores da frequência da passada: por vezes assume valores ligeiramente superiores ao da pista auditiva e vice-versa. Neste caso o valor da MODA é superior ao da pista auditiva e é assumido ao longo de 9 períodos de 5 segundos.

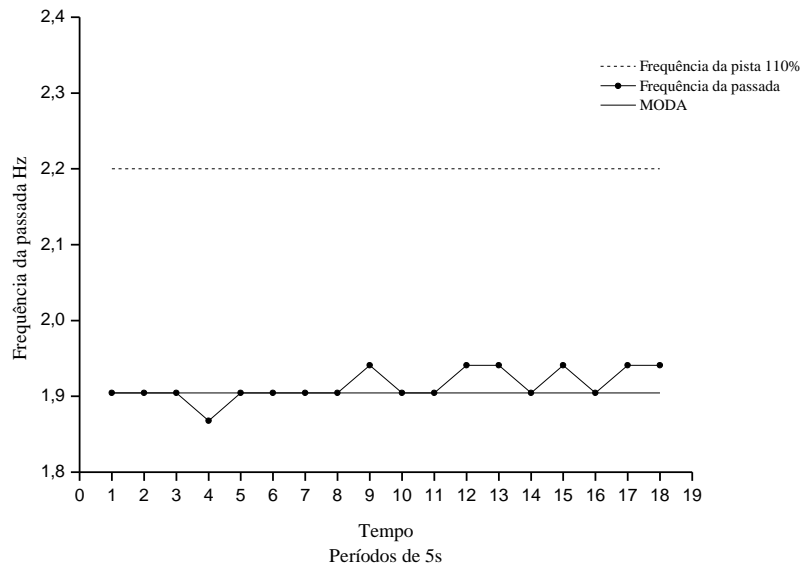


Figura 15. Exemplo da distribuição da frequência da passada, com a pista 110%, para a velocidade de 1,4 m/s de um participante com instrução.

No caso do participante sem instrução o valor da frequência da passada está afastado do valor da pista auditiva e também sofre ligeiras variações ao longo do tempo. Neste caso o valor da MODA é bastante inferior ao da pista auditiva e é assumido ao longo de 11 períodos de 5 segundos.

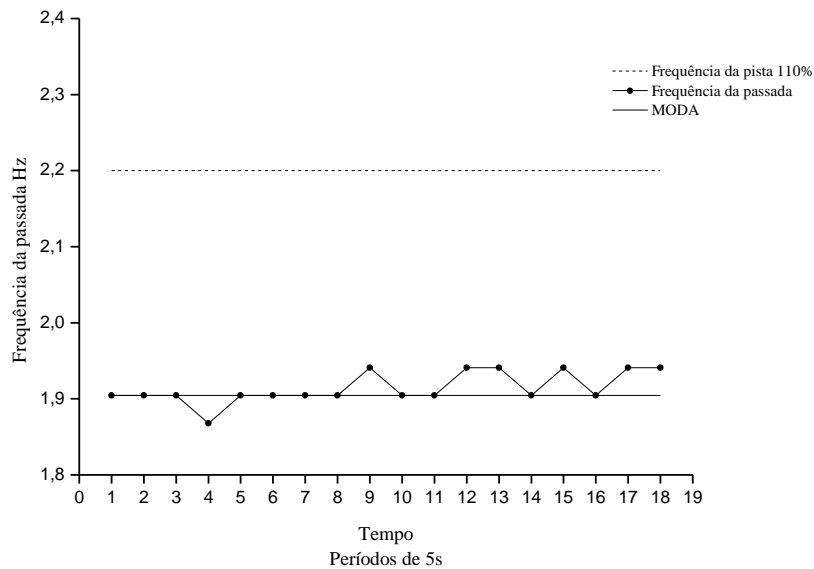


Figura 16. Exemplo da distribuição da frequência da passada, com a pista 110%, para a velocidade de 1,4 m/s de um participante sem instrução,

DISCUSSÃO

O objetivo principal do estudo consistiu em avaliar o impacto que a pista auditiva teve na frequência da passada em contexto de passadeira rolante. Para isso analisou-se o efeito das diferentes variáveis experimentais em estudo (velocidade, frequência da pista, e tipo de pistas).

Neste trabalho observámos um efeito da velocidade sobre a frequência da passada, ou seja a frequência da passada aumentou de forma linear em função do aumento da velocidade. Os nossos resultados foram similares aos resultados encontrados por Lee e Hidler (2008) nas experiências de marcha em contexto natural e indicaram que andar em passadeira rolante é semelhante a andar em contexto natural, do ponto de vista do padrão do movimento (Parvataneni et al., 2009). Identificou-se um efeito geral de interação entre o valor das pistas (90%, 95%, 100%, 10% e 100%) e a frequência da passada. Os resultados do nosso trabalho comprovaram que o condicionamento as pistas auditivas sobre as características temporais da marcha, foi independente da velocidade imposta pela passadeira rolante (Bank et al., 2011; Osaki et al., 2008; Picelli et al., 2010). Terrier e Dériaz (2011) apontaram como possível explicação para esta dualidade, os diferentes focos de condicionalismo; velocidade no caso da passadeira rolante e a frequência da passada no caso da pista auditiva. Sugeriram ainda que o controlo de adaptação da marcha a estímulos externos está diretamente associado ao parâmetro condicionado, sendo neste caso a frequência da passada. O fato das pistas condicionarem a frequência da passada vem reforçar a pertinência do seu uso em contexto de reabilitação com o objetivo de melhorar o padrão da marcha (Rochester et al, 2009). No entanto, o efeito geral do valor das pistas (90%, 95%, 100%, 10% e 100%) sobre a frequência da passada foi fortemente condicionando pela instrução. Este pode ser considerado o resultado mais relevante do nosso estudo. De Bruin e colaboradores (2010) mostraram que a sincronização intencional/forçada produz resultados benéficos na reabilitação motora da marcha, nomeadamente na cadência da marcha, mas nunca foi abordado o papel da instrução na sincronização da marcha com pistas auditivas em contexto de passadeira rolante.

A ausência de intencionalidade pode ser uma explicação plausível, para explicar o efeito das nossas pistas auditivas sobre a frequência da passada, no grupo sem instrução. Por outro lado vários investigadores indicaram que a sincronização não intencional é frequente entre indivíduos que caminham lado a lado, numa situação do quotidiano

(Nessler & Gilliland, 2010; Styns et al., 2007; Zivotofzky & Hausdorff, 2007). Issartel e colaboradores (2007) indicaram que em situação do quotidiano onde existe interacção com outras pessoas, (bater palmas num concerto, sincronizar os movimentos numa aula de aeróbica, ou caminhar lado a lado) surge um fenómeno de adaptação do comportamento motor no sentido da coordenação não intencional com o outro (Styns et al., 2007). Também se verificou sincronização do passo com o interlocutor de uma conversa telefonica. Murray-Smith, e colaboradores (2007) explicaram que a interacção, através da conversa telefónica, permitiu ao interlocutor sincronizar a passada com o ritmo do discurso e da respiração da pessoa com quem se está a falar ao telefone.

Nas situações experimentais do nosso estudo o participante permaneceu sozinho e exposto apenas a ritmos auditivos. Uma explicação possível para o desempenho do grupo sem instrução foi apontada por Large & Jones (1999), e relacionava-se com o fato da atenção tem uma qualidade participativa na percepção do ritmo, ou seja, é necessário existir um foco/alvo de atenção no compasso para este ser interpretado como ritmo (Repp, 2005; Rochester, et al., 2005). Desta forma, a ausência de instrução explícita para sincronizar, pode ter privado os participantes, do foco de atenção no estímulo auditivo. Sem um foco de atenção no compasso tornou-se difícil para o grupo sem instrução interagir com o ritmo no sentido da sincronização.

Apesar de investigadores terem explorado o papel da música na sincronização da marcha (Styns et al., 2007), e o papel do ritmo produzido pelo metrômetro (Bank et al., 2011), não se conhecem estudos que tenham comparado o impacto de ritmos, de natureza diferente, na sincronização da passada. Os nossos resultados do efeito do tipo de pista não foram significativos, o que sugeriu semelhanças da eficácia da pista de som de passos e a pista de música na sincronização da marcha.

Investigámos também a relação entre a frequência e a amplitude da passada sem pista auditiva, separadamente para cada velocidade. Apurou-se que um aumento da frequência estava associado a uma diminuição da amplitude da passada. Estas alterações representam os ajustes que os participantes tiveram de fazer para manterem uma marcha eficaz na passadeira rolante, caso contrário cairiam (Lee & Hidler, 2008). Quando analisámos estas duas variáveis em função da velocidade assistimos a um aumento gradual quer da frequência, quer da amplitude da passada. Pensa-se que o aumento gradual das variáveis se deva aos ajustes produzidos, em função da velocidade e do tamanho da perna dos participantes (Lee & Hidler, 2008; Osaki et al., 2008; van Wegen, et al., 2006).

Foi explorado também, se os participantes retomaram rapidamente a frequência de passada de conforto, após a apresentação de uma pista auditiva. Para tal comparou-se a frequência da passada antes da introdução de cada tipo de pistas, com a frequência da passada da situação controle, em função do grupo. Observámos que não existe um efeito da condição de marcha sobre a frequência da passada. Ou seja apesar da frequência da passada aumenta linearmente em função da velocidade da passadeira, os valores da frequência da passada sem pista auditiva foram semelhantes para as três condições do nosso estudo. Estes resultados foram diferentes dos resultados encontrados por Schellenbach e colaboradores (2010) onde existiu um período de adaptação à passadeira rolante que registou uma duração máxima de quinze minutos. No nosso estudo foi sugerida uma explicação metabólica para o rápido retorno à frequência de conforto. Há semelhança do que Parvataneni e colaboradores (2009) sugeriram, pensa-se que a sincronização com pistas auditivas conduziu ao afastamento da frequência de conforto, para determinada velocidade da passadeira. Este afastamento envolveu esforço motor que acarretou maior consumo de energia, presumindo-se que quanto mais rápido for o retorno à frequência de conforto mais eficaz é a marcha, do ponto de vista metabólico.

Por último avaliámos o grau de sincronização alcançado nas diferentes condições experimentais. Com esta análise tentámos descrever em que medida os participantes conseguiam adotar, a 100%, a frequência das pistas como a sua frequência de passada. Os resultados do grau de sincronização voltam a realçar o papel da instrução, verificando-se um efeito de teto, ou seja, o grupo que recebeu instrução sincronizou a frequência da passada com o ritmo em praticamente todas as situações experimentais e o grupo sem instrução não sincronizou na maioria das situações experimentais. A análise descritiva da distribuição da frequência da passada ao longo da situação experimental revelou que os valores da frequência se distribuíram em torno de um valor médio, localizando-se por vezes acima, ou por vezes abaixo. Observámos também que, os participantes assumem o mesmo valor de frequência da passada durante mais de metade do tempo de cada situação experimental. Os nossos resultados foram similares aos de Zhang e colaboradores (2010). Estes investigadores observaram que os períodos de marcha normalmente mostram uma frequência estável apesar das flutuações irregulares associadas a cada passo.

CONCLUSÃO

O nosso estudo apresenta resultados pertinentes para caracterizar a sincronização com pistas auditivas e conseqüentemente a sua aplicabilidade na área da reabilitação. O resultado que assume maior destaque no nosso trabalho é o papel da instrução sobre o efeito das pistas auditivas na frequência da passada. Os resultados mostram evidência de que a instrução para sincronizar associada à apresentação de pistas auditivas condicionam fortemente a frequência da passada. Este efeito combinado pode ter importância na reabilitação motora, como estratégia de treino da cadência da marcha. No que se refere à eficácia do tipo de pistas sobre a sincronização, o nosso estudo indica que não existem diferenças significativas entre a pista de som e a de música.

Podem ser apontadas como limitações do nosso trabalho a reduzida dimensão amostral e a forma rudimentar, através de um cronómetro, como foram registados o início dos períodos sem pista auditiva. Tal leva-nos a concluir, sem pôr em causa o valor do trabalho desenvolvido, pela necessidade de mais e melhor estudo. Assim, no sentido de dar continuidade ao trabalho já realizado e com o intuito de desenvolver estratégias de reabilitação da marcha, sugere-se a replicação do desenho experimental na exploração conjunta do feedback auditivo e táctil (com participantes a caminhar lado a lado de mãos dadas). É de salientar a necessidade de uma análise mais completa da marcha, permitindo tirar inferências sobre o fenómeno de sincronização em fase e anti-fase. Para tal é necessário definir uma forma de registar o erro associado à sincronização, por exemplo, através de um metrómetro que emita em simultâneo com o ritmo, um flash de luz infravermelha. Esta estratégia permite que as câmaras do sistema VICON capturem simultaneamente o ciclo da marcha e o compasso do ritmo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldo Faisal, A., & Wolpert, D. M. (2009). Near Optimal Combination of Sensory and Motor Uncertainty in Time During a Naturalistic Perception-Action Task. *Journal of Neurophysiology* , 101, 1901-1912.
- Bank, P. J., Roerdink, M., & Peper, C. E. (2011). Comparing the efficacy of metronome beeps and stepping stones to adjust gait: steps to follow! *Experimental Brain Research* , 209, 159-169.
- Chafe, C., Cáceres, J.-P., & Gurevich, M. (2010). Effect of temporal separation on synchronization in rhythmic performance. *Perception* , 39, 982-992.
- Cook, A. S., & Woollacott, M. H. (2003). *Controle Motor teoria e aplicações práticas*. São Paulo: Manole.
- de Bruin, N., Doan, J. B., Turnbull, G., Suchowersky, O., Bonfield, S., Hu, B., & Brown, L. A. (2010). Walking with Music Is a Safe and Viable Tool for Gait Training in Parkinson's Disease: The Effect of a 13-Week Feasibility Study on Single and Dual Task Walking. *Parkinson's Disease* .
- Fung, J., Richards, C. L., Malouin, F., Mcfadyen, B. J., & Lamontagne, A. (2006). A Treadmill and Motion Coupled Virtual Reality System for Gait Training Post-Stroke. *Cyberpsychology & Behavior* , 9 (2), 157-162.
- Gazzaniga, M., Ivery, R., & Mangun, J. (2009). *Cognitive Neuroscience The Biology of the Mind* (3rd edition ed.). USA: Norton.
- Goldstein, E. (2010). *Sensation and Perception* (8th edition ed.). USA: Wadsworth cengage learning.
- Grube, M., & Griffiths, T. D. (2009). Metricity-enhanced temporal encoding and the subjective perception of rhythmic sequences. *Cortex* , 45, 72-79.
- Herman, T., Giladi, N., & Hausdorff, J. M. (2009). Treadmill training for the treatment of gait disturbances in people with Parkinson's disease: a mini-review. *Journal of Neural Transmission* , 116, 307-318.
- Herman, T., Giladi, N., & Hausdorff, J. M. (2009). Treadmill training for the treatment of gait disturbances in people with Parkinson's disease: a mini-review. *Journal of Neural Transmission* , 116, 307-318.
- Issartel, J., Marin, L., & Cadopi, M. (2007). Unintended interpersonal coordination: "can we march to the beat of our own drum?". *Neuroscience Letters* , 411, 174-179.
- Iversen, J. R., Repp, B. H., & Patela, A. D. (2009). Top-Down Control of Rhythm Perception Modulates Early Auditory Responses. *The Neurosciences and Music III— Disorders and Plasticity* , 58-73.
- Kolb, B., & Whishaw, I. (2009). *Fundamentals of Human Neuropsychology* (6th edition ed.). University of Lethbridge: Worth.
- Large, E. W., & Jones, M. R. (1999). Dynamics of attending: how people track time-varying events. *Psychological Review* , 106 (1), 119-159.
- Lee, S. J., & Hidler, J. (2008). Biomechanics of overground vs. treadmill walking in healthy individuals. *Journal of Applied Physiology* , 104, 747-755.

- Leman, M. (2008). *Embodied Music Cognition and Mediation Technology*. Cambridge: Mit Press.
- Logan, D., Kiemel, T., Dominici, N., Cappellini, G., Ivanenko, Y., Lacquaniti, F., et al. (2010). The many roles of vision during walking. *Experimental Brain Research* , 206, 337-350.
- Masani, K., Kouzaki, M., & Fukunaga, T. (2002). Variability of ground reaction forces during treadmill walking. *Journal of Applied Physiology* , 92, 1885–1890.
- Moelants, D., & McKinney, M. F. (2004). Tempo perception and musical content: with makes a piece fast, slow or temporally ambiguous? *ICMPC8*. Evanston, IL.
- Mohler, B. J., Thompson, W. B., Creem-Regehr, S. H., Pick Jr, H. L., & Warren Jr, W. H. (2007). Visual Flow influences gait transition speed and preferred walking speed. *Experimental Brain Research* , 181, 221-228.
- Murray-Smith, R., Ramsay, A., Garrod, S., Jackson, M., & Musizza, B. (2007). Gait alignment in mobile phone conversations. *9th Intl. Conf. on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, Singapore.
- Nessler, J. A., & Gilliland, S. J. (2009). Interpersonal synchronization during side by side treadmill walking is influenced by leg length differential and altered sensory feedback. *Human Movement Science* , 28, 772-785.
- Nessler, J. A., & Gilliland, S. J. (2010). Kinematic analysis of side-by-side stepping with intentional and unintentional synchronization. *Gait & Posture* , 31, 527-529.
- Nozaradan, S., Peretz, I., Missal, M., & Mouraux, A. (2011). Tagging the Neuronal Entrainment to Beat and Meter. *The Journal of Neuroscience* , 31 (28), 10234-10240.
- Osaki, Y., Kunin, M., & Cohen, B. (2008). Relative contribution of walking velocity and stepping frequency to the neural control of locomotion. *Experimental Brain Research* , 185, 121-135.
- Parvataneni, K., Ploegi, L., Olney, S. J., & Brouwer, B. (2009). Kinematic, kinetic and metabolic parameters of treadmill versus overground walking in healthy older adults. *Clinical Biomechanics* , 24, 95-100.
- Pfordresher, P. Q. (2003). Auditory Feedback in Music Performance: Evidence for a Dissociation of Sequencing and Timing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* , 29-5, 949-964.
- Picelli, A., Camin, M., Tinazzi, M., Vangelista, A., Cosentino, A., Fiaschi, A., & Smania, N. (2010). Three-dimensional motion analysis of the effects of auditory cueing on gait pattern in patients with Parkinson's disease: a preliminary investigation. *Neurological Sciences* , 31, 423-430.
- Powell, W., Stevens, B., & Simmonds, M. (2009). Treadmill Interface for Virtual Reality vs. Overground Walking: A Comparison of Gait in Individuals with and without Pain. *Annual Review of Cybertherapy and Telemedicine*.
- Repp, B. H. (2005). Multiple temporal references in sensorimotor synchronization with metrical auditory sequences. *Psychological Research* , 72, 79-98.
- Rochester, L., Burn, D. J., Woods, G., Godwin, J., & Nieuwboer, A. (2009). Does Auditory Rhythmical Cueing Improve Gait in People with Parkinson's Disease

- and Cognitive Impairment? A Feasibility Study. *Movement Disorders* , 24, 839-845.
- Rochester, L., Hetherington, V., Jones, D., Nieuwboer, A., Willems, A.-M., Kwakkel, G., & Van Wgen, E. (2005). The Effect of External Rhythmic Cues (Auditory and Visual) on Walking During a Functional Task in Homes of People With Parkinson's Disease. *Archives of Physical Medicine Rehabilitation* , 86, 999-1006.
- Rochester, L., Nieuwboer, K. B., Hetherington, V., Willems, A. M., Chavret, F., ... Jones, D. (2007). The attentional cost of external rhythmical cues and their impact on gait in Parkinson's disease: effect of cue modality and task complexity. *Journal of Neural Transmission* , 114, 1243-1248.
- Schaefer, R. S., Vlek, R. J., & Peter, D. (2011). Decomposing rhythm processing: electroencephalography of perceived and self-imposed rhythmic patterns. *Psychological Research* , 75, 95-106.
- Schellenbach, M., Lövdén, M., Verrel, J., Krüger, A., & Lindenberger, U. (2010). Adult age differences in familiarization to treadmill walking within virtual environments. *Gait & Posture* , 31, 295-299.
- Styns, F., Van Noorden, L., Moelants, D., & Leman, M. (2007). Walking on music. *Human Movement Science* , 26, 769-785.
- Tanawongsuwan, R., & Bobick, A. (2003). Performance Analysis of Time-Distance Gait Performance Analysis of Time-Distance Gait. *4th International Conference, Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication*, Guildford, UK.
- Terrier, P., & Dériaz, O. (2011). Kinematic variability, fractal dynamics and local dynamic stability of treadmill walking. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* , 8-12.
- Thaut, M. (2005). *Rhythm, Music, and the Brain: Scientific Foundations and Clinical Applications* (Vol. 7). New York: Taylor & Francis.
- Thauta, M., McIntosha, G., & Riceb, R. R. (1997). Rhythmic facilitation of gait training in hemiparetic stroke rehabilitation. *Journal of Neurological Sciences* , 151, 207-212.
- van Wegen, E., de Goede, C., Lim, I., Rietberg, M., Nieuwboer, A., Willems, A., ... Kwakkel, G. (2006). The effect of rhythmic somatosensory cueing on gait in patients with Parkinson's disease. *Journal of the Neurological Sciences* , 248, 210-214.
- Vaughan, C. L., Davis, B. L., & O'Connor, J. C. (1992). *Dynamics of Human Gait*. Cape Town, South Africa: Kiboho Publishers.
- Visell, Y., Fontanac, F., Giordanod, B., Nordahle, R., Serafina, S., & Bresinf, R. (2009). Sound Design and Perception in Walking Interactions. *International. Journal of Human-Computer Studies* , 67, 947-959.
- Zhang, J., Zhang, K., Feng, J., & Small, M. (2010). Rhythmic Dynamics and Synchronization via Dimensionality Reduction: Application to Human Gait. *PLoS Computational Biology* , 6.

Zivotofzky, A. Z., & Hausdorff, J. M. (2007). The sensory feedback mechanisms enabling couples to walk synchronously: An initial investigation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* , 4.

ANEXOS

Nota: os anexos encontram-se agrupados de acordo com as alíneas que constituem a apresentação dos resultados.

Anexo A - Relação entre Frequência e Amplitude da Passada para cada Velocidade sem Pista Auditiva.

Tabela 4

Teste de Normalidade dos Parâmetros da Marcha da Situação Controlado.

	Teste Shapiro-Wilk
	<i>p</i>
Frequência da passada na velocidade de 1,0 m/s	0,796
Amplitude da passada na velocidade 1,0 m/s	0,612
Frequência da passada na velocidade de 1,2 m/s	0,786
Amplitude da passada na velocidade de 1,2 m/s	0,654
Frequência da passada na velocidade de 1,4 m/s	0,626
Amplitude da passada na velocidade de 1,4 m/s	0,602
Frequência da passada na velocidade de 1,6 m/s	0,802
Amplitude da passada na velocidade de 1,6 m/s	0,909

Nota: todas as variáveis apresentam $df = 9$

Anexo B - Análise das Características Temporais da Marcha em Função da Velocidade, Valor da Pista, Tipo de Pista e Instrução.

Tabela 5

Teste da Normalidade para a Frequência da Passada com Pista Auditiva.

Pista auditiva de som de passos		Shapiro- Wilk
Velocidade	Frequência da passada associada à pista de valor igual a :	<i>p</i>
Velocidade 1,0 m/s	110%	,630
	105%	,879
	100%	,640
	95%	,879
	90%	,934
Velocidade 1, 2 m/s	110%	,245
	105%	,477
	100%	,665
	95%	,855
	90%	,662
Velocidade 1,4 m/s	110%	,504
	105%	,500
	100%	,802
	95%	,940
	90%	,872
Velocidade 1,6 m/s	110%	,631
	105%	,523
	100%	,977
	95%	1,000
	90%	,901
Pista auditiva de música		
Velocidade 1,0 m/s	110%	,223
	105%	,994
	100%	,683
	95%	,246
	90%	,870
Velocidade 1,2 m/s	110%	,529
	105%	,656
	100%	,615
	95%	,815
	90%	,636
Velocidade 1,4 m/s	110%	,434
	105%	,473
	100%	,723
	95%	,922
	90%	,969
Velocidade 1,6 m/s	110%	,553
	105%	,452
	100%	,860
	95%	,995
	90%	,994

Nota: todas as variáveis apresentam $df = 9$

Tabela 6

ANOVA Mista para as Variáveis Experimentais Relacionada com a Frequência da Passada

Variáveis experimentais	df	F	p	Partial Eta
Tipo de pista	1,000	,869	,382	,110
Velocidade	1, 21	402,191	,001**	,983
Valor da pista	2,048	456,393	,001**	,985
Grupo	1,00	,659	,444	,086
Tipo de pista * Grupo	1,000	,048	,833	,007
Velocidade * Grupo	1,966	,764	,482	,098
Valor da pista * Grupo	2,048	369,234	,001**	,981
Valor da pista * Velocidade * Grupo	2,705	3,607	,036	,340
Análise separada por grupos				
Valor da pista * Velocidade * Com Instrução	1,632	11,709	,008**	,745
Valor da pista * velocidade * Sem Instrução	1,992	,633	,800	,174

Nota: a tabela indica os graus de liberdade corrigidos para o teste Greenhouse – Geisser (df), o resultado da ANOVA, (F) o valor prova (p) e a magnitude de efeito (Eta),

* valores significativos $p < ,05$; **valores muito significativos $p < ,001$

Tabela 7

ANOVA unifatorial do Valor da Pista em Função da Velocidade para o Grupo com Instrução.

Grupo com instrução	df	F	p	Partial Eta
Valor da pista * velocidade 1,0 m/s	1,400	152,784	,001*	,974
Valor da pista * velocidade 1,2 m/s	1,548	861,137	,001*	,995
Valor da pista * velocidade 1,4 m/s	1,198	960,456	,001*	,996
Valor da pista * velocidade 1,6 m/s	1,958	1540,870	,001*	,997

Nota: a tabela indica os graus de liberdade corrigidos para o teste Greenhouse – Geisser (df), o resultado da ANOVA, (F) o valor prova (p) e a magnitude de efeito (Eta),

*valores significativos $p < ,001$

Anexo C - Análise das Características Espaciais da Marcha em Função da Velocidade, Valor da Pista, Tipo de Pista e Instrução.

Tabela 8

Teste da Normalidade para a Amplitude da passada com Pista Auditiva

Pista auditiva de som de passos		Shapiro- Wilk
Velocidade	Amplitude da passada associada à pista de valor igual a:	P
Velocidade 1,0 m/s	110%	,739
	105%	,433
	100%	,521
	95%	,189
	90%	,355
Velocidade 1, 2 m/s	110%	,759
	105%	,701
	100%	,934
	95%	,603
	90%	,545
Velocidade 1,4 m/s	110%	,715
	105%	,807
	100%	,712
	95%	,641
	90%	,736
Velocidade 1,6 m/s	110%	,646
	105%	,651
	100%	,838
	95%	,940
	90%	,955
Pista auditiva de música		
Velocidade 1,0 m/s	110%	,386
	105%	,911
	100%	,892
	95%	,409
	90%	,431
Velocidade 1,2 m/s	110%	,563
	105%	,853
	100%	,670
	95%	,589
	90%	,737
Velocidade 1,4 m/s	110%	,737
	105%	,672
	100%	,676
	95%	,726
	90%	,826
Velocidade 1,6 m/s	110%	,899
	105%	,615
	100%	,574
	95%	,754
	90%	,849

Nota: todas as variáveis apresentam $df = 9$

Tabela 9

ANOVA Mista para as Variáveis Experimentais Relacionada com a Amplitude da Passada.

Variáveis experimentais	df	F	p	Partial Eta
Tipo de pista	1,000	,869	,382	,110
Velocidade	1,966	402,191	,001*	,983
Valor da pista	2,048	456,393	,001*	,985
Grupo				
Tipo de pista * Grupo	1,000	,048	,833	,007
Velocidade * Grupo	1,966	,764	,482	,098
Valor da pista * Grupo	2,048	369,234	,001*	,981
Valor da pista * Velocidade * Grupo				
Análise separada por grupos				
Valor da pista * Velocidade * Com Instrução	2,28	4,176	,001*	,511
Valor da pista * velocidade * Sem Instrução	2,232	,677	,555	,184

Nota: a tabela indica os graus de liberdade corrigidos para o teste Greenhouse – Geisser (df), o resultado da ANOVA, (F) o valor prova (p) e a magnitude de efeito (Eta),

* Valor significativo $p < ,001$

Tabela 10

Teste t: Comparação da Altura da Perna em Função do Grupo

Altura da perna (mm)	Média	DP	Teste t para amostras independentes		
			t	df	p
Grupo com instrução	980,20	37,937	2,026	7	,082
Grupos sem instrução	923,75	45,894			

Nota: a homogeneidade das variâncias é assumida (F= 0,154, $p = ,760$).

*Anexo D - Análise da Sincronização da Frequência da Passada com o Tipo de Pista
auditiva em Função do Grupo.*

Tabela 11

Comparação entre a Frequência da Pista Auditiva e a Respetiva Frequência da Passada para o Grupo com Instrução.

		Grupo com instrução									
		Pista de som de passos					Pista de música				
Pistas		90%	95%	100%	105%	110%	90%	95%	100%	105%	110%
Frequência da pista auditiva (%)	Média	92,10	96,32	101,24	104,81	112,39	92,96	97,50	102,95	108,70	112,81
	DP	2,85	2,93	4,18	3,62	3,21	3,65	3,41	2,95	4,74	2,73
Frequência da passada (%)	Média	92,60	96,54	101,32	106,48	113,25	93,49	97,33	102,98	108,58	113,17
	DP	2,97	2,98	4,20	2,29	3,25	3,53	3,85	2,93	4,94	2,77

Tabela 12

Comparação Entre a Frequência da Pista Auditiva e a Respetiva Frequência da Passada para o Grupo sem Instrução.

		Grupo com instrução									
		Pista de som de passos					Pista de música				
Pistas		90%	95%	100%	105%	110%	90%	95%	100%	105%	110%
Frequência da pista auditiva (%)	Média	90,78	95,29	100,73	103,99	110,83	90,01	95,18	100,31	105,10	105,26
	DP	4,17	2,69	3,39	5,38	4,66	3,13	3,32	3,80	3,53	9,74
Frequência da passada (%)	Média	99,78	99,10	99,77	100,67	100,39	98,69	99,50	100,16	100,30	100,04
	DP	1,65	1,32	1,39	1,47	1,32	1,55	1,26	1,61	1,05	1,35