

**ALTERAÇÕES SENSORIAIS E MOTORAS ASSOCIADAS AO  
ENVELHECIMENTO E CONTROLE POSTURAL DE IDOSOS**

DIANA REZENDE DE TOLEDO

Dissertação apresentada ao Instituto de  
Biotecnologia do Câmpus de Rio Claro,  
Universidade Estadual Paulista, como parte  
dos requisitos para obtenção do título de  
Mestre em Ciências da Motricidade (Área de  
Biodinâmica da Motricidade Humana).

**RIO CLARO -SP**

Julho/2008

**ALTERAÇÕES SENSORIAIS E MOTORAS ASSOCIADAS AO  
ENVELHECIMENTO E CONTROLE POSTURAL DE IDOSOS**

DIANA REZENDE DE TOLEDO

Orientador: JOSÉ ANGELO BARELA

Dissertação apresentada ao Instituto de  
Biotecnologia do Câmpus de Rio Claro,  
Universidade Estadual Paulista, como parte  
dos requisitos para obtenção do título de  
Mestre em Ciências da Motricidade (Área de  
Biodinâmica da Motricidade Humana).

RIO CLARO - SP  
Julho/2008

**Dedico este trabalho aos meus amados pais Laert e Valdete e aos meus queridos irmãos Karine e Tiago que sempre me incentivaram. O orgulho de minha família é minha maior motivação.**

## AGRADECIMENTOS

Talvez esta dissertação seja o resultado mais visível de um processo de construção em meio a uma conjuração de afetos e amizades. Dessa forma, dedico algumas palavras àqueles que fazem parte direta ou indiretamente desta conquista.

Agradeço a Deus: minha força, meu refúgio, meu abrigo, meu consolo. Por viver cada dia em sua presença, capacitando-me e ajudando-me sempre a me tornar uma pessoa melhor. Agradeço também...

À minha família que, mesmo à distância fez chegar, de diversas formas, seu incentivo e carinhoso cuidado de forma incondicional, contribuindo para esta concretização. Em especial, ao meu pai, os mais profundos agradecimentos por suas sábias lições de esperança e pelo exemplo de pessoa batalhadora e digna.

Ao Ralf por me apoiar desde o início, abdicando de muitas coisas de sua vida para estar ao meu lado. Obrigada pelo companheirismo, pela amizade pelo carinho e, principalmente, pelo seu amor!

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Ângelo Barela, a quem devoto a mais sincera admiração por sua competência e dignidade. Obrigada pela oportunidade, pela confiança, pelos ensinamentos e pela amizade.

A todo o pessoal do LEM, pelo excelente espírito de grupo... aos mais "antigos": Carol, Thátia, Ivan, Natália, Matheus, Mário e Alexandre, e aos atuais Diana 2, Dani, Dalva, Andrei, Milena, Paula, Ana Barela, Raquel, Mag, Toke, Emilie e Matheus. Todos sempre dispostos a ajudar na coleta de dados, na procura por participantes e sempre compartilhando seus conhecimentos.

Aos amigos da pós-graduação, em especial, Diana 2, Lu e Flávia, pelos momentos de alegria e descontração

Aos membros da banca, Profa. Dra. Monica Rodrigues Perracini, Prof. Dr. Fábio Viadanna Serrão e Prof. Dra. Eliane Mauerberg de Castro pelas sugestões e contribuições.

Aos meus professores de graduação da Unesp/Presidente Prudente: Augusto Cesinando de Carvalho e Rúben de Faria Negrão Filho pelo incentivo e pela base científica necessários para o ingresso no mestrado.

A todos os participantes deste estudo, que aceitaram colaborar com boa vontade e paciência.

À FAPESP pelo suporte financeiro na modalidade bolsa mestrado.

## RESUMO

O avanço da idade vem acompanhado de muitas alterações estruturais, funcionais e comportamentais. Como um bom desempenho do controle postural depende da integridade dos sistemas sensoriais e motor, as deteriorações que ocorrem nestes sistemas com o envelhecimento poderiam influenciar o desempenho de controle postural em indivíduos idosos. Entretanto, ainda não estão claras quais alterações funcionais nos sistemas sensoriais e motor são provocadas pelo envelhecimento por si só, bem como a relação entre estas alterações e as mudanças no desempenho de controle postural de adultos idosos. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho dos sistemas sensoriais e motor e do controle postural de adultos idosos e investigar a relação entre as alterações destes sistemas e o controle postural desta população. Vinte adultos idosos ( $68,9 \pm 3,7$  anos) (GAI) e 20 adultos jovens ( $21,9 \pm 2,1$  anos) (GAJ) foram submetidos a avaliações sensoriais, motoras e de controle portural. As avaliações sensoriais foram compostas por avaliação visual (acuidade e sensibilidade ao contraste) e somatossensorial (sensibilidade cutânea e sensibilidade ao movimento passivo). As avaliações motoras consistiram de medidas de torque articular e de latência de ativação muscular após perturbação da superfície de suporte. As avaliações de controle postural consistiram de medidas de oscilação corporal durante manutenção da postura ereta (em *semi-tandem stance*), resolução de conflito sensorial (movimentação discreta de uma sala móvel) e acoplamento entre informação visual e oscilação corporal (movimentação periódica, periódica

complexa e não periódica da sala móvel). Os resultados indicaram um pior desempenho do GAI em todas as avaliações sensoriais e motoras. Nas avaliações de controle postural, o GAI apresentou uma maior amplitude média de oscilação (AMO) nas condições de manutenção da postura ereta, periódica complexa e não-periódica. Nestas últimas condições, o GAI foi mais influenciado pela movimentação da sala e apresentou um acoplamento mais forte entre informação visual e oscilação corporal. Não houve diferença entre o GAI e o GAJ nas condições de movimentação discreta e periódica. Análises de regressão linear múltipla indicaram que a sensibilidade ao movimento articular passivo foi a variável que mais contribuiu para a variância da AMO nas condições de manutenção da postura ereta, periódica complexa e não-periódica e para a variância do ganho nestas duas últimas condições. Estes resultados indicam, portanto, que as alterações estruturais e fisiológicas decorrentes do envelhecimento por si só, resultam em piora do desempenho dos sistemas sensoriais e motor. Além disso, deterioração do sistema proprioceptivo é a que mais interfere no desempenho de controle postural de adultos idosos e, quanto mais complexas as informações visuais no ambiente, maior é a importância das informações proprioceptivas para o controle postural. Desta forma, a deterioração do sistema proprioceptivo que ocorre com o envelhecimento reflete no aumento de oscilação corporal e no aumento do peso atribuído às informações visuais, resultando em maior acoplamento entre informação visual e oscilação corporal.

Palavras-chave: envelhecimento, sistemas sensoriais, sistema motor, controle postural, sala móvel.

## ABSTRACT

With aging, individuals exhibit several structural, functional and behavioral changes. As a good postural control performance depends on the integrity of the sensory and motor systems, deterioration of these systems occurring with aging could influence the postural control performance of older adults. However, it is still unclear which sensory and motor functional changes are due to aging *per se*, neither the relationship between these changes and the changes of the performance of postural control in older adults. Therefore, the purpose of this study was to examine the performance of the sensory and motor systems and postural control in older adults and to investigate the relationship between changes in these systems and postural control in this population. Twenty older adults ( $68,9 \pm 3,7$  years) (GAI) and 20 young adults ( $21,9 \pm 2,1$  years) (GAJ) were submitted to sensory, motor and postural control assessments. Sensory assessments were composed of visual (acuity and contrast sensitivity) and somatosensory assessments (tactile sensitivity of and sensitivity to passive motion). Motor assessments consisted of measurements of joint torque and muscular activity latency after displacement of support surface. Postural control assessments consisted of measuring the body oscillation during maintenance of the upright stance (semi-tandem stance), the resolution of a sensory conflict (discrete movement of a moving room) and the coupling between visual information and body sway (periodic, complex periodic and non-periodic moving room movement). The results indicated a worse performance of the GAI in all sensory and motor

assessments. Regarding postural control, GAI showed a larger mean sway amplitude (MSA) during the maintenance of upright stance and complex periodic and non-periodic conditions. In these latter conditions GAI was more influenced by the moving room and showed a stronger coupling between visual information and body sway. There was no difference between GAI and GAJ in the conditions of discrete and periodic movement. Multiple linear regression analysis indicated that the sensitivity to passive joint motion contributed the most to the variance in MSA in the maintenance of upright stance, complex periodic and non-periodic conditions and to the variance in gain under these latter conditions. These results indicate that structural and physiological changes due to aging *per se*, lead to worsening the performance of the sensory and motor systems. Moreover, deterioration of the proprioceptive system interferes the most with the performance of postural control of older adults and the more complex the visual information of the environment, the more important becomes the proprioceptive information for postural control. Thus, the deterioration of the proprioceptive system due to aging results in an increase of body sway and in an upweighting of the visual information, leading to a stronger coupling between visual information and body sway.

Keywords: aging, sensory systems, motor system, postural control, moving room.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS E QUADRO .....	iv
LISTA DE FIGURAS .....	v
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	5
2.1. Envelhecimento.....	5
2.2. Controle Postural e Envelhecimento.....	7
2.2.1. Sistemas Sensoriais .....	10
2.2.1.1. Sistema Vestibular.....	11
2.2.1.2. Sistema Visual .....	14
2.2.1.3. Sistema Somatossensorial.....	16
2.2.2. Sistema Motor .....	20
2.2.3. Relacionamento entre informação sensorial e ação motora .....	24
3. OBJETIVOS .....	32
4. MÉTODO .....	33
4.1. Participantes .....	33
4.2. Procedimentos.....	37
4.2.1. Sistemas sensoriais .....	38
4.2.1.1. Sistema Visual .....	38
4.2.1.1.1. Acuidade visual.....	39
4.2.1.1.2. Sensibilidade ao contraste.....	40
4.2.1.2. Sistema Somatossensorial.....	42
4.2.1.2.1. Sensibilidade cutânea.....	42
4.2.1.2.2. Sensibilidade ao movimento passivo.....	43

4.2.2. Sistema Motor .....	46
4.2.2.1. Produção de torque articular.....	46
4.2.2.2. Latência da resposta muscular.....	49
4.2.3 Controle Postural .....	52
4.2.3.1. Manutenção da postura ereta.....	52
4.2.3.2. Resolução de conflito sensorial.....	53
4.2.3.3. Acoplamento entre informação visual e oscilação corporal: informação visual periódica, periódica complexa e não-periódica.....	56
4.2.4 Análises de regressão linear múltipla .....	62
5. RESULTADOS.....	63
5.1. Avaliações sensoriais .....	63
5.1.1. Sistemas visual .....	63
5.1.1.1. Acuidade visual .....	64
5.1.1.2. Sensibilidade ao contraste .....	64
5.1.2. Sistema Somatossensorial .....	65
5.1.1.1. Sensibilidade cutânea.....	65
5.1.1.2. Sensibilidade ao movimento passivo .....	65
5.2. Avaliações motoras.....	67
5.2.1. Produção de torque articular.....	67
5.2.2. Latência da resposta muscular.....	68
5.3. Avaliações de controle postural .....	70
5.3.1. Manutenção da postura ereta.....	70
5.3.2. Resolução de conflito sensorial.....	72
5.3.3. Acoplamento entre informação visual e oscilação corporal: informação visual periódica, periódica complexa e não-periódica.....	75
5.4. Análises de regressão linear múltipla ..	84

6. DISCUSSÃO .....	88
6.1. Diferenças sensoriais e motoras entre adultos jovens e idosos .....	89
6.2. Diferenças no controle postural entre adultos jovens e idosos .....	95
6.3. Contribuição da deterioração do sistema somatossensorial para o controle postural .....	103
7. CONCLUSÃO .....	111
8. REFERÊNCIAS.....	113
ANEXO 1 .....	130
ANEXO 2 .....	133
ANEXO 3 .....	137
ANEXO 4 .....	139
APÊNDICE 1: Termo de consentimento livre e esclarecido.....	143

**LISTA DE TABELAS E QUADRO**

Tabela1: Idade, massa, estatura, IMC e gênero dos participantes adultos jovens .....	35
Tabela 2: Idade, massa, estatura, IMC e gênero dos participantes adultos idosos .....	36
Quadro 1: Ordem da execução das avaliações realizadas na visita ao laboratório .....	38

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Situação experimental da avaliação de acuidade visual com a Escala Optométrica.....	40
Figura 2: Situação experimental da avaliação de sensibilidade ao contraste visual .....	41
Figura 3: Kit Estesiômetro (Semmes-weinstein Momofilaments) (A) e situação experimental da avaliação de sensibilidade cutânea (B) .....	43
Figura 4: Situação experimental da avaliação de sensibilidade ao movimento articular passivo. ....	44
Figura 5: Situação experimental da avaliação de produção de torque articular (extensão de joelho).....	47
Figura 6: Situação experimental da avaliação da avaliação da latência da resposta muscular.....	49
Figura 7: Situação experimental da avaliação de resolução de conflito sensorial na sala móvel.....	55
Figura 8: Séries temporais (coluna direita) e análises espectrais (coluna esquerda) do movimento da sala móvel nas três condições de movimentação contínua da sala: A) periódica; B) periódica-complexa e C) não-periódica .....	57
Figura 9: Valores médios e desvios padrão da acuidade visual (a) e da sensibilidade ao contraste visual (b) dos dois grupos etários obtidos nas avaliações do sistema visual. Nota: (*) indica $p < 0,05$ .....	64

- Figura 10: Valores médios e desvios padrão da massa do filamento sentido pelos participantes dos dois grupos etários na avaliação da sensibilidade cutânea. Nota: (\*) indica  $p < 0,05$ .....65
- Figura 11: Valores médios e desvios padrão do deslocamento angular das articulações de joelho (a) e tornozelo (b), em ambas as direções para os dois grupos etários obtidos na avaliação de sensibilidade ao movimento passivo. Nota: (\*) indica  $p < 0,05$ .....66
- Figura 12: Valores médios e desvios padrão obtidos nas avaliações de produção de torque articular de joelho (a) e tornozelo (b), em ambas as direções para os gêneros feminino e masculino dos dois grupos etários. Nota: (\*) indica  $p < 0,05$ . 68
- Figura 13: Séries temporais da movimentação da plataforma móvel (PM) e da atividade eletromiográfica (EMG) do músculo tibial anterior de um adulto jovem (a) e de um idoso (b) na avaliação de latência da resposta muscular.....69
- Figura 14: Valores médios e desvios padrão da latência de ativação do músculo tibial anterior após a movimentação da superfície de suporte dos dois grupos etários obtidos na avaliação de latência da resposta muscular. Nota: (\*) indica  $p < 0,05$ .....70
- Figura 15: Séries temporais da oscilação corporal de um adulto jovem (coluna esquerda) e de um idoso (coluna direita) nas direções ântero-posterior (a) e médio-lateral (b) na condição de manutenção da postura ereta .....71
- Figura 16: Valores médios e desvios padrão da amplitude média de oscilação corporal nas direções ântero-posterior (AP) e médio-lateral (ML) dos dois grupos etários na condição de manutenção da postura ereta. Nota: (\*) indica  $p < 0,05$ ...72

Figura 17: Séries temporais da oscilação corporal (OC) frente ao movimento da sala móvel (SM) de um adulto jovem (a) e de um idoso (b) na condição de resolução de conflito sensorial .....	73
Figura 18: Valores médios e desvios padrão do deslocamento corporal (a) e do tempo para reverter este deslocamento (b) dos dois grupos etários na condição de resolução de conflito sensorial .....	74
Figura 19: Valores médios e desvios padrão da amplitude média de oscilação corporal antes e após a movimentação da sala móvel dos dois grupos etários na condição de resolução de conflito sensorial. Nota: (*) indica $p < 0,05$ .....	75
Figura 20: Séries temporais (a) e espectros (b) da oscilação corporal (OC) e do movimento da sala (SM) dos dois grupos etários na condição de manipulação periódica da informação visual .....	76
Figura 21: Valores médios e desvios padrão da amplitude média de oscilação corporal (a) e da amplitude de oscilação na frequência do estímulo (SFSA) (b) dos dois grupos etários na condição de manipulação periódica da informação visual .....	77
Figura 22: Valores médios e desvios padrão da coerência (a) do ganho (b) e da fase (c) dos dois grupos etários na condição de manipulação periódica da informação visual .....	78
Figura 23: Séries temporais (a) e espectros (b) da oscilação corporal (OC) e o movimento da sala (SM) de um participante de cada grupo etário na condição de manipulação periódica-complexa da informação visual. Os painéis (c) e (d)	

apresentam as mesmas informações para a condição de manipulação não-periódica da informação visual.....79

Figura 24: Valores médios e desvios padrão da amplitude média de oscilação corporal (a) e da amplitude de oscilação na frequência do estímulo (SFSA) (b) do grupo adulto jovem (GAJ) e do grupo adulto idoso (GAI) nas condições de manipulação periódica complexa e não-periódica da informação visual. Nota: (\*) indica  $p < 0,05$ .....81

Figura 25: Valores médios e desvios padrão do ganho (a) e da coerência (b) em cada frequência do estímulo visual do grupo adulto jovem (GAJ) e do grupo adulto idoso (GAI) na condição de manipulação periódica complexa e não-periódica da informação visual. Nota: (\*) indica  $p < 0,05$ .....83

## **1 – INTRODUÇÃO**

O crescimento da população de adultos idosos, em números absolutos e relativos, é um fenômeno mundial e está ocorrendo a um nível sem precedentes. Em 1950, eram cerca de 204 milhões de adultos idosos no mundo e, já em 1998, quase cinco décadas depois, este contingente alcançava 579 milhões de pessoas, um crescimento de quase 8 milhões de pessoas idosas por ano. As projeções indicam que em 2050, a população idosa será de aproximadamente 2 bilhões de pessoas (IBGE 2002). Em paralelo às modificações observadas na pirâmide populacional, doenças próprias do envelhecimento ganham maior expressão no conjunto da sociedade e, conseqüentemente, há uma demanda crescente por serviços de saúde. Como os adultos idosos consomem mais serviços de saúde, interesse de estudiosos tem sido direcionado no sentido de esclarecer os fatores que contribuem para um envelhecimento saudável.

O avanço da idade, de uma forma geral, vem acompanhado de uma série de alterações estruturais, funcionais e comportamentais e, como conseqüência, diversas mudanças ocorrem na realização das atividades de vida diária (AVDs). Um dos problemas freqüentemente verificados nessa fase da vida é

a maior pré-disposição a quedas, sendo o andar, a AVD em que a maioria das quedas ocorre (WOOLLACOTT e TANG, 1997). Entretanto, mesmo adultos idosos capazes de andar independentemente podem apresentar um declínio importante em suas habilidades de controle e equilíbrio, que não se torna evidente até a ocorrência de uma queda.

A razão para o dramático aumento no número de quedas com o envelhecimento tem sido atribuída ao declínio do desempenho do sistema de controle postural. (BERGER et al., 2005; DI FABIO e EMASITHI, 1997; WADE et al., 1995; BLASZCZYK; LOWE e HANSEN, 1994), entretanto, ainda não estão claros quais fatores poderiam estar colaborando para este declínio. Dados contraditórios na literatura associam o declínio do desempenho do controle postural em adultos idosos a diferentes causas. Há relatos de que a instabilidade postural em adultos idosos ocorre devido à deterioração dos sistemas sensoriais (MELZER; BENJUJA e KAPLANSKI, 2004; KRISTINSDOTTIR; FRANSSON e MAGNUSSON, 2001; LORD e MENZ, 2000; LORD; CLARK e WEBSTER, 1991<sup>a</sup>), do sistema motor (AMIRIDIS; HATZITAKI e ARABATZI, 2003; LAUGHTON et al., 2003) ou de ambos os sistemas (CORRIVEAU et al., 2004; HURLEY; REES e NEWHAM, 1998; LORD e WARD, 1994). Há ainda autores que atribuem o aumento da instabilidade postural em adultos idosos às mudanças no relacionamento entre o sistema sensorial e o sistema motor (MAKEY e ROBINOVITCH, 2006; PRIOLI et al., 2006).

A falta de consenso na literatura quanto às causas do declínio do desempenho de controle postural nos adultos idosos pode ter ocorrido devido às diferentes metodologias utilizadas nos estudos, dificultando então, a comparação

entre eles e impossibilitando a determinação das reais causas para este declínio. Duncan et al. (1993) sugeriram que os déficits sensoriais, de processamento central e de vias motoras causam instabilidade e não apenas um único componente seria o responsável pela diminuição no desempenho de controle postural com o envelhecimento. No entanto, poucos os estudos investigaram a contribuição da deterioração de cada sistema para o declínio no controle postural de adultos idosos e os estudos que o fizeram não tiveram um controle dos participantes quanto às doenças associadas ao envelhecimento, o que dificulta o entendimento dos efeitos do envelhecimento por si só no desempenho dos sistemas sensoriais, motor e de controle postural.

Mais importante ainda é que não há, num mesmo estudo, análises do desempenho de controle postural em adultos idosos observando os sistemas sensoriais e efetores de forma separada e de forma integrativa (percepção-ação). Se um bom desempenho do controle postural depende da integridade dos sistemas sensoriais e motores e da integração entre eles, é de extrema importância avaliar o desempenho destes sistemas e investigar se as alterações decorrentes do envelhecimento refletem na relação entre eles e, conseqüentemente, no desempenho de controle postural. Acredita-se que a realização de um estudo neste aspecto tornaria possível iniciar o esclarecimento das reais causas das alterações no controle postural em adultos idosos.

A determinação das causas das alterações no controle postural com o envelhecimento pode facilitar a elaboração de programas de intervenção. Estas medidas podem ter um impacto substancial na morbidade e mortalidade de

peças idosas. Nesta perspectiva, o objetivo desse estudo foi examinar as mudanças no desempenho dos sistemas sensoriais e motor que ocorrem estritamente pelo processo de envelhecimento e investigar a contribuição dessas mudanças para o controle postural de adultos idosos.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

Esta revisão abrangeu os principais aspectos fisiológicos e funcionais do envelhecimento assim como os prováveis fatores do envelhecimento relacionados com mudanças no controle postural. A descrição a seguir procura relacionar o declínio do desempenho do controle postural em adultos idosos às alterações que ocorrem nos sistemas sensoriais e motor e no relacionamento entre informação sensorial e ação motora, necessários para o controle postural.

### **2.1 – Envelhecimento**

O termo envelhecimento refere-se a um processo ou a grupos de processos que ocorrem em um organismo vivo e que, com o passar do tempo, levam este organismo vivo a uma perda de adaptabilidade, a um prejuízo funcional e, eventualmente, à morte (SPIRDUSO, 2005). Com o avanço da idade, seres humanos apresentam alterações estruturais e funcionais tais como mudanças na composição corporal, em parâmetros fisiológicos e neurofisiológicos, nos sistemas

sensoriais, no sistema neuromuscular e na velocidade de processamento de informação no sistema nervoso central (SPIRDUSO, 2005).

Assim como fatores biológicos, doenças e causas externas levam a população idosa a sofrer conseqüências funcionais. A queda, segundo a Classificação Internacional de Doenças, é uma das causas externas e representa um grande problema para as pessoas idosas dadas as suas conseqüências como lesões de partes moles, restrição prolongada ao leito, hospitalização, institucionalização, risco de doenças, fraturas, incapacidade e morte. Além disso, o medo de novas quedas leva o idoso a diminuir suas atividades, provocando a síndrome da imobilidade.

A ocorrência dos fatores de risco das quedas pode variar de acordo com as peculiaridades de cada grupo, por isso, é importante ter um controle preciso do grupo a ser estudado, a fim de se definir as estratégias que podem contribuir para a diminuição do risco de quedas. Um importante pré-requisito para o desenvolvimento de medidas de intervenção é o conhecimento das variáveis que governam a perda da habilidade de recuperar o equilíbrio. Para muitos autores, a grande incidência de quedas em adultos idosos ocorre em detrimento do declínio do desempenho do sistema de controle postural (BERGER et al., 2005; DI FABIO e EMASITHI, 1997; WADE et al., 1995; BLASZCZYK; LOWE e HANSEN, 1994), que pode estar relacionado à insuficiência súbita dos mecanismos neurais, musculares e/ou osteoarticulares envolvidos na manutenção da postura.

Segundo Ghez (1991), o termo postura representa o posicionamento dos segmentos corporais, uns em relação aos outros e a orientação destes

segmentos no espaço. O controle postural pode ser definido como um processo pelo qual o sistema nervoso central gera padrões de atividade muscular requeridos para regular a relação entre o centro de massa corporal e a base de suporte (MAKI e MCILROY, 1996). Assumindo que o controle postural possui dois objetivos comportamentais, denominados orientação e equilíbrio postural, e que estes objetivos são alcançados, segundo Horak e Macpherson (1996), a partir de um intrincado e dinâmico relacionamento entre informação sensorial e atividade muscular, o desempenho do sistema de controle postural de adultos idosos poderia ser alterado como resultado das mudanças que ocorrem com o passar dos anos nos sistemas sensoriais e motor. Entretanto, as alterações que ocorrem com o envelhecimento e suas conseqüências para funcionamento do controle postural ainda não estão totalmente elucidadas.

## **2.2 – Controle Postural e Envelhecimento**

A manutenção da postura ereta, aparentemente simples para a maioria dos seres humanos, envolve uma complexidade de mecanismos necessários para o equilíbrio entre as forças internas e externas que agem sobre o corpo. Este equilíbrio de forças deve ser alcançado para a projeção do centro de massa corporal permaneça dentro dos limites da base de suporte e para que as velocidades e acelerações dos segmentos corporais sejam controladas (WINTER, 1995). Estas são funções do sistema de controle postural e são imprescindíveis para a realização de qualquer ação motora.

Vários estudos têm apontado alterações no controle postural com o avanço da idade (PRIOLI; FREITAS JUNIOR e BARELA, 2005; DI FABIO e EMASITHI, 1997; BLASZCZYK; LOWE e HANSEN, 1994). Por exemplo, durante a manutenção da posição em pé, adultos idosos oscilam mais que adultos jovens (FERRAZ; BARELA e PELLEGRINI, 2001; MCCLENAGHAN et al., 1996; WADE et al., 1995) e apresentam uma menor região e menos controlada excursão do centro de pressão (BLASZCZYK; LOWE e HANSEN, 1994).

Apesar das diferenças encontradas entre a oscilação postural de adultos jovens e idosos na simples manutenção da postura ereta, outros trabalhos relataram que somente em situações em que há um aumento da dificuldade da tarefa, estas diferenças estão presentes ou evidenciadas (PRIOLI et al., 2006; AMIRIDIS; HATZITAKI e ARABATZI, 2003). O estudo realizado por Prioli et al. (2006) comparou o desempenho do sistema de controle postural e o relacionamento entre informação visual e oscilação postural entre adultos jovens e idosos em diferentes demandas da tarefa. Os participantes permaneceram em pé, em diferentes bases de suporte (normal, *tandem stance* e reduzido), com olhos abertos ou fechados e com ou sem movimentação contínua de uma sala móvel. Os resultados mostraram que em condições de suporte normal, com e sem manipulação da informação visual, não houve diferença entre os grupos etários. Entretanto, com o aumento da demanda da tarefa por meio da redução da base de suporte, os adultos idosos apresentaram maior oscilação corporal e foram mais influenciados pela manipulação da informação visual que os adultos jovens. A partir dos resultados observados, os autores sugeriram que a demanda da tarefa

tem um importante papel e deve ser cuidadosamente controlada quando estudamos o controle postural em adultos idosos. Esta medida favorece a comparação de resultados entre os estudos, diminuindo assim, a ocorrência de resultados conflitantes entre eles.

Uma outra forma de analisar o desempenho de controle postural é avaliar a capacidade do indivíduo em responder a perturbações externamente impostas, como por exemplo, a movimentação da superfície de suporte. Adultos idosos, quando são submetidos a esse tipo de perturbação, apresentam maiores deslocamentos do centro de pressão e do centro de massa (NAKAMURA; TSUCHIDA e MANO, 2001; GU et al., 1996) e demoram mais tempo para ativar a musculatura necessária para reverter estes deslocamentos (LIN e WOOLLACOTT, 2002). Isto indica que adultos idosos, quando perturbados externamente, não respondem de forma tão eficaz a estas perturbações inesperadas, tornando-os mais suscetíveis a quedas.

Como pode ser observado, há muitas evidências do declínio de controle postural com o envelhecimento, entretanto, as causas para o aumento da oscilação postural e inabilidade de resposta a perturbações externas ainda não estão totalmente claras. Não se sabe ao certo se este declínio ocorre devido à deterioração dos sistemas sensoriais, que levaria o indivíduo a ter dificuldade em perceber e estimar posição e velocidade dos segmentos corporais ou se o problema estaria na dificuldade de execução da resposta motora em tempo e intensidade apropriados. Uma outra hipótese seria um inapropriado relacionamento entre informação sensorial e ação motora, ou seja, dificuldade de

elaborar respostas adequadas aos estímulos sensoriais integrados nos centros superiores do sistema nervoso central.

É difícil definir quais destas alterações seriam as principais responsáveis pela perda de estabilidade em adultos idosos e tal definição é de suma importância para o estabelecimento de medidas de prevenção e de reabilitação. O entendimento do funcionamento do sistema de controle postural requer a consideração de muitos sistemas fisiológicos envolvidos na habilidade do indivíduo realizar suas AVDs, interagindo com o ambiente de maneira segura e eficiente. Um entendimento dos sistemas sensoriais e motor e do relacionamento entre esses sistemas, assim como um entendimento das suas diferentes contribuições para o controle postural nos possibilita analisar sistematicamente as particulares alterações do equilíbrio que afetam os indivíduos. Esta análise permite também, prever a instabilidade específica do indivíduo em cada contexto. Deste modo, seguem-se descrições dos sistemas sensoriais e motores, do relacionamento entre estes sistemas, abordando algumas das alterações que ocorrem em função do envelhecimento e as relações destes sistemas com o controle postural.

### **2.2.1 - Sistemas Sensoriais**

Está amplamente aceito que a estabilidade postural é alcançada e mantida a partir da integração entre os sistemas sensoriais vestibular, visual e somatossensorial (HORAK e MACPHERSON, 1996; WINTER, 1995; NASHNER, 1981),

que oferecem ao sistema de controle postural informações sobre a orientação dos segmentos corporais uns em relação aos outros e em relação ao ambiente (JEKA; OIE e KIEMEL, 2000; HORAK e MACPHERSON, 1996; NASHNER, 1981). Como o funcionamento destes sistemas tem se mostrado alterado em adultos idosos (WOOLLACOTT, 1993; STELMACH et al., 1989), diversos estudos que investigam as causas de quedas em adultos idosos têm procurado determinar a contribuição relativa de cada sistema para a estabilidade postural, o que será explorado nos tópicos a seguir.

#### **2.2.1.1 - Sistema vestibular**

O sistema vestibular é formado pelos órgãos otólitos (utrículo e sáculo) e pelos ductos semicirculares, sensíveis à aceleração linear e angular da cabeça, respectivamente (HORAK e MACPHERSON, 1996). Este sistema modula reflexos posturais que, associados às informações proprioceptivas do pescoço, mantêm a cabeça e o pescoço orientados verticalmente, fornecendo uma plataforma estável para o sistema visual (GRABINER e ENOKA, 1995). Tanto o reflexo vestibular como o sinal perceptivo vestibular têm um papel específico na manutenção da postura ereta, principalmente sob condições em que outras informações sensoriais estão atenuadas ou ausentes (BACSI e COLEBATCH, 2005).

Algumas alterações estruturais no sistema vestibular ocorrem com o processo de envelhecimento. Sabe-se que a partir dos 45 anos de idade há uma

diminuição no número das células ciliadas vestibulares e sua substituição por tecido fibroso (RAUCH et al., 2001). Como consequência, ocorreria um declínio linear no número de neurônios vestibulares que levam as informações ao sistema nervoso central, mais especificamente, ao núcleo vestibular e ao cerebelo, com o avanço da idade. Além das alterações das porções periféricas do sistema vestibular, há também uma redução do número de neurônios da porção medial, lateral e descendente do núcleo vestibular, importantes para a coordenação dos movimentos dos olhos, cabeça e pescoço e para o controle postural (ALVAREZ et al., 2000).

Não se sabe ao certo até que ponto as alterações estruturais do sistema vestibular decorrentes do envelhecimento levariam a déficits funcionais deste sistema e, mais importante, se tais déficits levariam a alterações no desempenho de controle postural. Esta investigação não é uma tarefa fácil, dadas as dificuldades na avaliação e manipulação do sistema vestibular que, em muitos casos é desconfortável para o indivíduo avaliado. Uma das técnicas utilizadas para manipular este sistema é a estimulação galvânica vestibular no processo mastóide e verificação das respostas posturais decorrentes desta estimulação (p. ex. MACDOUGALL et al., 2006). Entretanto, este método de manipulação parece ser limitado, pois a influência da estimulação depende do limiar de resposta deste sistema inerente a cada indivíduo. Assim, mesmo numa população homogênea, diferentes intensidades de estimulação deveriam ser fornecidas para a obtenção de respostas similares, o que não é o caso dos estudos com estimulação galvânica.

Uma outra forma de avaliar a contribuição do sistema vestibular para o controle postural é a investigação do desempenho do sistema de controle postural de pacientes vestibulopatas (SPARTO; FURMAN e REDFERN, 2006; DEMURA et al., 2005; PETERKA e BENOLKEN, 1995; NASHNER; BLACK e WALL, 1982). Peterka e Benolken (1995) induziram oscilação postural através de rotações sinusoidais do ambiente visual em diferentes frequências e amplitudes e observaram que, em indivíduos normais, a amplitude de oscilação visualmente induzida alcança um nível de saturação com o aumento da amplitude do estímulo, ou seja, o indivíduo passa a ser menos influenciado por este estímulo. Por outro lado, indivíduos com perda vestibular bilateral não apresentam essa saturação, indicando que o sinal vestibular seria o responsável pelo fenômeno de saturação. Os autores concluíram que os indivíduos vestibulopatas são mais influenciados pela manipulação da informação visual e sugeriram que estes indivíduos não utilizam o sistema somatossensorial para compensar o déficit vestibular e diminuir a influência desta manipulação.

Na mesma perspectiva de Peterka e Benolken (1995), Sparto, Furman e Redfern (2006) realizaram um estudo buscando verificar os efeitos da idade e da hipofunção vestibular unilateral (HVU) nas respostas posturais ao fluxo óptico. Os autores verificaram que tanto o acoplamento quanto a magnitude de oscilação da cabeça em resposta ao estímulo óptico foram maiores em adultos idosos com e sem HVU em comparação aos adultos jovens sem HVU. Além disso, adultos jovens apresentaram uma saturação com o aumento do estímulo, não verificado nos grupos de adultos idosos. Surpreendentemente, não foram

encontradas diferenças entre os grupos de adultos idosos com e sem HVU, indicando que o efeito da idade é mais importante que a presença e HVU na oscilação da cabeça em resposta ao fluxo óptico.

A similaridade ou disparidade de comportamento entre dois grupos, sendo um grupo com e outro sem disfunção vestibular, pode estar relacionada ao grau desta disfunção. Esta hipótese também foi sugerida por Nashner, Black e Wall (1982), em que a confiança no sinal visual dinâmico pode ser dependente do grau de compensação vestibular. Esta observação é muito importante e torna mais evidente a dificuldade em analisar a contribuição do sistema vestibular para o controle postural, dada a complexidade em avaliar a integridade e o grau de compensação deste sistema. Se considerarmos agora, uma população de adultos idosos, sem diagnóstico de vestibulopatia, apenas com prováveis alterações do sistema vestibular em função do envelhecimento, a avaliação deste sistema se torna muito imprecisa.

#### **2.2.1.2 - Sistema Visual**

O sistema visual fornece informações a respeito da direção e velocidade dos segmentos corporais em relação ao ambiente (NASHNER, 1981). Segundo Paulus et al. (1989), quando o indivíduo se encontra em postura ereta não perturbada, o deslocamento de um alvo ou cenário visual estruturado na retina seria o principal estímulo visual para o sistema de controle postural controlar

o grau de oscilação corporal na direção ântero-posterior. Desta forma, o sistema de controle postural busca minimizar as alterações do cenário visual na retina, minimizando assim a oscilação corporal.

A visão tem um importante papel na manutenção da estabilidade postural de adultos idosos, particularmente em situações mais desafiadoras (LORD e MENZ, 2000; PRIOLI et al., 2006) e, em virtude das mudanças estruturais que ocorrem no sistema visual com o avanço da idade, a capacidade funcional deste sistema também é alterada. De acordo com uma revisão de literatura realizada por Maki e McIlroy (1996), adultos idosos apresentam redução da acuidade visual, da sensibilidade ao contraste, da percepção de profundidade e da adaptação em ambientes escuros. Além disso, há uma diminuição na capacidade de detectar mudanças de direção do fluxo óptico. Como consequência destas alterações, adultos idosos apresentam dificuldade em perceber mudanças no ambiente, tais como, alterações nas características do piso, desníveis e obstáculos (LORD; SHERRINGTON e MENZ, 2001).

Em relação ao papel desempenhado pela visão no controle postural em adultos idosos, tem sido observado que a diminuição de acuidade e sensibilidade ao contraste visual, especificamente, resultam no aumento da oscilação postural (LORD e MENZ, 2000; LORD e WARD, 1994; LORD; CLARK e WEBSTER, 1991<sup>b</sup>) e na inabilidade de realização das AVDs (HAYMES; JOHNSTON e HEYES, 2002), aumentando a predisposição à quedas nesta população.

O estudo realizado por Lord, Clark e Webster (1991<sup>b</sup>) buscou verificar a relação entre desempenho visual (acuidade visual e sensibilidade ao

contraste), oscilação corporal e quedas em adultos idosos. Os resultados indicaram que com o aumento da idade, houve diminuição da acuidade visual e sensibilidade ao contraste. Estas variáveis não foram associadas com oscilação corporal quando os indivíduos estavam sobre uma plataforma rígida, entretanto, quando eles estavam sobre uma espuma que fornecia informação proprioceptiva alterada, o aumento da oscilação corporal foi associada com um pior desempenho nestas avaliações visuais. Outro fato observado foi que adultos idosos caidores apresentaram uma pior sensibilidade ao contraste do que os não-caidores, indicando que a redução da visão pode ser um fator de predisposição à instabilidade postural e quedas.

Diversos estudos têm investigado a contribuição do sistema visual para o controle postural por meio de manipulações deste sistema e verificação da resposta postural desencadeada por esta manipulação. É simples manipular o sistema visual, sendo que o simples ato de fechar os olhos já é suficiente para observarmos alterações no controle postural. A movimentação do fluxo óptico, em diferentes amplitudes e frequências, também desencadeia alterações posturais e a influência e a relação entre estímulo visual e oscilação corporal podem ser analisadas. Estudos minuciosos com este enfoque são muito importantes na detecção de alterações no sistema de controle postural e serão explorados posteriormente no tópico de relacionamento entre informação sensorial e ação motora.

### **2.2.1.3 - Sistema somatossensorial**

O sistema somatossensorial é composto por vários receptores que captam a posição e a velocidade de todos os segmentos corporais, seu contato com objetos externos, inclusive o chão e a orientação da gravidade (WINTER, 1995). É formado pelos mecanorreceptores: exteroceptores e proprioceptores. Os exteroceptores são sensíveis ao toque, à vibração e à pressão. Os proprioceptores são sensíveis às alterações no comprimento e tensão dos músculos (pelos fusos neuromusculares e órgãos tendinosos de Golgi) e são sensíveis ao movimento articular (receptores articulares).

Em adultos idosos, o sistema somatossensorial encontra-se funcionalmente deteriorado (HURLEY; REES e NEWHAM, 1998; PETRELLA; LATTANZIO e NELSON, 1997; KAPLAN et al., 1985). Adultos idosos apresentam, por exemplo, um aumento no limiar de detecção de vibração pelos receptores cutâneos, principalmente nos membros inferiores (LORD e WARD, 1994; ERA et al., 1986; KENSHALO, 1986), diminuição da sensibilidade ao toque e discriminação de dois pontos (LORD e WARD, 1994; KENSHALO, 1986; VERRILLO e VERRILLO, 1985; BROCKLEHURST; ROBERTSON e JAMES-GROOM, 1982), além de diminuição do senso de posição articular (BULLOCK-SAXTON; WONG e HOGAN, 2001; HURLEY; REES e NEWHAM, 1998; PETRELLA; LATTANZIO e NELSON, 1997).

Diferenças significantes no senso de posição articular do joelho entre adultos jovens e idosos durante agachamentos foram verificadas no estudo de Bullock-Saxton, Wong e Hogan (2001). Neste estudo os indivíduos deveriam reproduzir ativamente a amplitude de movimento (ADM) previamente realizada em

torno de 20° a 35° de flexão de joelho, nas condições de descarga total e parcial de peso. Um achado importante foi que, na condição de descarga parcial de peso, os adultos idosos não conseguiram reproduzir corretamente a ADM, indicando que quando há descarga total de peso, os adultos idosos se comportam similarmente aos adultos jovens quanto ao senso de posição articular. Neste caso, a descarga de peso corporal é um fator que deve ser cuidadosamente controlado durante a investigação do desempenho proprioceptivo em adultos idosos.

Quando o senso de posição articular é testado ativamente, podem ocorrer contribuições maximizadas dos receptores musculares, devido à própria contração muscular e ativação dos fusos musculares envolvidos naquele determinado movimento. Além disso, na situação de agachamento, o sistema vestibular pode estar contribuindo significativamente para a percepção do posicionamento corporal. A integridade proprioceptiva pode então, não estar sendo consistentemente definida. Por este motivo, outros protocolos para avaliar o sistema proprioceptivo isoladamente estão sendo realizados. Por exemplo, Bonfin et al. (2003) utilizaram um equipamento que movimentava a articulação do joelho do participante e avaliaram o limiar de percepção de movimento passivo nesta articulação em indivíduos com reconstrução do ligamento cruzado anterior. A utilização deste equipamento possibilitou aos autores identificar diferenças na função proprioceptiva entre o grupo lesado e o grupo não lesado (propriocepção deteriorada nos lesados). Este método de avaliação seria ideal para investigar minuciosamente a função proprioceptiva em indivíduos idosos, uma vez que grande parte dos estudos avalia somente a reprodução ativa de ADM nesta

população. A partir desta avaliação, associações entre os desempenhos nesta avaliação e em avaliações de controle postural podem ser realizadas.

Assim como a função proprioceptiva, a sensibilidade cutânea também tem sido avaliada em adultos idosos. A sensibilidade cutânea é fornecida através mecanorreceptores, sendo que aqueles situados na região plantar do pé podem informar ao sistema de controle postural a posição do centro de pressão. Esta informação é imprescindível para que haja um controle das projeções do centro de massa corporal dentro dos limites da base de suporte. Lord e Ward (1994) utilizaram monofilamentos de diferentes espessuras para avaliar o limiar de percepção ao toque da superfície plantar de adultos idosos e observaram que este se encontra elevado com o avanço da idade. Neste mesmo estudo, os autores objetivaram analisar a influência da deterioração dos sistemas vestibular, visual e somatossensorial na estabilidade postural de adultos idosos. Foi constatado que, em condições normais, não desafiadoras, o aumento da oscilação postural em adultos idosos está associado à perda sensorial dos membros inferiores (sensibilidade à vibração, ao toque e senso de posição articular), enquanto que os sistemas visual e vestibular parecem secundários na manutenção da postura nestas condições. Já em situações mais desafiadoras, como permanecer em pé sobre uma espuma, em que as informações proprioceptivas estão alteradas, o aumento da oscilação corporal com a idade está associado à deterioração do sistema visual e ao declínio de força muscular dos membros inferiores. Uma limitação deste estudo foi a ausência de uma avaliação mais detalhada do relacionamento entre informação sensorial e ação motora e a falta de controle de

presença de doenças associadas ao envelhecimento, que pode interferir nos resultados encontrados. É importante investigar precisamente como estes sistemas se relacionam para, posteriormente, buscar entender se as alterações no controle postural em adultos idosos estão relacionadas às deteriorações dos sistemas sensorial e motor.

### **2.2.2 – Sistema Motor**

Alterações no sistema motor também ocorrem com o envelhecimento. Sob condições normais, o nível de força muscular produzido por seres humanos diminui acentuadamente após os 60 anos de idade (HÄKKINEN et al., 1995; HÄKKINEN e HÄKKINEN, 1991). Além da diminuição dos níveis de força produzidos com o avanço da idade, o sistema neuromuscular leva um tempo maior para a produção de força máxima (MACKEY e ROBINOVITCH, 2006; YOUNG e SKELTON, 1994; VANDERVOORT, 1992; HÄKKINEN e HÄKKINEN, 1991).

A fraqueza muscular nos membros inferiores é o fator de risco de quedas mais comumente citado na literatura (AMERICAN GERIATRICS SOCIETY, BRITISH GERIATRICS SOCIETY, AND AMERICAN ACADEMY OF ORTHOPAEDIC SURGEONS PANEL ON FALLS PREVENTION, 2001). Tal fraqueza está associada principalmente a mudanças estruturais no sistema músculo-esquelético dos adultos idosos. A atrofia muscular (sarcopenia) é uma das mais notáveis alterações que ocorrem com o envelhecimento e está relacionada à diminuição no número e no tamanho das fibras musculares (FRONTERA et al., 2000), principalmente fibras musculares

de contração rápida do Tipo II (ANIANSSON; GRIMBY e HEDBERG, 1992). Concomitantemente à atrofia muscular, ocorre um aumento na quantidade de gordura intramuscular e da área preenchida por tecido conectivo (GOODPASTER et al., 2001; KENT-BRAUN; NG e YOUNG, 2000).

Além das alterações no sistema músculo-esquelético, fatores neuronais como a redução no número de unidades motoras, a diminuição no número de neurônios motores encontrados na medula espinhal e a redução na capacidade do sistema nervoso central em enviar impulsos nervosos e ativar as unidades motoras (HÄKKINEN e HÄKKINEN, 1991) também podem ser responsáveis pela diminuição da força muscular e pelo aumento no tempo para que o músculo atinja sua capacidade máxima de geração de força.

A diminuição de força e aumento do tempo para produção de força máxima podem levar a uma incapacidade de gerar torque adequado nas articulações responsáveis pela manutenção da postura. Este é um fator que, em muitos estudos, aparece como preditor da instabilidade e ocorrência de quedas em adultos idosos. Laughton et al. (2003) examinaram o efeito da idade e da ocorrência de quedas na mensuração da atividade muscular de alguns músculos da coxa e da perna. Os resultados apontaram que adultos idosos, tanto caidores como não-caidores, aumentaram a ativação muscular em aproximadamente três vezes, sobretudo nos músculos tibial anterior e vasto lateral, em relação aos indivíduos adultos. Além disso, a porcentagem de co-ativação entre os músculos tibial anterior e sóleo também foi maior para o grupo de adultos idosos. Assim, estes autores sugeriram que tanto o aumento da atividade muscular, como a

elevada co-ativação dos músculos da perna, aparecem como estratégias adotadas pelos adultos idosos, em detrimento da diminuição da força muscular. Ainda, tais estratégias buscariam aumentar a sensibilidade nas articulações e, conseqüentemente, melhorar a qualidade da informação aferente.

Há alguns relatos, entretanto, de que os adultos idosos não apresentam diminuição de força dos músculos dorsiflexores do tornozelo (SIMONEAU; MARTIN e VAN HOECKE, 2005), assim como sua capacidade de ativação muscular voluntária não se altera com o envelhecimento (KLASS; BAUDRY e DUCHATEAU, 2005). Estes estudos sugerem que os adultos idosos são capazes de ativar a musculatura do tornozelo de maneira tão eficaz quanto os adultos jovens. De fato, os adultos idosos não apresentam uma diminuição de força quando eles necessitam apenas manter a postura em pé (SPIRDUSO, 2005), ou seja, é provável que a articulação do tornozelo esteja em condições satisfatórias para a manutenção da postura quando não são realizadas grandes amplitudes de movimento (ADM) ao redor desta articulação.

Estudos recentes têm sugerido que a habilidade necessária para um indivíduo manter a postura ereta estável, bem como para restabelecer o equilíbrio após uma situação de perturbação, não depende somente da magnitude do torque gerado, mas também do tempo gasto pelo sistema de controle postural para gerar este torque. Horak, Shupert e Mirka (1989) relataram que adultos idosos apresentam uma diminuição na velocidade de processamento central de informação e na velocidade de transmissão de impulsos nervosos. Assim, Robnovitch et al. (2002) combinaram experimentos e modelos matemáticos para

determinar como a magnitude e a velocidade de torque afetam a habilidade de recuperar o equilíbrio a partir da estratégia do tornozelo. Os resultados mostraram que a capacidade de recuperação do equilíbrio, numa situação de perturbação inesperada, está limitada substancialmente pelo atraso no início de geração de torque. Além disso, parâmetros relacionados à velocidade de geração de torque parecem reduzir pela metade a magnitude da perturbação na qual o equilíbrio pode ser recuperado a partir da estratégia do tornozelo.

Uma outra alteração presente nos adultos idosos é a diminuição da ADM. (VANDERVOORT et al.,1992). A principal causa para esta diminuição seria o aumento na quantidade de colágeno nos tecidos conectivos e degeneração das fibras de elastina dos músculos e tecidos conectivos (incluindo tendões, ligamentos e fâscias) (HOOLLAND et al., 2002). A redução de elasticidade de músculos e tecidos conectivos, somada às mudanças nas articulações sinoviais, leva o idoso a apresentar menor flexibilidade articular e, conseqüentemente, menor ADM. Alguns estudiosos defendem a hipótese de que a diminuição de flexibilidade pode dificultar a recuperação do equilíbrio postural quando este é perturbado, aumentando então, o risco de quedas. Entretanto acredita-se que, exceto em situações em que a ADM está extremamente diminuída, a sua influência no controle postural é considerável.

Mesmo havendo evidências da relação entre alterações dos sistemas sensoriais e efetor e o declínio do desempenho de controle postural em adultos idosos, as deteriorações fisiológicas, sozinhas, podem não ocasionar déficits funcionais de controle postural, uma vez que pessoas com uma particular

deterioração podem apresentar diferenças entre elas quanto à função do controle postural, dependendo do tipo de deterioração e das estratégias utilizadas para compensar tal deterioração (HORAK, 2006). Em outras palavras, quantificar a deterioração é importante, mas não é capaz de prever totalmente a função do equilíbrio. Sendo assim, o próximo tópico abordará as estratégias que o sistema de controle postural utiliza para lidar com diversas situações que exigem demasiadamente deste sistema.

### **2.2.3 – Relacionamento entre informação sensorial e ação motora**

Como já salientado anteriormente, controle postural tem sido entendido como o resultado de um relacionamento dinâmico entre informação sensorial e ação motora (HORAK e MACPHERSON, 1996). Neste caso, informações sensoriais são integradas nos centros superiores do sistema nervoso central, possibilitando a formação de um quadro de referência utilizado para identificar o relacionamento entre os segmentos e a orientação destes em relação ao ambiente (JEKA; OIE e KIEMEL, 2000). Com base neste quadro de referência, atividade muscular específica é desencadeada, buscando manter ou alcançar a orientação e o equilíbrio postural desejado. Assim, nas situações em que esta dependência mútua entre informação sensorial e ação motora são repetidas ou manifestadas de forma regular, o padrão ou ciclo percepção-ação é formado (BARELA, 2000; SCHÖNER, 1991), o que também pode ser chamado de acoplamento entre informação sensorial e ação motora.

Infelizmente, temos pouco conhecimento sobre este relacionamento em adultos idosos. Tendo em vista que tanto o sistema sensorial quanto o sistema motor vão perdendo sua capacidade funcional com o envelhecimento, o relacionamento entre estes dois sistemas também poderia se modificar em função da idade. As alterações dos sistemas somatossensorial, visual e vestibular decorrentes do envelhecimento podem fornecer informação sensorial reduzida e inapropriada para os centros de controle postural. Os músculos efetores, similarmente, podem perder a capacidade de responder apropriadamente aos distúrbios na postura. O controle postural apropriado, então, não é alcançado e, como conseqüência mais drástica, a predisposição a quedas aumenta consideravelmente. Desta forma, se o acoplamento entre informação sensorial e ação motora não ocorre de maneira coerente e estável, a eficácia do sistema de controle postural pode estar ameaçada.

Uma maneira de examinar o acoplamento entre informação e ação é manipular uma informação sensorial e verificar as respostas motoras decorrentes desta manipulação. Isto pode ser feito utilizando o paradigma da sala móvel (p. ex. POLASTRI; BARELA e BARELA 2001; DIJKSTRA et al., 1994) que consiste na movimentação do cenário visual e observação da oscilação corporal decorrente desta manipulação. Nesta situação, os canais sensoriais disponíveis não fornecem a mesma informação (movimento versus estabilidade), criando uma situação de conflito sensorial. A solução para este conflito é atribuir pesos diferentes aos canais sensoriais, dependendo da relevância de cada um no contexto da tarefa.

Wade et al. (1995) foram os pioneiros a examinar a influência da informação visual na oscilação corporal em adultos idosos, através de movimentos discretos de uma sala móvel. De forma geral, indivíduos idosos foram mais susceptíveis às manipulações do fluxo óptico e apresentaram maior oscilação corporal quando comparados a adultos jovens. Segundo estes autores, adultos idosos oscilam mais devido à diminuição da capacidade dos sistemas somatossensorial e vestibular em detectar movimentos corporais, resultando em uma maior influência das informações visuais no controle da postura.

Buscando verificar, de forma quantitativa, o acoplamento entre informação visual e oscilação corporal em adultos idosos, Polastri; Barela e Barela (2001) movimentaram continuamente (movimento sinusoidal) uma sala móvel, durante 60 segundos. Os resultados apontaram que os adultos idosos foram mais suscetíveis à manipulação da informação visual proveniente da sala móvel, alterando a oscilação corporal em decorrência do movimento da sala. Além disso, adultos idosos tenderam a apresentar um acoplamento mais forte entre informação visual e oscilação corporal. Mais interessante, contudo, foi que, diferentemente dos adultos jovens, nenhum idoso conseguiu identificar que a informação visual havia sido manipulada. Com base nestes resultados, os autores sugeriram que o sistema de controle postural de adultos idosos teria dificuldade em integrar todas as informações sensoriais, além de não conseguir distinguir a informação conflitante, no caso, a informação visual e discriminar de forma precisa a situação real.

Recentemente, Prioli, Freitas Junior e Barela (2005) realizaram um estudo no qual adultos idosos foram expostos a movimentos contínuos e discretos da sala móvel. O movimento contínuo foi realizado durante 60 segundos, com movimentos periódicos, para frente e para trás, com amplitude de 0,5cm, velocidade de 0,6cm/s e frequência de 0,2Hz, enquanto que o movimento discreto foi retilíneo, para frente ou para trás durante 2 segundos, com amplitude de 2,6cm, e velocidade de 1,3cm/s. Os autores observaram que, na situação contínua, a força do acoplamento entre informação visual e oscilação corporal foi maior em adultos idosos. Na situação discreta, os adultos idosos apresentaram maior deslocamento corporal, induzido pelo movimento da sala, comparados aos adultos jovens. Assim, foi sugerido que adultos idosos não apresentam problemas em detectar a informação sensorial manipulada, tendo em vista que em ambas as situações os adultos idosos sofreram influência desta manipulação. Entretanto, os autores sugeriram que os indivíduos idosos apresentariam problemas no processo de integração sensorial, que possibilitaria discriminar situações conflitantes e, com base na utilização da informação sensorial mais relevante, produzir atividade motora apropriada para alcançar ou manter uma posição corporal desejada num menor tempo possível.

Com base nos estudos citados, podemos afirmar que quando submetidos à situação de conflito sensorial, principalmente aquelas que exigem maiores demandas do sistema de controle postural (Prioli et al., 2006), adultos idosos apresentam dificuldades em resolver a situação conflitante. Este é o caso em que muitas quedas ocorrem. Não é surpresa, portanto, que adultos idosos

demonstram uma maior predisposição aos acidentes diários. Uma das hipóteses levantadas por Prioli, Freitas Junior e Barela (2005) é que adultos idosos necessitam de um tempo maior para processar todas as informações presentes em uma situação de conflito sensorial e, como consequência, ocorre um maior deslocamento corporal comparados a adultos jovens, que conseguem resolver a situação num tempo menor. Portanto, a obtenção de um conhecimento preciso e rápido da situação em questão parece ser crucial para que o sistema de controle postural de adultos idosos possa manter a estabilidade postural.

Dificuldades de adultos idosos em responder adequada e rapidamente às situações impostas têm sido observadas em outras situações experimentais. Makey e Robinovitch (2006) examinaram a importância relativa da força (pico de torque angular) e da velocidade de resposta (tempo de reação) na habilidade dos indivíduos em utilizar a estratégia do tornozelo para recuperar o equilíbrio a partir de um determinado ângulo de inclinação corporal. Ao compararem mulheres jovens e idosas, os resultados indicaram que tanto a força quanto a velocidade de resposta são menores para as mulheres idosas. Os autores propuseram que o atraso no tempo de resposta ocorreu devido às diferenças na percepção do estímulo e no processamento de comandos motores e não por diferenças nos mecanismos de contração (representados pelo tempo decorrido para o início de produção de torque após o início de ativação muscular).

A partir da movimentação da superfície de suporte também é possível verificar as respostas posturais decorrentes desta perturbação. Em relação à latência para ativação muscular após perturbação do equilíbrio, sabe-se

que a partir dos 40 anos de idade existe uma tendência, que é acentuada em idades mais avançadas, dos indivíduos apresentarem um aumento desta latência (FREITAS JUNIOR, 2003; LIN e WOOLLACOTT, 2002). Este aumento poderia ocorrer devido ao maior tempo gasto para que a perturbação seja detectada pelos sistemas sensoriais, em virtude da diminuição da capacidade de processamento e integração da informação sensorial (WOOLLACOTT; SHUMWAY-COOK e NASHNER, 1986) e em virtude da diminuição da velocidade de condução nervosa aferente e eferente verificada em adultos idosos (RIVNER, SWIFT e MALIK, 2001; DORFMAN e BOSLEY, 1979). Se este for o caso, possíveis alterações nos sistemas sensoriais e motores, de forma independente, podem não ser as alterações cruciais que provocariam as maiores alterações no funcionamento do sistema de controle postural de idosos. Pode ser que a integridade e a eficiência em como as informações sensoriais e a atividade motora estão relacionadas (acoplamento entre percepção e ação) sejam mais importantes para um bom desempenho no controle postural do que as deteriorações isoladas de cada sistema. Não se sabe, entretanto, em detalhes se as deteriorações dos sistemas sensoriais e motor provocariam alterações no relacionamento entre eles e principalmente os efeitos destas alterações no funcionamento do sistema de controle postural.

O foco principal em grande parte dos estudos que procuram esclarecer o relacionamento entre informação sensorial e ação motora tem sido a análise dos mecanismos corretivos. Contudo, uma variedade de possíveis papéis dos processos preditivos pode estar presente no desempenho de controle postural durante a perturbação mecânica ou sensorial da postura ereta. Com base nesta

hipótese, Mussolino et al (2006) investigaram como uma relativa previsibilidade do movimento de um cenário visual influencia a magnitude de oscilação corporal. Previsibilidade, para estes autores, é um mecanismo capaz de estimar futuros estados sensoriais e facilitar a integração sensorial, diminuindo o tempo requerido para processar as informações sensoriais e seria fornecida através de sinais sinusoidais contínuos e periódicos. Os indivíduos foram expostos à movimentação de um cenário visual composto por três frequências simultaneamente, que se repetiam continuamente de maneira periódica e não-periódica. Os autores observaram que o sinal periódico desencadeou maiores amplitudes de oscilação corporal, comparado ao não-periódico, levando-os a sugerir que o sistema de controle postural pode, de fato, ser sensível à periodicidade do fluxo óptico. Entretanto, ao contrário do que foi hipotetizado pelos autores, esta periodicidade não foi acompanhada por atenuação da oscilação em resposta ao fluxo óptico periódico. Acredita-se que um entendimento dos mecanismos corretivos e preditivos envolvidos no controle postural possibilite um entendimento mais completo das alterações de estabilidade presentes nos adultos idosos.

Apesar de diversos estudos mostrarem evidências das contribuições dos sistemas sensoriais e motores para o controle postural, a relação entre a deterioração desses sistemas e o declínio no desempenho do sistema de controle postural em adultos idosos é apenas especulada. Não há, num mesmo estudo e numa mesma amostra, análises do desempenho de controle postural observando os aspectos sensoriais e motores, a relação entre estes dois sistemas e as conseqüências dos danos sensoriais e motores causados pelo envelhecimento no

desempenho de controle postural. Observar as respostas posturais à manipulação da informação sensorial e procurar determinar, se houver, quais as possíveis conseqüências da deterioração dos sistemas sensoriais e motor no desempenho de controle postural em adultos idosos nesta situação poderia facilitar o esclarecimento das causas de instabilidade postural nesta população. Estas são as questões que norteiam este trabalho.

### **3 – OBJETIVOS**

Este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho dos sistemas sensoriais e motor e do controle postural de adultos idosos e investigar a relação entre as alterações destes sistemas e o controle postural desta população

Especificamente, os objetivos deste estudo foram:

- Comparar a funcionalidade dos sistemas sensoriais visual e somatossensorial entre adultos jovens e idosos;
- Comparar a funcionalidade do sistema motor entre adultos jovens e idosos;
- Analisar e comparar as respostas musculares decorrentes de perturbação mecânica inesperada da postura ereta entre adultos jovens e idosos;
- Analisar e comparar o desempenho de controle postural, com e sem a manipulação da informação visual no controle postural em adultos idosos;
- Identificar a contribuição das variáveis sensoriais e motoras para o desempenho de controle postural.

## 4 – MÉTODO

### 4.1 – Participantes

Participaram deste estudo 40 pessoas, de ambos os gêneros, sendo 20 pessoas com idade entre 65 e 76 anos, que formaram o grupo de adultos idosos (GAI) e 20 pessoas com idade entre 18 e 26 anos, que formaram o grupo de adultos jovens (GAJ). Os participantes do grupo de adultos jovens eram, em sua maioria, estudantes universitários e os participantes idosos foram provenientes da comunidade de Rio Claro que não estavam participando nem tenham participado nos últimos dois anos de qualquer programa de atividade física regular e sistematizado. Como forma de obter mais controle sobre o nível de atividade física dos grupos participantes, foram aplicados os seguintes questionários: Questionário de Baecke Modificado para Idosos<sup>1</sup> (Anexo1), que abrange três áreas básicas: atividades domésticas, atividades esportivas e

---

<sup>1</sup> Adaptado de Modified Baecke Questionnaire for Older Adults. **Official Journal of the American College of Sports Medicine**, v.29, n.6, p.S117-S121, 1997.

<sup>2</sup> Adaptado de Baecke Questionnaire of Habitual Physical Activity. **Official Journal of the American College of Sports Medicine**, v.29, n.6, p.S15-S18, 1997.

atividades de lazer, validado por Mazo et al. (2001). Também foram aplicados outros dois questionários (Anexo2) ao grupo de adultos idosos: um questionário sobre histórico de quedas, para certificar que os adultos idosos não eram caidores e um questionário sobre tontura, para garantir que estes adultos idosos não apresentavam qualquer sintoma de disfunção vestibular mesmo que não houvesse o diagnóstico da mesma.

Os participantes assinaram de um termo de consentimento livre e esclarecido (Apêndice1), aprovado pela Comissão de Ética do Instituto de Biociências da UNESP, Campus de Rio Claro (Anexo3), no qual o participante era informado de que poderia interromper sua participação quando da sua vontade e que sua identidade seria mantida em sigilo. Todos os participantes relataram não apresentar qualquer tipo de dor, doença, disfunção visual, musculoesquelética e/ou neurológica. Os participantes também não faziam uso de medicação benzodiazepínica e antidepressiva e não utilizavam próteses ou órteses. Aos participantes adultos idosos ainda foi realizado o Mini Exame do Estado Mental (MMSE) (Anexo4), com a finalidade certificar a ausência de disfunção cognitiva destes participantes. As Tabelas 1 e 2 apresentam a idade, massa corporal, estatura, índice de massa corpórea (IMC) e gênero dos participantes do GAJ e do GAI.

**Tabela 1.** Idade, massa, estatura, IMC e gênero dos participantes adultos jovens.

<b>Participante</b>	<b>Idade (anos)</b>	<b>Massa (kg)</b>	<b>Estatura (m)</b>	<b>IMC</b>	<b>Gênero</b>
1	20,2	52,3	1,57	21,2	F
2	22,2	50	1,6	19,5	F
3	21,4	63	1,76	20,3	M
4	25,2	59,6	1,73	19,9	M
5	19,8	61,5	1,71	21	M
6	21,8	72	1,6	28,1	F
7	26,7	57,6	1,66	20,9	F
8	18	67	1,71	22,9	F
9	22,2	68,5	1,8	21,1	M
10	24,2	68	1,79	21,2	M
11	19,3	50,9	1,55	21,2	F
12	23,7	59,4	1,83	17,7	M
13	22,6	54,3	1,6	21,2	F
14	24,2	77,5	1,82	23,4	M
15	20,4	62,3	1,75	20,3	M
16	21,7	59,2	1,63	22,3	F
17	22,2	61,6	1,63	23,2	F
18	21,2	56,2	1,65	20,6	F
19	19,8	84,7	1,74	28	M
20	20,7	59,2	1,66	21,5	M
<b>Média</b>	<b>21,9</b>	<b>62,2</b>	<b>1,69</b>	<b>21,8</b>	
<b>Desvio Padrão</b>	<b>2,1</b>	<b>8,8</b>	<b>0,09</b>	<b>2,5</b>	

**Tabela 2.** Idade, massa, estatura, IMC e gênero dos participantes adultos idosos.

<b>Sujeito</b>	<b>Idade (anos)</b>	<b>Massa (kg)</b>	<b>Estatura (m)</b>	<b>IMC</b>	<b>Gênero</b>
1	74,3	89,5	1,66	32,5	M
2	68,9	111,5	1,65	41	M
3	76,4	66	1,59	26,1	M
4	67,5	62	1,51	27,2	F
5	72,8	61,5	1,55	25,6	M
6	65,2	70,2	1,54	29,6	F
7	74,9	67,5	1,57	27,4	F
8	67,1	79	1,71	27	M
9	68,4	105	1,68	37,2	M
10	66	102,8	1,81	31,4	M
11	72,5	55	1,45	26,2	F
12	65,7	78,4	1,61	30,2	F
13	71,9	71,2	1,55	29,6	F
14	66,8	64,7	1,58	25,9	F
15	66,2	70,5	1,58	28,2	F
16	65,1	72,8	1,64	27,1	M
17	75,7	55	1,5	24,4	F
18	71,2	82,8	1,63	31,2	M
19	66,7	83,9	1,64	31,2	F
20	66,3	87,2	1,72	29,5	M
<b>Média</b>	<b>68,9</b>	<b>75,5</b>	<b>1,61</b>	<b>28,9</b>	
<b>Desvio Padrão</b>	<b>3,7</b>	<b>14,6</b>	<b>0,09</b>	<b>3,1</b>	

## 4.2 – Procedimentos

Com exceção de dois participantes, os participantes realizaram uma única visita ao Laboratório para Estudos do Movimento (LEM – Departamento de Educação Física, Instituto de Biociências, UNESP – RC) para a realização das avaliações sensoriais, motoras e de controle postural. Os participantes que precisaram retornar ao laboratório um outro dia realizaram duas avaliações não realizadas no primeiro dia por problemas técnicos em alguns equipamentos. Antes do início das avaliações, foram aplicados os questionários de Baecke, de histórico de tontura e de quedas e o MMSE. Para alguns participantes, estes questionários foram realizados em suas próprias casas alguns dias antes da visita ao laboratório. A ordem dos procedimentos foi estabelecida visando à racionalidade de execução e organizada de maneira a evitar a interferência da realização de uma avaliação nos resultados de outras avaliações.

A ordem de execução das avaliações é apresentada no Quadro 1.

**Quadro 1:** Ordem da execução das avaliações realizadas na visita ao laboratório.

- 
1. Acuidade visual
  2. Sensibilidade ao contraste visual
  4. Sensibilidade cutânea
  5. Manutenção da postura ereta
  6. Acoplamento entre informação visual e oscilação corporal – informação visual periódica
  7. Acoplamento entre informação visual e oscilação corporal – informação visual não-periódica
  8. Acoplamento entre informação visual e oscilação corporal – informação visual periódica-complexa
  9. Resolução de conflito sensorial
  10. Sensibilidade ao movimento passivo – tornozelo
  11. Sensibilidade ao movimento passivo – joelho
  12. Produção de torque articular – joelho
  13. Produção de torque articular – tornozelo
  14. Latência da resposta muscular
- 

A seguir, os procedimentos, as variáveis dependentes, o tratamento dos dados e análises estatísticas aplicadas são apresentados de forma resumida, separados para cada avaliação.

#### **4.2.1 - Sistemas sensoriais**

##### **4.2.1.1 - Sistema Visual**

Como sugerido por Owsley (2003), para a maioria das pessoas, as medidas de acuidade visual e de sensibilidade ao contraste seriam uma indicação adequada de desempenho visual. Logo, estas foram as avaliações utilizadas para avaliação funcional do sistema visual.

#### **4.2.1.1.1 - Acuidade visual**

Objetivo: Identificar acuidade visual do sujeito em relação à acuidade visual normal.

Descrição: A Figura 1 ilustra como foi realizada a avaliação da acuidade visual com a Escala Optométrica. Nesta escala, cada fileira é designada por figuras "E", giradas aleatoriamente em quatro orientações diferentes ao longo do quadro, sendo que a cada fileira, o tamanho das figuras é reduzido gradativamente. O participante foi posicionado a 5 metros de distância deste quadro e ambos os olhos foram testados simultaneamente. Os participantes que usavam óculos no dia-a-dia realizaram esta e as demais avaliações utilizando-os. Para cada optotipo, o participante foi instruído a apontar na mesma direção das três "barras" do E (para cima, para baixo, para a direita ou para a esquerda).

Variável dependente: A acuidade registrada foi o número correspondente à fileira em que o participante foi capaz de acertar pelo menos 2/3 dos optotipos desta fileira. Por exemplo, se a fileira contém 6 optotipos, ele deveria acertar 4. A escala vai de 0,1 a 1, sendo este último correspondente à fileira que uma pessoa com visão normal é capaz de enxergar. Quanto mais próximo de 1, melhor é a acuidade visual do indivíduo.



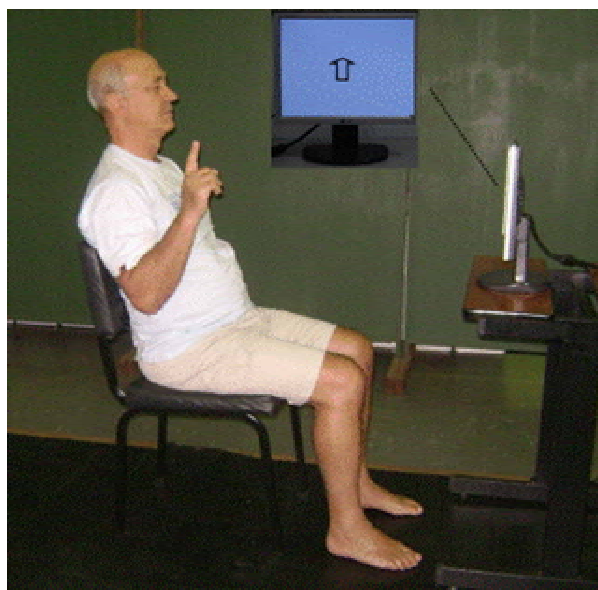
**Figura 1.** Situação experimental da avaliação de acuidade visual com a Escala Optométrica.

Análise estatística: Por ser uma variável de escala ordinal, o teste estatístico aplicado para verificar possíveis diferenças entre os grupos etários foi o Teste U de Mann-whitney.

#### **4.2.1.1.2- Sensibilidade ao contraste**

Objetivo: Avaliar a discriminação visual frente à variação de contraste do optotipo.

Descrição: Foi desenvolvido um teste computadorizado para a avaliação de sensibilidade ao contraste visual com base no *TwoDocs Color Test* (KJAER et al., 2000). Figura 2 ilustra como foi realizada a avaliação da sensibilidade ao contraste visual.



**Figura 2.** Situação experimental da avaliação de sensibilidade ao contraste visual.

Neste teste, foram apresentados aos participantes setas que apontavam para baixo, para cima, para a direita ou para a esquerda, através de um monitor de computador posicionado a aproximadamente 70 cm de distância do participante. A avaliação foi iniciada com a apresentação de um optotipo com o máximo de contraste entre o optotipo e o fundo branco e os próximos optotipos foram apresentados com diminuição gradativa do contraste. Ao todo foram 12 optotipos de diferentes contrastes, de tamanho constante e de cor preta sobre um fundo branco. A cada optotipo, ocorreu a redução de contraste em 0,15 unidades logarítmicas, correspondendo às seguintes porcentagens de contraste: 100, 70, 50, 36, 25, 18, 9, 6, 4, 3, 2 e 1%.

Variável dependente: A sensibilidade ao contraste foi expressa em decimal correspondente à porcentagem mínima de contraste visualizada pelo

participante. Quanto maior o valor, maior é a sensibilidade ao contraste e melhor é o desempenho visual.

Análise estatística: Por também ser uma variável de escala ordinal, foi utilizado o Teste U de Mann-whitney para verificar as possíveis diferenças entre os grupos de adultos jovens e adultos idosos.

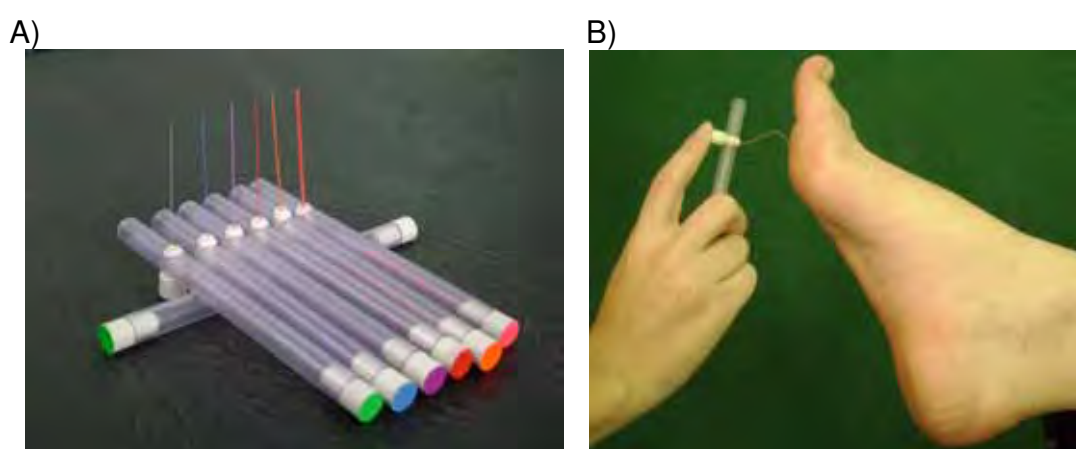
#### **4.2.1.2 - Sistema somatossensorial**

##### **4.2.1.2.1 - Sensibilidade cutânea**

Objetivo: Avaliar e quantificar o limiar de sensibilidade à pressão cutânea.

Descrição: Foi utilizado do Kit Estesiômetro (Semmes-weinstein Monofilaments) para avaliação da sensibilidade cutânea. Este kit consiste em um conjunto de 6 monofilamentos de nylon, de comprimentos iguais, cores e diâmetros diferentes, que exercem pressão sobre a pele de acordo com a gramagem do filamento, que varia de 0,05 a 300g. O protocolo de execução da avaliação seguiu as instruções do fabricante do produto. A aplicação foi feita a partir de um posicionamento no ângulo de 90 graus entre o filamento e a pele do avaliado e a pressão deveria atingir a força suficiente para curvar o filamento. A avaliação começou com o filamento menos espesso e o avaliado, com os olhos fechados, foi instruído a responder “sim” quando sentisse a pressão na pele e deveria indicar o local em que sentiu a pressão do filamento. Os dois filamentos menos espessos poderiam ser aplicados até 3 vezes, sendo que uma única

resposta positiva seria o suficiente para indicar a sensibilidade no nível indicado. A avaliação foi realizada na superfície plantar da primeira articulação metatarsfalangiana do pé direito do avaliado (MENZ; MORRIS e LORD, 2006). A Figura 3 ilustra o Kit Estesiômetro e como foi realizada a avaliação da sensibilidade cutânea.



**Figura 3.** Kit Estesiômetro (Semmes-weinstein Monofilaments) (A) e situação experimental da avaliação da sensibilidade cutânea (B).

Variável dependente: Resposta positiva do participante quanto à percepção da pressão do filamento, dada em gramas.

Análise estatística: Por também ser uma variável de escala ordinal, foi utilizado o Teste U de Mann-whitney para verificar as diferenças entre os grupos etários.

#### **4.2.1.2.2 - Sensibilidade ao movimento passivo**

Objetivo: Determinar o limiar de detecção de movimento passivo articular de joelho e de tornozelo.

Descrição: Foi utilizado um equipamento especialmente desenvolvido para este experimento, ilustrado na Figura 4.



**Figura 4.** Situação experimental da avaliação de sensibilidade ao movimento articular passivo.

Para o movimento na articulação do tornozelo, o participante, na posição sentada (ângulo coxa-perna em torno de 90 graus), permaneceu com o pé direito apoiado sobre uma base, (ângulo perna-pé em torno de 90 graus) que realizava ora flexão plantar, ora dorsiflexão do tornozelo a 0,5 graus/segundo (BONFIM; PACCOLA e BARELA, 2003), a partir de um sistema constituído por um motor HP1/3 controlado por um regulador de tensão SIEMENS. Para o movimento de joelho, o participante permaneceu na posição sentada, com as

pernas pendentes (ângulo coxa-perna em torno de 120 graus), sem contato da região poplíteia com o assento da cadeira e a perna direita foi ora flexionada, ora estendida através do sistema que tocava a parte posterior do calçado do participante. Assim que o participante, de olhos fechados, detectava que a perna ou o pé estava sendo movimentado (a), ele interrompia o movimento do servo-mecanismo, acionando um dispositivo, mantido em sua mão durante a execução da avaliação. Foram realizadas três tentativas em cada condição (extensão e flexão) para cada articulação, sendo realizadas primeiramente as tentativas do tornozelo e depois do joelho, com direção do movimento determinada de forma randomizada. O participante foi informado de que o movimento poderia iniciar a qualquer momento após o comando “Prepare... valendo!” e foi instruído a acionar o dispositivo o mais rápido possível, assim que percebesse o movimento. O intervalo de tempo decorrido entre o comando e o início do movimento foi também variado randomicamente para evitar que o participante acionasse o dispositivo sem que o movimento estivesse realmente ocorrido. Após cada tentativa, o participante era questionado sobre a direção do movimento (extensão ou flexão) para certificar que ele realmente havia sentido o mesmo. Antes da execução da avaliação, houve uma demonstração ao participante de como seria o movimento articular. O deslocamento angular foi registrado utilizando um sistema de análise de movimento OPTOTRAK (3020, NDI, Inc.).

Tratamento dos dados: O tratamento dos dados e o cômputo das variáveis foram realizados utilizando rotinas escritas em MATLAB (Math Works, versão 7.0). Os dados do deslocamento angular foram filtrados por meio de um

filtro digital Butterworth passa baixa de 2ª ordem e com frequência de corte de 30Hz.

Variável dependente: Deslocamento em graus da posição inicial até a posição em que o movimento foi detectado e interrompido pelo participante. Quanto menor o deslocamento, menor o limiar de detecção de movimento passivo, indicando uma melhor qualidade da informação somatossensorial.

Análises estatísticas: foram realizadas duas análises de multivariância (MANOVA) (2x2). A primeira MANOVA foi realizada para analisar a sensibilidade ao movimento passivo, tendo como fatores grupo (GAJ e GAI) e direção (flexão ou extensão), sendo este último fator tratado como medida repetida. As variáveis dependentes para esta análise foram os deslocamentos angulares de joelho e de tornozelo. A segunda MANOVA teve como fatores o grupo (GAJ e GAI) e a articulação (joelho e tornozelo), sendo este último tratado como medida repetida. As variáveis dependentes para esta análise foram os deslocamentos angulares de flexão e extensão.

## **4.2.2 - Sistema Motor**

### **4.2.2.1 - Produção de torque articular**

Objetivo: Quantificar a capacidade de produção de torque das articulações de joelho e tornozelo, tanto em flexão quanto em extensão.

Descrição: Esta avaliação foi realizada de acordo com a recomendação de procedimento da Sociedade Americana de Fisiologia do

Exercício (ASEP) (BROWN e WEIR, 2003). O equipamento que foi especialmente desenvolvido para este experimento está ilustrado na Figura 5.

Para o torque extensor da articulação do joelho, a partir da posição sentada e com o joelho semi-flexionado em torno de 60 graus a partir da extensão completa, o participante realizou contração isométrica de extensão do joelho direito contra um aparador que propiciou resistência à força realizada. Para a flexão, a mesma articulação foi semi-flexionada em torno de 30 graus a partir da extensão completa, realizando contração isométrica de flexão contra o mesmo aparador. Para o torque de tornozelo direito, este foi posicionado em torno de 90 graus entre os segmentos perna e pé, e o indivíduo realizou torque ora de dorsiflexão, ora de flexão plantar isométrica.



**Figura 5.** Situação experimental da avaliação de produção de torque articular (extensão de joelho).

Os participantes passaram inicialmente por uma sessão de familiarização antes da realização da avaliação, que consistiu de três tentativas de torque máximo em cada condição (flexão e extensão), em cada articulação. Durante a execução da avaliação, os participantes foram incentivados verbalmente a realizar mais força, com o objetivo de alcançar a força máxima. Foram registradas três contrações com produção máxima de força, com duração de aproximadamente 4 segundos cada e com um intervalo de descanso de aproximadamente 1 minuto entre elas. O aparador foi instrumentado com uma célula de carga (Modelo CS 200 kg, da marca Líder), que permitiu quantificar a força exercida. A força máxima exercida foi realizada perpendicularmente ao braço de alavanca e registrada em Kg, por meio de um mostrador digital (Indicador de Pesagem Modelo LD1050, da marca Líder). Após a coleta, foi calculado o torque articular proveniente do esforço realizado pelo participante.

Variável dependente: Foi calculada a força média das três tentativas de cada condição de produção de torque articular extensor e flexor, ao redor das articulações do joelho e tornozelo. O torque foi calculado através da fórmula  $T = F \times d$ , onde T= torque; F= força e d= distância entre o eixo de rotação e o local de aplicação de força e foi registrado na unidade de medida Nm.

Análise estatística: Foram realizadas duas MANOVAs one-way para analisar a capacidade de produção de torque articular. Uma MANOVA foi realizada para participantes do gênero feminino e outra para o masculino. As MANOVAs tiveram como fator o grupo (GAJ e GAI) e como variáveis

dependentes, os torques articulares de joelho e de tornozelo, nas direções de flexão e extensão.

#### 4.2.2.2 - Latência da resposta muscular

Objetivo: Determinar a latência da resposta muscular dos músculos tibial anterior e gastrocnêmio medial após perturbação da superfície de suporte.

Descrição: A Figura 6 ilustra um sujeito realizando o teste para avaliação da latência muscular com a movimentação da plataforma móvel a partir do servo-motor.



**Figura 6.** Situação experimental da avaliação da latência da resposta muscular.

O participante permaneceu na posição bipodal sobre uma plataforma (60 cm x 60 cm) de base móvel, que possibilita a movimentação no sentido ântero-

posterior. Este movimento foi produzido por um mecanismo servo-motor, constituído de um controlador (Compumotor – APEX6151), um motor de passo (Compumotor – Modelo N0992GR), um cilindro elétrico (Compumotor – Modelo EC3-X3) e software específico para controlar o sistema (Compumotor – Motion Architect for Windows). O movimento foi realizado ora para frente, ora para trás com 3,6 cm de deslocamento e pico de velocidade de 16,5 cm/s (FREITAS JUNIOR, 2003). Eletrodos bipolares de superfície foram posicionados no ventre do músculo tibial anterior (TA) e ventre medial do músculo gastrocnêmio (GM) da perna direita do participante, conforme as normas sugeridas pelo projeto SENIAM (surface EMG for a non-invasive assessment of muscles) (FRERIKS e HERMES, 1999). Os sinais eletromiográficos foram amplificados (EMG System do Brasil) e armazenados para posterior análise. O início da movimentação da base da plataforma foi obtido utilizando o sistema de análise de movimento OPTOTRAK. Assim, foi possível quantificar o intervalo de tempo que decorreu do início do movimento da plataforma até o de início da ativação da musculatura (TA para movimento da base para frente e GM para movimento da base para trás) necessário para recuperar o equilíbrio. Os sujeitos permaneceram com olhos abertos e com os braços cruzados no peito durante a execução do teste. Foram realizadas oito tentativas, sendo quatro para cada direção, distribuídas de forma randomizada.

#### Tratamento dos dados:

O tratamento dos dados e o cômputo das variáveis foram realizados utilizando rotinas escritas em MATLAB. Os dados de plataforma móvel foram

filtrados por meio de um filtro digital Butterworth passa baixa de 4ª ordem e com frequência de corte de 30 Hz. Os dados eletromiográficos foram filtrados por meio de um filtro digital Butterworth passa banda de 4ª ordem e com frequência de corte de 20 e 400 Hz.

Variável dependente: Tempo decorrido (milésimos de segundo), desde o início da perturbação até o início da ativação muscular (latência). Para a determinação do início da ativação muscular, foi calculada a média de ativação muscular referencial (de 0 a 500ms). A partir dos 500ms, quando a ativação muscular excedesse 3 desvios-padrão da média referencial, este seria considerado o momento do início de ativação muscular. Para ser considerado contração muscular, este aumento de ativação deveria ter duração mínima de 25ms. Todos os dados foram conferidos visualmente e, quando observada uma definição errada do início de ativação muscular, por motivo de contração voluntária antes do início da plataforma, por exemplo, a tentativa foi re-analisada e, desta vez, com a definição manual do início de ativação muscular. Durante a análise dos dados, foi verificado que a ativação muscular do GM após a movimentação da plataforma, na maioria das vezes, não superava 3 desvios-padrão da ativação muscular referencial, devido à relativa baixa intensidade de contração muscular. A ativação deste músculo foi então descartada da análise de latência de resposta muscular, sendo considerada apenas a latência do TA quando a plataforma se movimentou para frente. Das 156 tentativas possíveis de definição de início de ativação do TA, 36 foram definidas manualmente. Foi calculada, então a diferença temporal (em ms) entre o início de ativação muscular e o início da movimentação

da plataforma. Quanto menor a latência para a ativação do muscular, mais rápida é a tentativa de resolução de desequilíbrio.

Análise estatística: Foi realizada uma análise de variância (ANOVA) one-way para verificar a possível diferença de latência de resposta muscular entre os grupos.

### **4.2.3 - Controle postural**

#### **4.2.3.1 - Manutenção da postura ereta**

Objetivo: Examinar o desempenho do sistema de controle postural durante a manutenção da postura em pé.

Descrição: Manter a postura em pé, em apoio *semi-tandem stance*, durante 30 segundos olhando para um alvo de 4,5 cm de diâmetro, posicionado na altura dos olhos e a um metro de distância do participante. Nas costas do participante, na região interescapular, foi fixado um emissor infravermelho do sistema de análise de movimentos OPTOTRAK, possibilitando obter a oscilação corporal nas direções ântero-posterior e médio-lateral.

Tratamento dos dados: O tratamento dos dados e o cômputo das variáveis foram realizados utilizando rotinas escritas em MATLAB. Os dados da oscilação corporal foram filtrados por meio de um filtro digital Butterworth passa baixa de 2ª ordem e com frequência de corte de 5 Hz.

Variável dependente: Amplitude média de oscilação (AMO) (cm) nas direções ântero-posterior e médio-lateral, sendo calculada como o desvio padrão dos dados do deslocamento corporal durante a tentativa, após remoção da tendência linear. Assim, a AMO corresponde à variância dos dados, sendo que valores baixos indicam dispersão menor e valores mais altos indicam dispersão maior. Portanto, valores menores indicam um melhor desempenho do funcionamento do sistema de controle postural.

Análise estatística: Foram realizadas duas ANOVAs one-way para analisar as possíveis diferenças entre os grupos etários quanto à manutenção da postura ereta, tendo como variáveis dependentes as AMOs nas direções ântero-posterior e médio-lateral.

#### **4.2.3.2 - Resolução de conflito sensorial**

Objetivo: Determinar a influência da manipulação da informação visual pelo movimento discreto de uma sala móvel e determinar as respostas posturais a esta manipulação.

Descrição: Os participantes permaneceram dentro de uma sala móvel o mais estático possível, com os braços posicionados ao lado do corpo, olhando para um alvo fixado na parede do fundo da sala. A sala móvel possui rodas em sua parte inferior posicionadas sobre trilhos, possibilitando movimentos para frente e para trás, independentemente da superfície onde o participante está posicionado. As dimensões da sala são: 2,1 x 2,1 x 2,1 m (altura, largura e

comprimento) cujas paredes internas são pintadas com listras verticais pretas e brancas, intercaladas, com o objetivo de aumentar o contraste visual. O movimento foi produzido com velocidade de 1,3 cm/s e amplitude de 2,6 cm e foi controlado pelo mesmo mecanismo servo motor utilizado para a movimentação da plataforma móvel na avaliação de latência da resposta muscular. O deslocamento da sala e o deslocamento corporal do participante foram obtidos a partir do sistema OPTOTRAK. Foram realizadas duas tentativas com a sala se aproximando do participante. Cada tentativa teve duração de 16 segundos, sendo dois segundos de movimentação da sala, e quatro e dez segundos com a sala estacionária, antes e após a sua movimentação, respectivamente. Estes momentos com a sala estacionária possibilitaram a observação do comportamento do indivíduo antes e após a movimentação da sala. A Figura 7 ilustra um indivíduo posicionado no interior da sala móvel, realizando a avaliação de resolução de conflito sensorial.

Tratamento dos dados: O tratamento dos dados e o cômputo das variáveis foram realizados utilizando rotinas escritas em MATLAB. Os dados da oscilação corporal foram filtrados por meio de um filtro digital Butterworth passa baixa de 2ª ordem e com frequência de corte de 5 Hz. Os dados da posição da sala foram filtrados por meio de um filtro digital Butterworth passa baixa de 2ª ordem e com frequência de corte de 10 Hz.



**Figura 7.** Situação experimental da avaliação de resolução de conflito sensorial na sala móvel.

Variáveis dependentes: Deslocamento corporal (em cm) decorrente da manipulação da informação visual (PRIOLI; FREITAS JUNIOR e BARELA, 2005) e tempo para reversão (em segundos) deste deslocamento. Para determinar o deslocamento corporal, foi calculada a diferença da posição do indivíduo entre os momentos de início de movimentação da sala e o momento de reversão do deslocamento corporal desencadeado pelo movimento da sala e o tempo para reversão foi a duração deste deslocamento. Valores menores, tanto do deslocamento quanto do tempo para reversão, indicam uma menor influência da manipulação visual e uma resolução mais rápida do conflito sensorial provocado

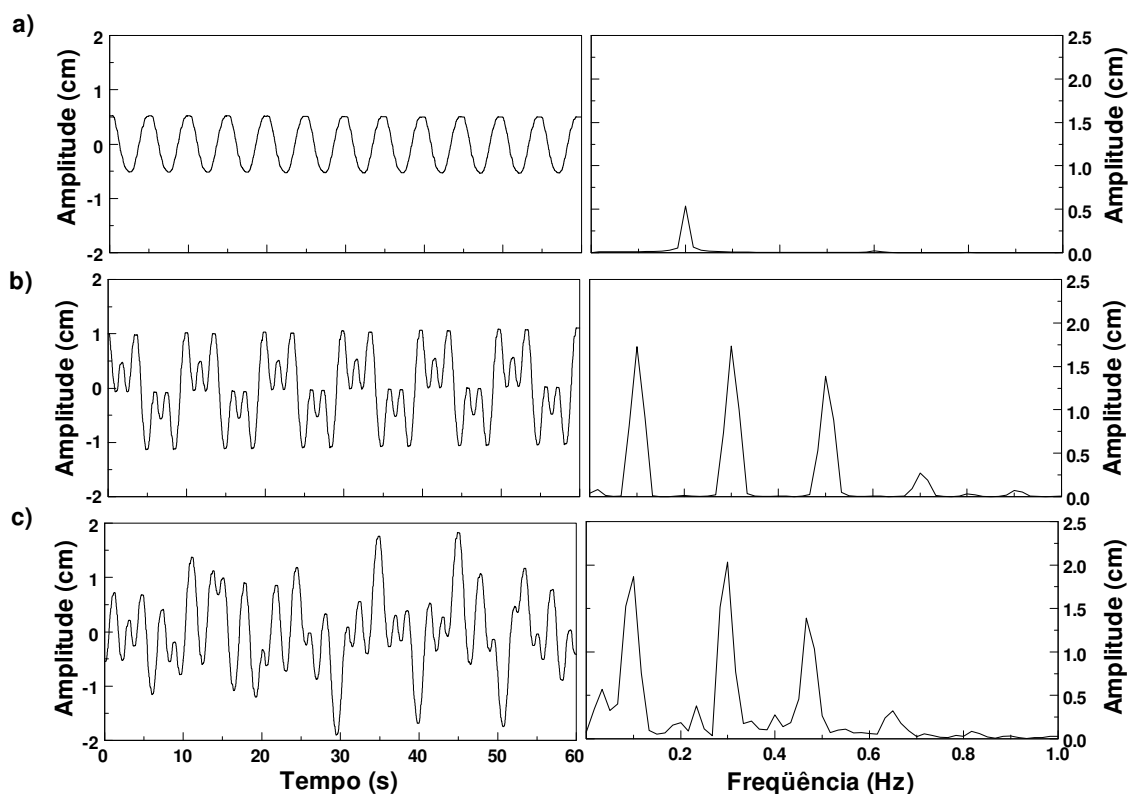
pelo movimento da sala. Também foram analisadas as AMOs antes e após a movimentação da sala.

Análise estatística: foi realizada uma MANOVA one-way para verificar as possíveis diferenças na influência da manipulação discreta da informação visual no controle postural entre os grupos, tendo como variáveis dependentes o deslocamento corporal e o tempo para reversão deste deslocamento. Foi realizada uma ANOVA (2x2) tendo como fatores grupo (GAJ e GAI) e momento (antes e após o movimento da sala), sendo este último tratado como medida repetida e como variável dependente, a AMO.

#### **4.2.3.3 - Acoplamento entre informação visual e oscilação corporal: informação visual periódica, periódica complexa e não-periódica**

Objetivo: Examinar a força e o padrão temporal do acoplamento entre informação visual e oscilação corporal e o comportamento do participante frente à essas manipulações.

Descrição: O participante manteve a posição bipodal, com os pés paralelos, posicionados na largura do ombro, dentro da sala móvel descrita anteriormente, que foi movimentada na direção ântero-posterior, continuamente durante 60 segundos, em três condições de estímulo visual: periódica, periódica complexa e não-periódica (MUSOLINO et al., 2006). A Figura 8 ilustra as séries temporais e análise espectral dos movimentos da sala nas três condições experimentais.



**Figura 8.** Séries temporais (coluna esquerda) e análises espectrais (coluna direita) do movimento da sala móvel nas três condições de movimentação contínua da sala: A) periódica; B) periódica-complexa e C) não-periódica.

Na condição periódica, o estímulo visual foi fornecido na amplitude de 0,5 cm, velocidade de pico 0,6 cm/s e frequência de 0,2Hz. Já o estímulo periódico complexo, foi composto predominantemente por frequências de 0,1, 0,3 e 0,5 Hz simultaneamente, que foram repetidas periodicamente ao longo dos 60 segundos. As amplitudes e velocidades foram variadas de acordo com cada frequência. Na condição sem periodicidade, foram mantidas as frequências próximas às do sinal periódico, entretanto, essas frequências foram repetidas de forma não-periódica. O movimento da sala móvel foi controlado utilizando o

sistema de servo-mecanismo, também descrito anteriormente. A posição da sala e a oscilação corporal foram obtidas utilizando o sistema OPTOTRAK. Foram realizadas seis tentativas, sendo duas em cada condição.

Tratamento dos dados: O tratamento dos dados e o cômputo das variáveis foram realizados utilizando rotinas escritas em MATLAB. Os dados da oscilação corporal foram filtrados por meio de um filtro digital Butterworth passa baixa de 2ª ordem e com frequência de corte de 5 Hz. Os dados da posição da sala foram filtrados por meio de um filtro digital Butterworth passa baixa de 2ª ordem e com frequência de corte de 10 Hz.

Variáveis dependentes: Além da variável indicando a magnitude de oscilação corporal (AMO) na direção antero-posterior, o acoplamento entre informação visual e oscilação corporal foi avaliado utilizando as variáveis: ganho, coerência, fase (condição periódica), e amplitude de oscilação na frequência do estímulo (SFSA - Stimulus Frequency Sway Amplitude) nas frequências que respectivamente compuseram o estímulo visual. O ganho é a razão entre a amplitude do espectro da oscilação corporal e a amplitude do espectro do movimento da sala na frequência do estímulo, sendo que valores menores ou maiores do que 1 indicam que a resposta da oscilação corporal foi menor ou maior que a amplitude do estímulo, respectivamente. A coerência fornece o grau de dependência entre 2 sinais, no domínio de frequência. Pode variar entre 0 (sinais totalmente não relacionados) e 1 (sinais totalmente relacionados). A fase avalia a relação temporal entre o movimento da sala e o deslocamento corporal dos participantes (valores positivos ou negativos indicam que o deslocamento corporal

está adiantado ou atrasado em relação ao movimento da sala, respectivamente). É fornecida em graus, sendo que valores próximos a 0 indicam relacionamento em fase entre a oscilação corporal e o movimento da sala. A SFSA é o valor da amplitude do espectro na frequência do estímulo visual. Quanto mais alto o valor da SFSA, maior é a quantidade de oscilação naquela frequência, desencadeada pelo movimento da sala.

Análises estatísticas: foram realizadas análises separadas para cada condição de manipulação da informação visual:

- a) Manipulação periódica da informação visual

#### Comportamento dos participantes frente aos movimentos da sala

Duas ANOVAs one-way foram realizadas para verificar possíveis diferenças nas respostas posturais decorrentes de manipulação periódica da informação visual no controle postural entre os grupos. Uma ANOVA teve como variável dependente a AMO na direção ântero-posterior e a outra ANOVA teve como variável dependente a SFSA.

#### Relacionamento entre movimento da sala e oscilação corporal

Foi realizada uma MANOVA one-way para verificar possíveis diferenças no relacionamento e na força do acoplamento entre o movimento da sala e a oscilação corporal entre os grupos de adultos jovens e idosos, tendo como variáveis dependentes o ganho, a coerência e a fase.

b) Manipulação periódica complexa da informação visual

Comportamento dos participantes frente aos movimentos da sala

Foram realizadas uma ANOVA one-way e uma ANOVA (2x3) para verificar possíveis diferenças nas respostas posturais à manipulação periódica complexa da informação visual no controle postural entre os grupos. Uma ANOVA teve como variável dependente a AMO na direção ântero-posterior e a outra ANOVA teve como fatores grupo (GAJ e GAI) e freqüência (0,1, 0,3 e 0,5 Hz), sendo este último tratado como medida repetida, e como variável dependente a SFSA.

Relacionamento entre movimento da sala e oscilação corporal

Foi realizada uma MANOVA (2X3) para verificar possíveis diferenças no relacionamento e na força do acoplamento entre o movimento da sala e a oscilação corporal entre os grupos de adultos jovens e idosos, tendo como fatores grupo (GAJ e GAI) e freqüência (0,1, 0,3 e 0,5 Hz) e as variáveis dependentes foram ganho e coerência.

c) Manipulação não-periódica da informação visual

Comportamento dos participantes frente aos movimentos da sala

Foram realizadas uma ANOVA one-way e uma ANOVA (2x3) para verificar as possíveis diferenças nas respostas posturais à manipulação não-periódica da informação visual no controle postural entre os grupos. Uma ANOVA teve como variável dependente a AMO na direção ântero-posterior e a outra ANOVA teve como fatores grupo (GAJ e GAI) e freqüência (0,1, 0,3 e 0,5 Hz), sendo este último tratado como medida repetida, e como variável dependente a SFSA.

#### Relacionamento entre movimento da sala e oscilação corporal

Foi realizada uma MANOVA (2X3) para verificar possíveis diferenças no relacionamento e na força do acoplamento entre o movimento da sala e a oscilação corporal entre os grupos de adultos jovens e idosos, tendo como fatores grupo (GAJ e GAI) e freqüência (0,1, 0,3 e 0,5 Hz) e as variáveis dependentes foram ganho e coerência.

Antes da realização das análises estatísticas para verificar possíveis diferenças entre os grupos, testes de normalidade e de homogeneidade de variância foram realizados e, quando necessários, as variáveis foram transformadas de forma que estes pressupostos fossem atendidos.

Quando necessários, testes univariados e testes *post hoc* com ajustes de Bonferroni foram aplicados. Estas análises foram realizadas utilizando o pacote estatístico SPSS (versão 10.0) e o nível de significância em todas as análises foi mantido em 0,05.

#### 4.2.4 – Análises de regressão linear múltipla

Para examinar o relacionamento entre as medidas de controle postural e as variáveis obtidas nas avaliações dos sistemas sensoriais e do sistema motor, foram realizadas análises de regressão linear múltipla. As variáveis das avaliações sensoriais e motores que foram diferentes entre os grupos (GAJ e GAI) foram utilizadas como variáveis preditoras (independentes) nas análises de regressão linear múltipla. Da mesma forma, as variáveis de controle postural que foram diferentes entre os grupos foram incluídas como variáveis dependentes na regressão. Nesta análise, o procedimento *Stepwise* foi utilizado para identificar as variáveis sensoriais e motoras que explicam significativamente a variância das variáveis dependentes (de controle postural). O procedimento *Stepwise* tem como critério para a introdução das variáveis preditoras no modelo de regressão, aquelas cujo  $p \leq 0,05$  e, como critério de remoção do modelo de regressão, aquelas cujo  $p \geq 0,1$ . Desta forma, as variáveis que atendem a esse critério são adicionadas uma a uma para a análise e, para cada modelo, é apresentado um valor de F, de p e de  $R^2$ , que representa, em porcentagem, o quanto cada modelo contribui para explicar a variância da variável dependente.

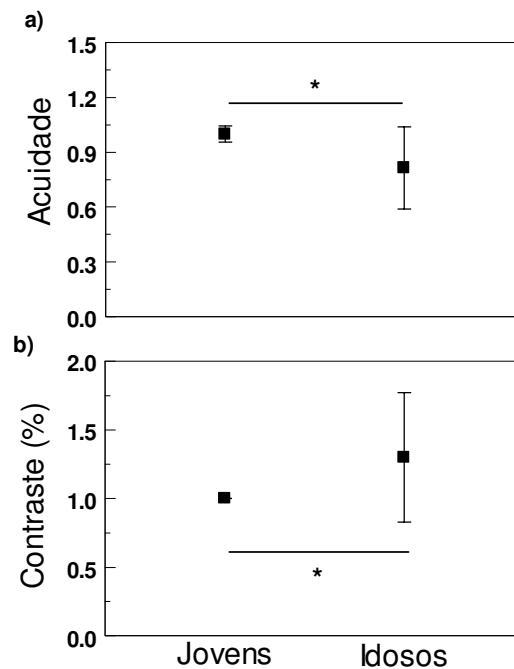
## **5 – RESULTADOS**

A apresentação dos resultados será agrupada da seguinte forma: avaliações sensoriais, avaliações motoras, avaliações de controle postural e análises de regressão linear múltipla.

### **5.1 - Avaliações sensoriais**

#### **5.1.1 - Sistema Visual**

Os valores médios da acuidade visual e da sensibilidade ao contraste dos grupos, obtidos nas avaliações do desempenho do sistema visual podem ser observados na Figura 9.



**Figura 9.** Valores médios e desvios padrão da acuidade visual (a) e da sensibilidade ao contraste visual (b) dos dois grupos etários obtidos nas avaliações do sistema visual. Nota: (\*) indica  $p < 0,05$ .

#### 5.1.1.1 - Acuidade visual

Teste de Mann-whitney apontou diferenças entre os grupos etários,  $U=106,500$ ,  $p < 0,005$ . A acuidade visual dos adultos idosos foi, em média, menor que a dos adultos jovens, o que pode observada na Figura 9.

#### 5.1.1.2 - Sensibilidade ao contraste

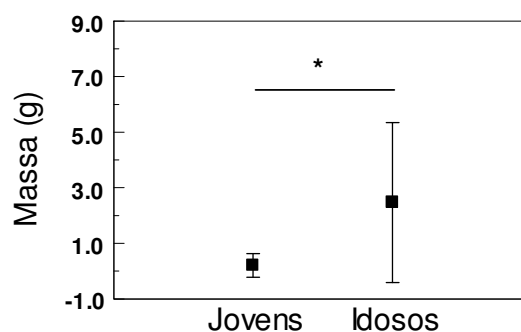
Teste de Mann-whitney apontou diferenças entre os grupos etários,  $U=140,000$ ,  $p < 0,05$ , sendo que o GAI apresentou uma pior sensibilidade ao

contraste do que GAJ, ou seja, o contraste visual mínimo visualizado pelos adultos idosos foi maior do que o visualizado pelo adultos jovens.

## 5.1.2 – Sistema somatossensorial

### 5.1.2.1 - Sensibilidade cutânea

Teste de Mann-whitney revelou diferenças entre os grupos etários,  $U=35,500$ ,  $p<0,001$ . Os adultos idosos exibiram uma menor sensibilidade cutânea aos filamentos, o que pode ser observado pelos valores médios dos grupos na Figura 10.

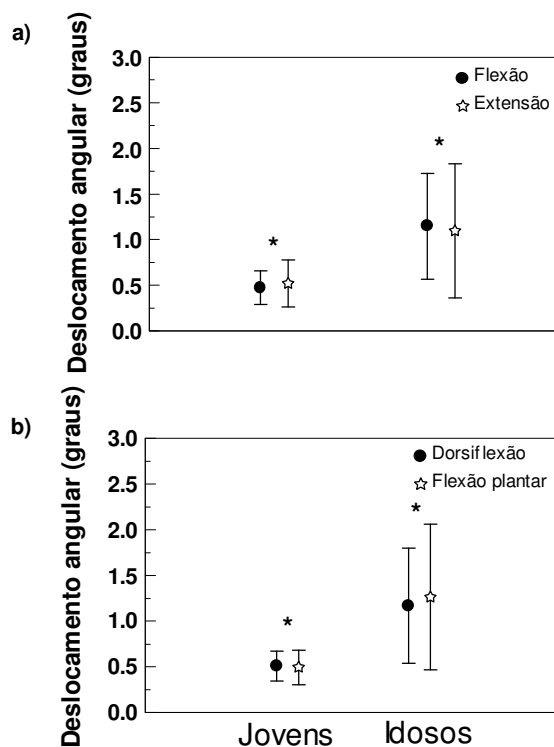


**Figura 10.** Valores médios e desvios padrão da massa do filamento sentido pelos participantes dos dois grupos etários na avaliação da sensibilidade cutânea. Nota: (\*) indica  $p<0,05$ .

### 5.1.2.1 - Sensibilidade ao movimento passivo

Nesta avaliação, os adultos idosos precisaram, em média, de um maior deslocamento angular para perceber o movimento passivo das articulações de joelho e tornozelo, em ambas as direções. A Figura 11 apresenta os valores

médios de deslocamento angular dos adultos jovens e idosos em ambas as articulações (joelho e tornozelo) e em ambas as direções (flexão e extensão).



**Figura 11.** Valores médios e desvios padrão do deslocamento angular das articulações de joelho (a) e tornozelo (b), em ambas as direções para os dois grupos etários obtidos na avaliação de sensibilidade ao movimento passivo. Nota: (\*) indica  $p < 0,05$ .

MANOVA revelou diferenças significantes para o fator grupo, Wilks' Lambda=0,479,  $F(2,37)=20,159$ ,  $p < 0,001$ , não revelou diferenças para o fator direção, Wilks' Lambda=0,990,  $F(2,37)=0,196$ ,  $p > 0,05$ , nem para a interação grupo e direção, Wilks' Lambda=0,948  $F(2,37)=1,021$ ,  $p > 0,05$ . Análises univariadas revelaram diferenças entre os grupos tanto para a articulação do joelho,  $F(1,38)=24,772$ ,  $p < 0,001$ , quanto para tornozelo,  $F(1,38)=40,515$ ,  $p < 0,001$ . Outra

MANOVA não apontou diferenças entre as articulações, Wilks' Lambda=0,961,  $F(2,38)=0,770$ ,  $p>0,05$ . Em todas as condições e para cada articulação, os adultos idosos apresentaram o dobro do deslocamento articular dos adultos jovens.

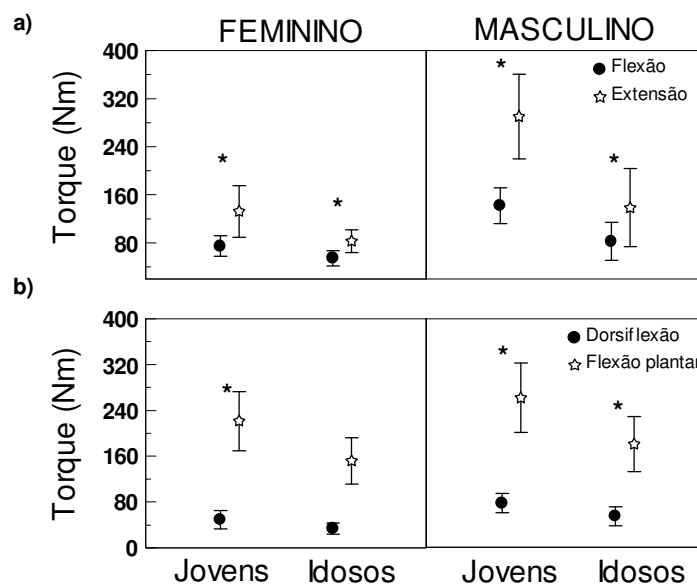
## **5.2 - Avaliações motoras**

### **5.2.1 - Produção de torque articular**

Os adultos idosos de ambos os gêneros apresentaram em média uma menor capacidade de produção de torque articular do que os adultos jovens. Isso ocorreu em ambas as articulações (joelho e tornozelo) e em ambas as direções (flexão e extensão), como pode ser observado na Figura 12.

Para o gênero feminino, MANOVA revelou diferenças entre os grupos, Wilks' Lambda=0,510,  $F(4,15)=3,600$ ,  $p<0,05$ . Análises univariadas apontaram diferenças para todas as variáveis: flexão do joelho,  $F(1,18)=8,224$ ,  $p<0,05$ ; extensão do joelho,  $F(1,18)=13,527$ ,  $p<0,005$ ; dorsiflexão do tornozelo,  $F(1,18)=5,650$ ,  $p<0,05$  e flexão plantar do tornozelo,  $F(1,18)=10,797$ ,  $p<0,005$ .

Para o gênero masculino, MANOVA revelou diferenças entre os grupos, Wilks' Lambda=0,410,  $F(4,15)=5,407$ ,  $p<0,05$ . Análises univariadas apontaram diferenças para todas as variáveis: flexão do joelho,  $F(1,18)=18,744$ ,  $p<0,001$ ; extensão do joelho,  $F(1,18)=25,109$ ,  $p<0,001$ ; dorsiflexão do tornozelo,  $F(1,18)=9,538$ ,  $p<0,05$  e flexão plantar do tornozelo,  $F(1,18)=11,137$ ,  $p<0,05$ .



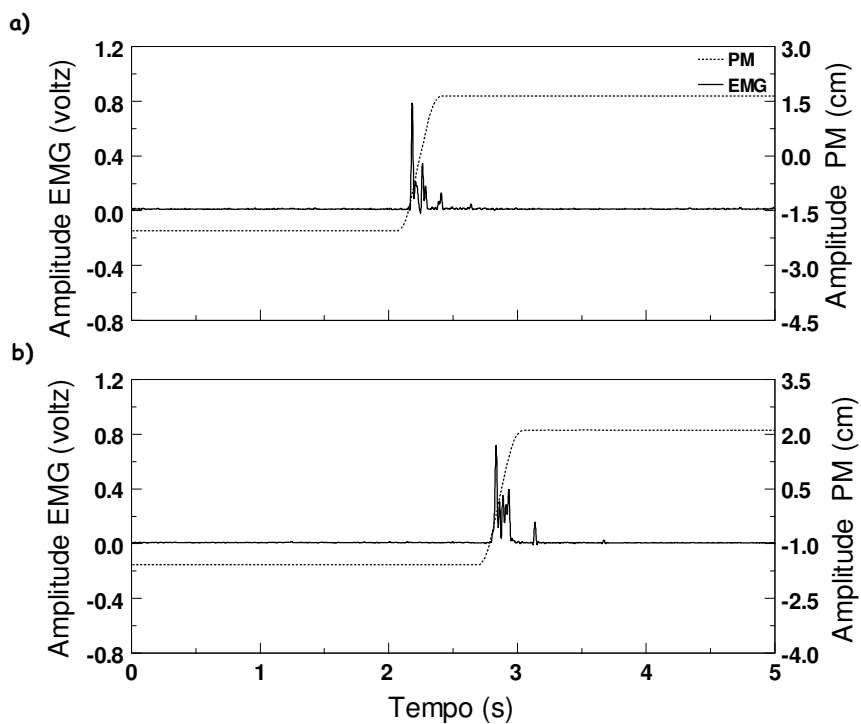
**Figura 12.** Valores médios e desvios padrão obtidos nas avaliações da capacidade de produção de torque articular de joelho (a) e tornozelo (b), em ambas as direções para os gêneros feminino e masculino dos dois grupos etários. Nota: (\*) indica  $p < 0,05$ .

### 5.2.2 - Latência da resposta muscular

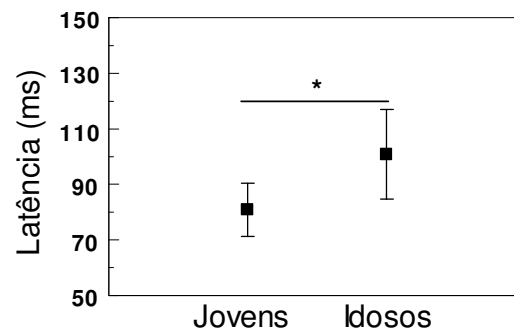
Exemplos de séries temporais de movimentação da plataforma e de ativação muscular do músculo TA de um participante adulto jovem e de um adulto idoso são apresentados na Figura 13.

Nesta avaliação foi possível observar que, quando há uma perturbação da superfície de suporte, os adultos idosos demoram, em média, mais tempo para ativar a musculatura para recuperar o equilíbrio do que os adultos jovens. A Figura 14 apresenta as médias de latência de ativação do músculo TA dos dois grupos etários. ANOVA apontou diferenças entre os grupos,  $F(1,38)=22,501$ ,  $p < 0,001$ , sendo que os adultos idosos demoraram por volta de

20ms a mais do que os adultos jovens para iniciar a ativação muscular após a perturbação da superfície de suporte.



**Figura 13.** Séries temporais da movimentação da plataforma móvel (PM) e da atividade eletromiográfica (EMG) do músculo tibial anterior de um adulto jovem (a) e de um idoso (b) na avaliação de latência da resposta muscular.

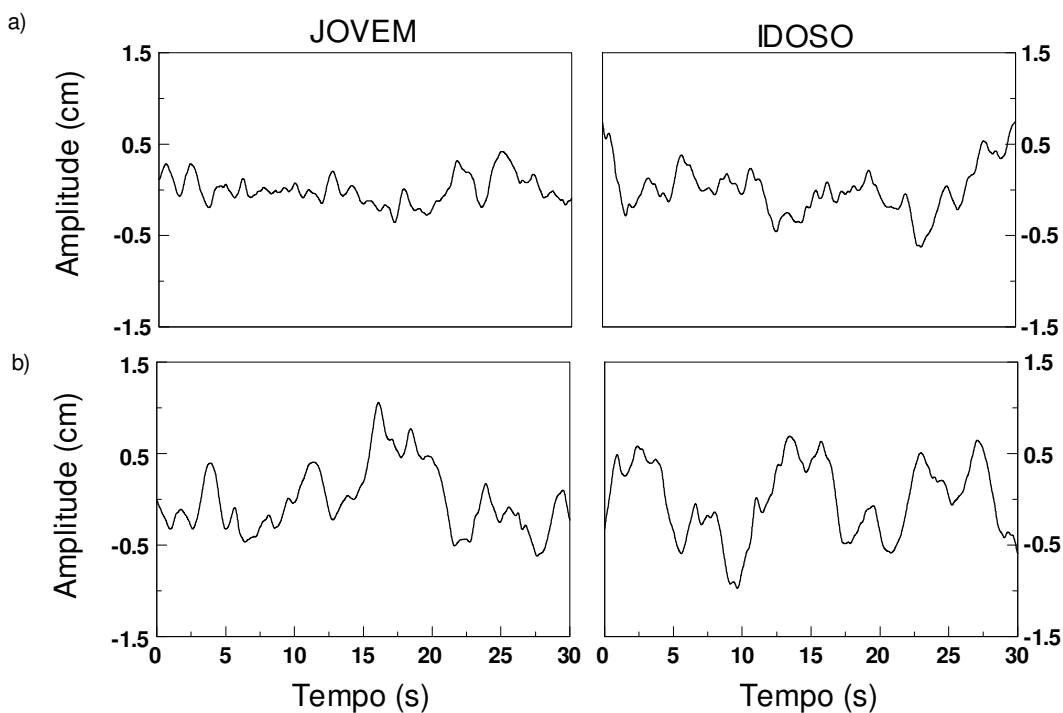


**Figura 14.** Valores médios e desvios padrão da latência de ativação do músculo tibial anterior após a movimentação da superfície de suporte dos dois grupos etários obtidos na avaliação de latência da resposta muscular. Nota: (\*) indica  $p < 0,05$ .

### **5.3 - Avaliações de controle postural**

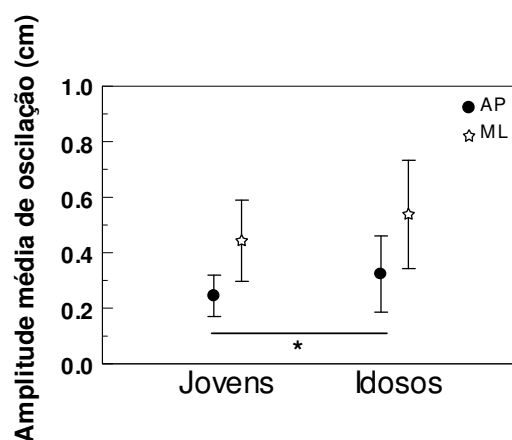
#### **5.3.1. Manutenção da postura ereta**

A Figura 15 ilustra exemplos de séries temporais da oscilação corporal nas direções ântero-posterior e médio-lateral de um adulto jovem e de um adulto idoso.



**Figura 15.** Séries temporais da oscilação corporal de um adulto jovem (coluna esquerda) e de um idoso (coluna direita) nas direções ântero-posterior (a) e médio-lateral (b) na condição de manutenção da postura ereta.

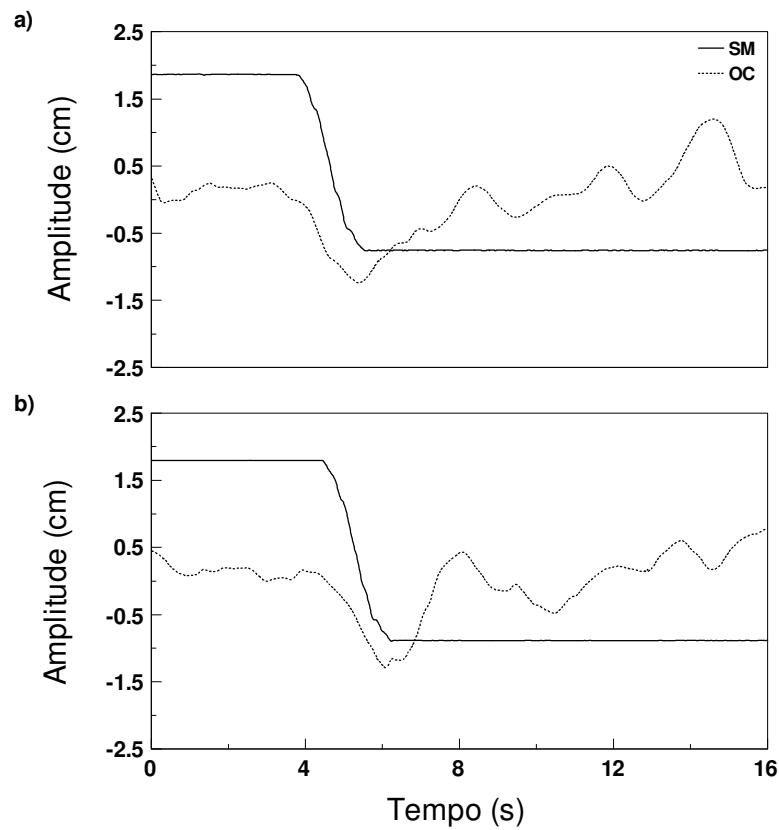
Os resultados indicaram que a AMO dos adultos idosos é, em média, maior que a dos adultos jovens, na direção ântero-posterior, o que pode ser observado na Figura 16. ANOVAs revelaram diferença entre os grupos na direção ântero-posterior,  $F(1,38)=4,774$ ,  $p<0,05$ , porém nenhuma diferença foi encontrada na direção médio-lateral,  $F(1,38)=2,753$ ,  $p>0,05$ .



**Figura 16.** Valores médios e desvios padrão da amplitude média de oscilação corporal nas direções antero-posterior (AP) e médio-lateral (ML) dos dois grupos etários na condição de manutenção da postura ereta. Nota: (\*) indica  $p < 0,05$ .

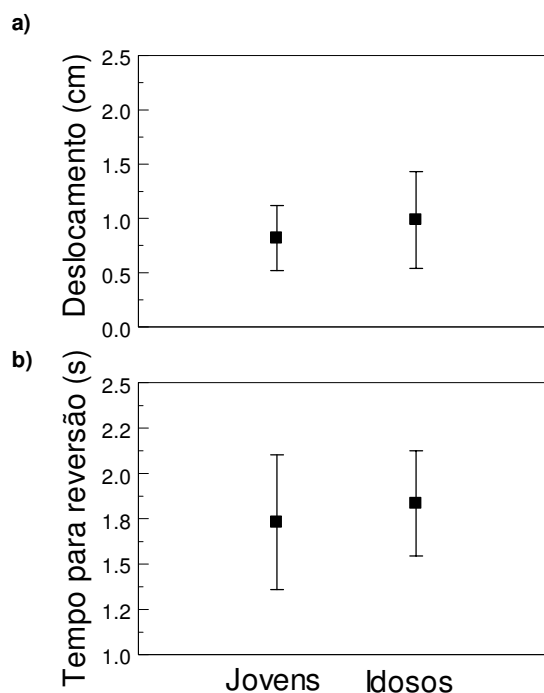
### 5.3.2. Resolução de conflito sensorial

Nesta avaliação foi possível verificar que a manipulação discreta da informação visual induziu oscilação corporal, tanto nos participantes jovens quanto nos adultos idosos. A Figura 17 apresenta exemplos de séries temporais da oscilação corporal e da movimentação da sala móvel de um adulto jovem e de um adulto idoso. Como pode ser observado, os participantes apresentam uma oscilação corporal na mesma direção do movimento da sala.



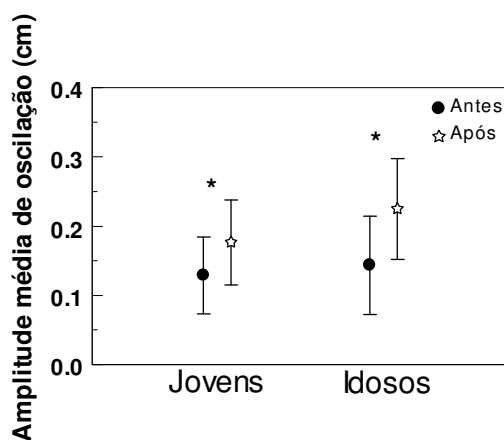
**Figura 17.** Séries temporais da oscilação corporal (OC) frente ao movimento da sala móvel (SM) de um adulto jovem (a) e de um idoso (b) na condição de resolução de conflito sensorial.

As médias do deslocamento corporal decorrente do movimento da sala, assim como o tempo médio para reverter este deslocamento estão apresentadas na Figura 18. MANOVA não apontou diferenças significantes entre os grupos, Wilks' Lambda=0,955,  $F(2,37)=0,867$   $p<0,05$ , indicando que o movimento discreto da sala móvel influenciou ambos os grupos de forma semelhante.



**Figura 18.** Valores médios e desvios padrão do deslocamento corporal (a) e do tempo para reverter este deslocamento (b) dos dois grupos etários na condição de resolução de conflito sensorial.

As amplitudes médias de oscilação antes e após o movimento da sala também foram analisadas. A Figura 19 representa os valores médios destas variáveis para os adultos jovens e idosos. ANOVA não revelou diferenças para o fator grupo,  $F(1,38)=2,900$ ,  $p>0,05$ , mas revelou diferenças para o fator momento, Wilks' Lambda =0,573,  $F(1,38)=28,308$ ,  $p<0,001$ , sendo que a AMO após o movimento da sala foi maior que a AMO antes da sala se movimentar. ANOVA não apontou interação grupo e momento, Wilks' Lambda=0,976,  $F(1,38)=0,943$ ,  $p>0,05$ .



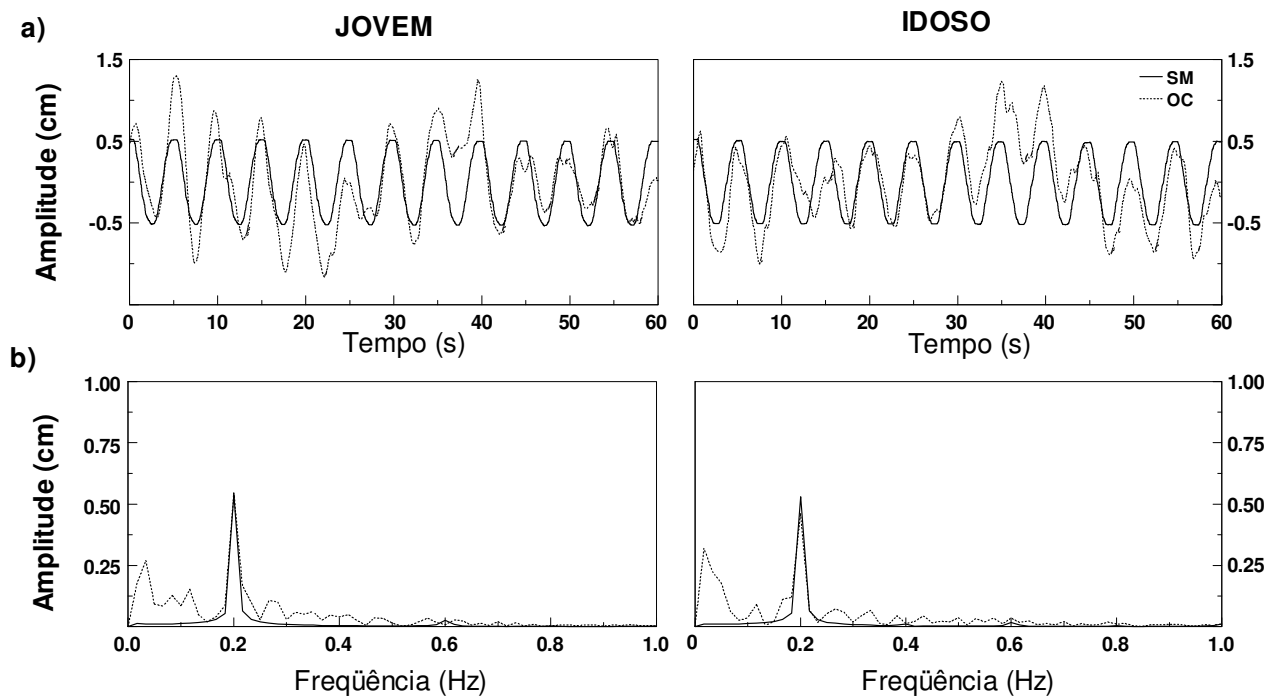
**Figura 19.** Valores médios e desvios padrão da amplitude média de oscilação corporal antes e após a movimentação da sala móvel dos dois grupos etários na condição de resolução de conflito sensorial. Nota: (\*) indica  $p < 0,05$ .

### 5.3.3. Acoplamento entre informação visual e oscilação corporal

#### a) Informação visual periódica

A Figura 20 apresenta exemplos de séries temporais da oscilação corporal e da movimentação periódica da sala móvel de um adulto jovem e de um adulto idoso (a) e as análises espectrais das respectivas tentativas (b).

Pode ser observado nesta figura que a oscilação corporal dos participantes acompanha a oscilação da sala ao longo da tentativa. Também pode ser observado que os participantes apresentam um pico de oscilação na frequência de 0,2Hz, a frequência de oscilação da sala, indicando predominância de oscilação corporal na mesma frequência do estímulo visual.

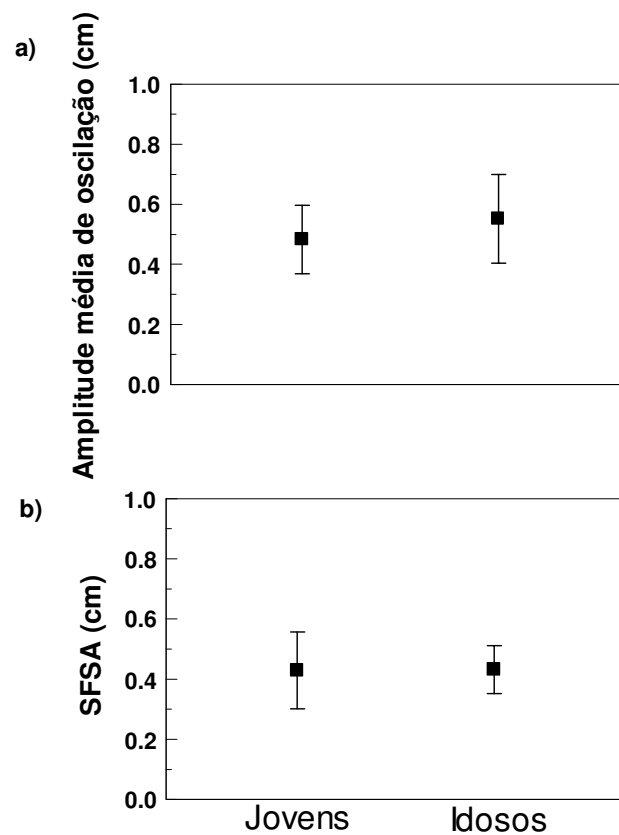


**Figura 20.** Séries temporais (a) e espectros (b) da oscilação corporal (OC) e do movimento da sala (SM) dos dois grupos etários na condição de manipulação periódica da informação visual.

#### Comportamento dos participantes frente aos movimentos da sala

Este comportamento foi verificado através das variáveis AMO (na direção ântero-posterior) e SFSA. As médias de AMO e SFSA do GAJ e do GAI poder ser observadas na Figura 21.

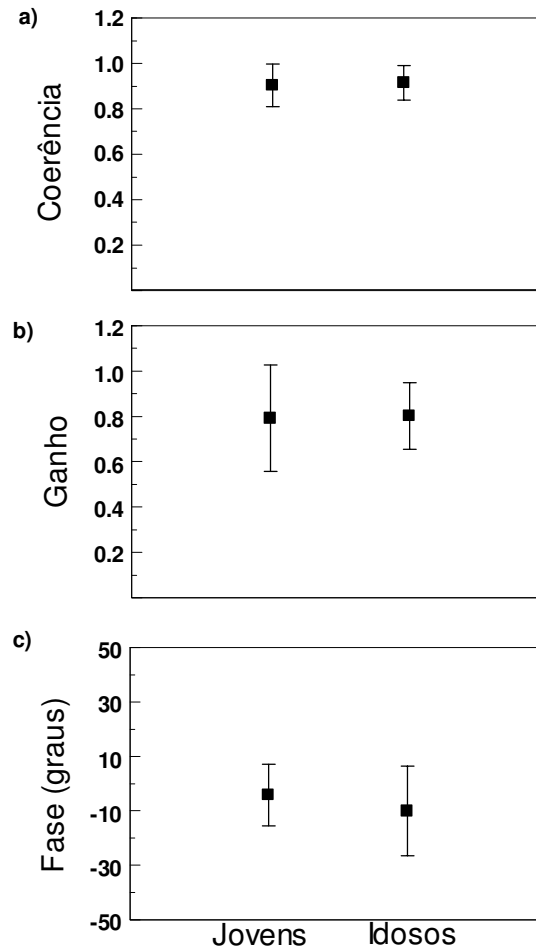
ANOVAs não revelaram diferenças significantes entre os grupos para a variável AMO,  $F(1,38)=2,750$  e para a variável SFSA,  $F(1,38)=0,071$   $p>0,05$ , indicando que os grupos apresentaram comportamento semelhante frente a movimentação periódica da sala.



**Figura 21.** Valores médios e desvios padrão da amplitude média de oscilação corporal (a) e da amplitude de oscilação na frequência do estímulo (SFSA) (b) dos dois grupos etários na condição de manipulação periódica da informação visual.

#### Relacionamento entre movimento da sala e oscilação corporal

O relacionamento espacial entre o movimento da sala e a oscilação corporal dos participantes foi verificado através das variáveis coerência e ganho, enquanto que o relacionamento temporal foi verificado através da variável fase. A Figura 22 apresenta os valores médios de coerência, ganho e fase de ambos os grupos etários.

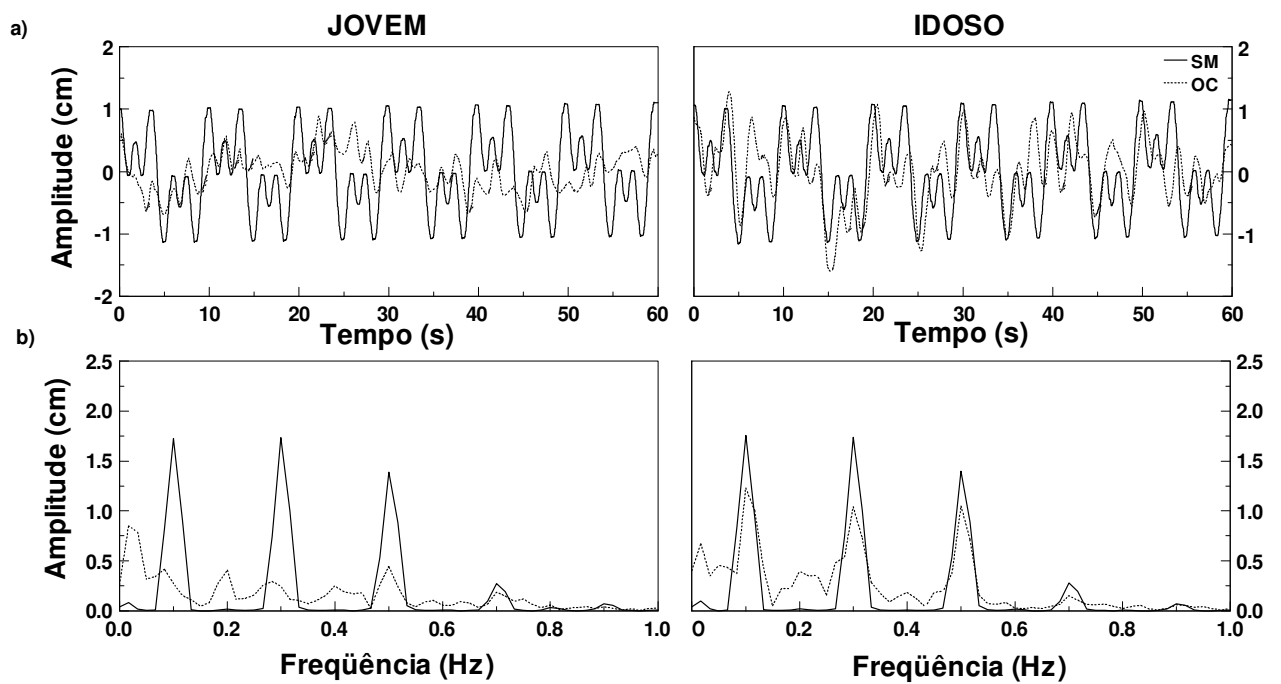


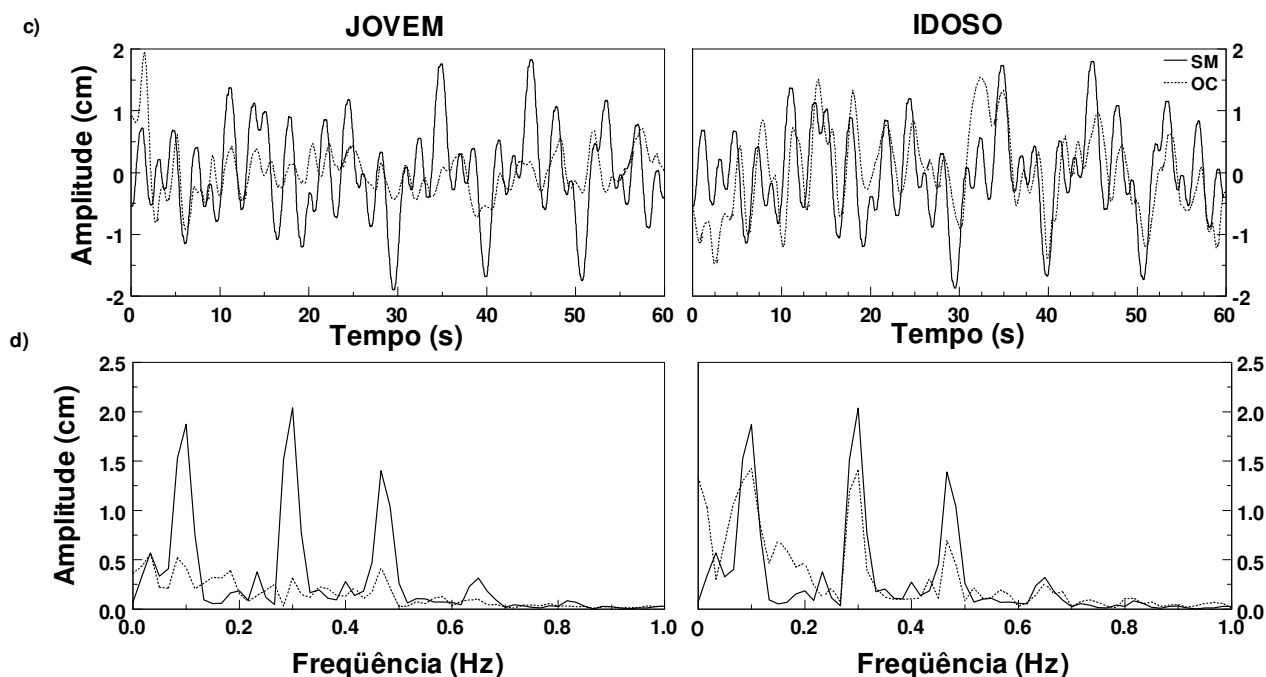
**Figura 22.** Valores médios e desvios padrão da coerência (a) do ganho (b) e da fase (c) dos dois grupos etários na condição de manipulação periódica da informação visual.

MANOVA não apontou diferenças significantes entre os grupos, Wilks' Lambda=0,954,  $F(3,36)=0,573$ ,  $p>0,05$ , indicando que o relacionamento espacial e temporal entre o movimento da sala e a oscilação corporal foram semelhantes entre os grupos.

**b) Informação visual periódica complexa e não-periódica**

A Figura 23 apresenta exemplos de séries temporais da oscilação corporal e da movimentação periódica-complexa da sala móvel de um adulto jovem e de um adulto idoso (a) e as análises espectrais das mesmas tentativas (b). Os painéis c e d apresentam as mesmas informações para a condição de manipulação não-periódica da informação visual.

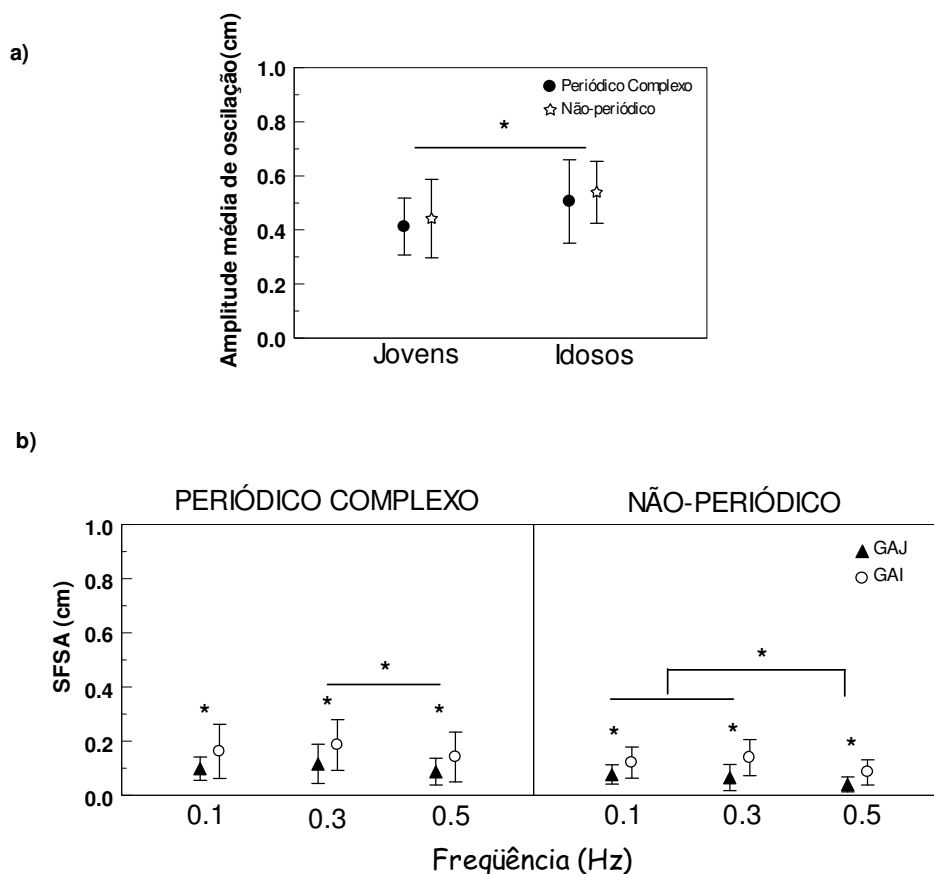




**Figura 23.** Séries temporais (a) e espectros (b) da oscilação corporal (OC) e do movimento da sala (SM) de um participante de cada grupo etário na condição de manipulação periódica-complexa da informação visual. Os painéis (c) e (d) apresentam as mesmas informações para a condição de manipulação não-periódica da informação visual.

#### Comportamento dos participantes frente aos movimentos da sala

Para verificar este comportamento, as variáveis AMO e SFSA em cada frequência de oscilação da sala nas foram analisadas. A Figura 24 ilustra as médias de AMO (a) e SFSA nas três frequências de oscilação da sala (b) do GAJ e do GAI. Para a AMO, ANOVAs revelaram diferenças entre os grupos na condição periódica complexa,  $F(1,38)=4,938$ ,  $p<0,05$  e não-periódica,  $F(1,38)=5,666$ ,  $p<0,05$ , com os adultos idosos oscilando mais do que os adultos jovens.



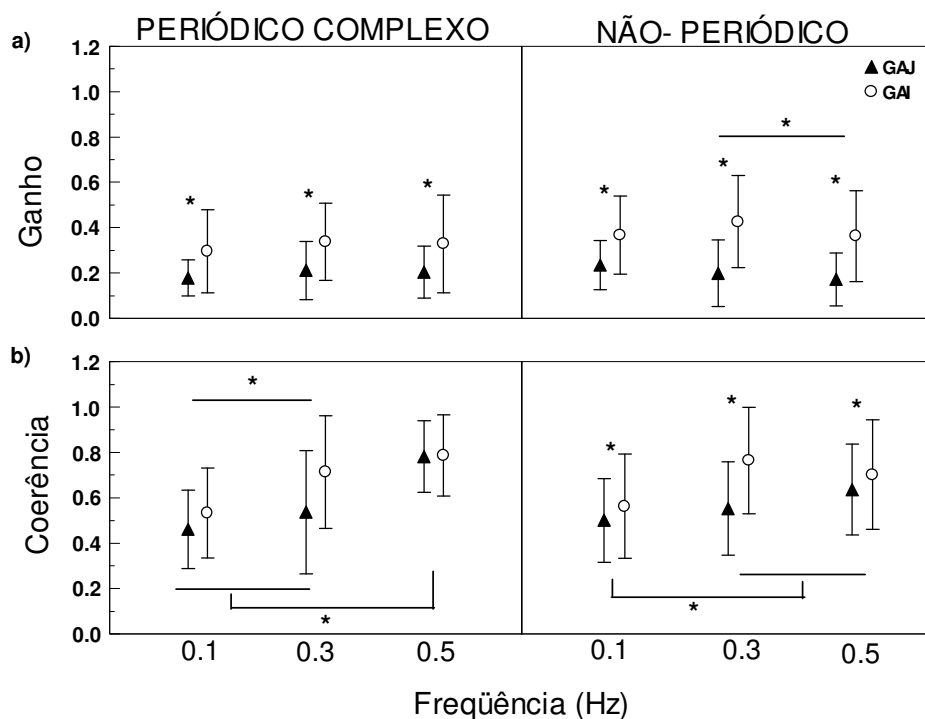
**Figura 24.** Valores médios e desvios padrão da amplitude média de oscilação corporal (a) e da amplitude de oscilação na frequência do estímulo (SFSA) (b) do grupo adulto jovem (GAJ) e do grupo adulto idoso (GAI) nas condições de manipulação periódica complexa e não-periódica da informação visual. Nota: (\*) indica  $p < 0,05$ .

Para a SFSA, ANOVAs apontaram diferenças entre os grupos nas condições periódica complexa,  $F(1,38)=6,665$ ,  $p < 0,05$  e não-periódica,  $F(1,38)=18,406$ ,  $p < 0,001$ , sendo que os adultos idosos apresentaram uma maior SFSA do que os adultos jovens. Essas ANOVAS revelaram também diferenças entre as frequências do estímulo na condição periódica complexa, Wilks' Lambda=0,681,  $F(2,37)=8,659$ ,  $p=0,001$  e na condição não-periódica, Wilks'

Lambda=0,299,  $F(2,37)=43,325$ ,  $p<0,001$ . Na condição periódica complexa, análises *post-hoc* revelaram que a SFSA em 0,3 Hz foi maior que em 0,5 Hz, não havendo diferenças entre as demais frequências. Na condição não-periódica, análises *post hoc* revelaram que a SFSA em 0,5 Hz foi menor que nas demais frequências. Essas ANOVAs revelaram ainda não haver interação grupo e frequência nas condições periódica complexa, Wilks' Lambda=0,990,  $F(2,37)=0,189$ ,  $p>0,05$  e não-periódica, Wilks' Lambda=0,884,  $F(2,37)=2,433$ ,  $p>0,05$ .

#### Relacionamento espacial entre movimento da sala e oscilação corporal

As variáveis analisadas para verificar o relacionamento entre informação sensorial e oscilação corporal foram o ganho e a coerência nas três frequências de movimentação da sala. Os adultos idosos foram mais influenciados pelo movimento da sala do que os adultos jovens nas condições periódica complexa e não-periódica, como pode ser observado na Figura 25 para a variável ganho. O acoplamento foi mais forte para os adultos idosos somente na condição não-periódica, sendo semelhante entre os dois grupos na condição periódica complexa, como pode ser observado nos valores de coerência na Figura 25 (b).



**Figura 25.** Valores médios e desvios padrão do ganho (a) e da coerência (b) em cada frequência do estímulo visual do grupo adulto jovem (GAJ) e do grupo adulto idoso (GAI) nas condições de manipulação periódica complexa e não-periódica da informação visual. Nota: (\*) indica  $p < 0,05$ .

Para a condição periódica complexa, MANOVA revelou diferenças para o fator grupo, Wilks' Lambda=0,831,  $F(2,37)=3,758$ ,  $p < 0,05$  e para o fator frequência, Wilks' Lambda=0,351,  $F(4,35)=16,184$ ,  $p < 0,001$ . Para o fator grupo, testes univariados apontaram diferenças para a variável ganho  $F(1,38)=6,461$ ,  $p < 0,05$ , sendo este valor maior para os adultos idosos do que para os adultos jovens e uma tendência a diferença para o fator coerência,  $F(1,38)=4,048$ ,  $p=0,51$ , com valores dos adultos idosos com uma tendência a ser maiores do que dos adultos jovens. Para o fator frequência, testes univariados apontaram diferenças

somente para a variável coerência,  $F(2,76)=21,366$ ,  $p<0,001$ . Testes *post hoc* revelaram que, nesta condição, a coerência na frequência de 0,3 Hz foi maior que na frequência de 0,1Hz e que a coerência na frequência de 0,5 Hz foi maior que nas demais frequências.

Para a condição não-periódica, MANOVA relevou diferenças entre os grupos, Wilks' Lambda=0,659,  $F(2,37)=9,557$ ,  $p<0,001$  e entre as frequências, Wilks' Lambda=0,567,  $F(4,35)=6,677$ ,  $p<0,001$ . Para o fator grupo, testes univariados apontaram diferenças para o ganho,  $F(1,38)=19,206$ ,  $p<0,001$  e para a coerência,  $F(1,38)=5,636$ ,  $p<0,05$ , sendo que os adultos idosos apresentaram maiores valores de ganho e coerência do que os adultos jovens. Para o fator frequência, testes univariados apontaram diferenças para as variáveis ganho,  $F(2,76)=3,300$ ,  $p<0,05$  e coerência,  $F(2,76)=6,403$ ,  $p<0,005$ . Para o ganho, análises *post hoc* indicaram que este foi menor em 0,5Hz do que em 0,3Hz. Para a coerência, análises *post hoc* indicaram que esta foi menor na frequência de 0,1 Hz do que nas demais frequências.

As MANOVAs revelaram, ainda, nenhuma interação grupo e frequências nas condições periódica complexa Wilks' Lambda=0,902,  $F(4,35)=0,951$ ,  $p>0,05$  e não-periódica, Wilks' Lambda=0,832,  $F(4,35)=1,771$ ,  $p>0,05$ .

#### **5.4 – Análises de regressão linear múltipla**

Foram selecionadas para esta análise as variáveis preditoras: acuidade visual, sensibilidade ao contraste, sensibilidade cutânea, sensibilidade ao movimento passivo, produção de torque articular e latência de resposta muscular. Apesar dos torques articulares terem apresentado diferenças significantes entre os grupos em ambas as direções (flexão e extensão) e articulações (joelho e tornozelo), foram selecionados para a análise somente os torques de extensão de joelho e de dorsiflexão de tornozelo. Esta decisão buscou manter as mesmas variáveis utilizadas no estudo do Lord, Clark e Webster (1991). Para a sensibilidade ao movimento passivo, como não houve diferença entre as articulações (joelho e tornozelo) e entre as direções (flexão e extensão), a média entre as quatro variáveis foi calculada e incluída na análise. Foram realizadas cinco análises de regressão linear, tendo as seguintes variáveis dependentes: AMO na direção ântero-posterior na condição de manutenção da postura ereta; AMO e ganho (média dos ganhos nas três frequências) na direção ântero-posterior na condição de manipulação periódica complexa da informação visual e AMO e ganho (média dos ganhos nas três frequências) na direção ântero-posterior na condição de manipulação não-periódica da informação visual.

Para variável AMO na condição de manutenção da postura ereta, a única variável que contribuiu significativamente para a variância desta variável dependente foi a sensibilidade ao movimento passivo,  $R^2 = 0,142$ ,  $F(1,38) = 6,290$ ,  $p < 0,05$ , ou seja, a sensibilidade ao movimento passivo contribuiu com 14,2% da variância da AMO. Nesta condição, quanto maior o deslocamento angular obtido

na avaliação de sensibilidade ao movimento passivo, maior foi a oscilação corporal.

Para variável AMO na condição de manipulação periódica complexa da informação visual, a única variável que contribuiu significativamente para a variância desta variável dependente também foi a sensibilidade ao movimento passivo,  $R^2 = 0,224$ ,  $F(1,38)=10,972$ ,  $p<0,005$ , ou seja, a sensibilidade ao movimento passivo contribuiu com 22,4% da variância da AMO. Também nesta condição, quanto maior o deslocamento angular, maior foi a oscilação corporal.

Para variável ganho na condição de manipulação periódica complexa da informação visual, a única variável que contribuiu significativamente para a variância desta variável dependente também foi a sensibilidade ao movimento passivo,  $R^2 = 0,313$ ,  $F(1,38) = 17,282$   $p<0,001$ , ou seja, a sensibilidade ao movimento passivo contribuiu com 31,3% da variância do ganho. Nesta condição, quanto maior o deslocamento angular, maior foi o relacionamento entre o movimento da sala e oscilação corporal.

Para variável AMO na condição de manipulação não-periódica da informação visual, da mesma forma que observado anteriormente, a única variável que entrou no modelo foi a sensibilidade ao movimento passivo,  $R^2 = 0,351$ ,  $F(1,38)=20,544$ ,  $p<0,001$ , ou seja, a sensibilidade ao movimento passivo contribuiu com 35,1% da variância da AMO. Também nesta condição, quanto maior o deslocamento angular, maior foi a AMO.

Para variável ganho na condição de manipulação não-periódica da informação visual, foram definidos dois modelos de regressão, sendo que as

variáveis que entraram no segundo modelo foram a sensibilidade ao movimento passivo e a sensibilidade ao contraste visual,  $R^2 = 0,487$ ,  $F(2,38) = 17,539$ ,  $p < 0,001$ , ou seja, essas duas variáveis contribuem com 48,7% da variância da variável ganho nesta condição. Vale ressaltar que no outro modelo, somente a variável sensibilidade ao movimento passivo contribui significativamente,  $R^2 = 0,429$ ,  $F(2,38) = 28,524$ ,  $p < 0,001$ . Portanto, somente esta variável contribui com 42,9% da variância do ganho, indicando uma forte participação da mesma. Quanto maiores os valores de deslocamento angular e do contraste observado na avaliação do sistema visual, maior foi o ganho obtido nesta condição.

## **6 – DISCUSSÃO**

A realização deste trabalho permitiu o esclarecimento de alguns aspectos do sistema de controle postural de adultos idosos e de como os sistemas sensoriais e motores podem contribuir para um bom desempenho do controle postural desta população. A metodologia utilizada para buscar estabelecer uma relação entre as alterações sensoriais e motoras decorrentes do envelhecimento e as mudanças no controle postural de adultos idosos pode ser considerada adequada, uma vez que a inclusão dos participantes esteve condicionada à ausência de doenças associadas ao envelhecimento, o que poderia ocasionar exacerbações destas alterações. Além disso, uma mesma amostra foi submetida às avaliações sensoriais, motoras e de controle postural, tornando mais fidedigna e completa a investigação da influência das mudanças nos sistemas sensoriais e motores no desempenho de controle postural em adultos idosos. Inicialmente, com a avaliação individualizada dos sistemas sensoriais e motores, ficou evidente que, funcionalmente, estes sistemas perdem a sua integridade com o envelhecimento, visto que, em todas as avaliações, os adultos idosos apresentaram um desempenho inferior ao dos adultos jovens. Como os sistemas sensoriais e

motores contribuem para o funcionamento do sistema de controle postural, esperava-se que a integridade deste sistema também fosse alterada com o envelhecimento. Isto foi constatado, porém diferenças significativas entre os grupos de adultos jovens e adultos idosos foram evidenciadas em condições em que o ambiente e/ou a tarefa exigiu mais do sistema de controle postural. Quando expostos a uma manipulação da informação visual, tanto os adultos jovens quanto os adultos idosos foram influenciados por esta manipulação, desencadeando ações motoras correspondentes às mudanças no cenário visual. Quanto maior a complexidade das alterações do cenário visual, mais evidente foi a diferença no desempenho do controle postural entre adultos jovens e idosos. Finalmente, quando investigada a contribuição relativa dos sistemas sensoriais e motor para o desempenho de controle postural, foi verificado que o sistema somatossensorial, mais especificamente, o sistema proprioceptivo é o sistema que mais contribui para tal desempenho, seja em condições de manipulação da informação visual ou na simples manutenção da postura ereta.

### **6.1 Diferenças sensoriais e motoras entre adultos jovens e idosos**

As diferenças entre os grupos etários encontradas nas avaliações individuais dos sistemas sensoriais e motor já eram esperadas, pois há muitos relatos na literatura de alterações destes sistemas com o envelhecimento. Com relação ao sistema sensorial, os adultos idosos, comparado aos adultos jovens, apresentaram um pior desempenho do sistema visual, com menor acuidade e

sensibilidade ao contraste visual, o que corrobora com os resultados encontrados na literatura (GRENNE e MADDEN, 1987; VERRILLO e VERRILLO, 1985). Lord e Ward (1994) verificaram uma relação entre o avanço da idade e a piora no desempenho do sistema visual, relatando que, a partir dos 65 anos, quanto maior a idade do participante, menor foi a acuidade visual e a sensibilidade ao contraste. Estes autores, entretanto, não adotaram um critério de exclusão de participantes que apresentassem qualquer doença associada ao envelhecimento, o que gera dúvidas quanto à confiabilidade desta relação entre o avanço da idade e a piora no desempenho do sistema visual. Não foi possível investigar esta relação no presente estudo, devido à pequena variação etária dos participantes adultos idosos (de 65 a 76 anos), entretanto, foi possível verificar diferenças marcantes entre adultos jovens e idosos quanto ao desempenho do sistema visual. O mais importante foi que a piora da função visual ocorreu devido às deteriorações fisiológicas e estruturais deste sistema conseqüentes somente do processo natural de envelhecimento.

A diminuição da sensibilidade cutânea encontrada nos adultos idosos, em comparação aos adultos jovens no presente estudo confirma o que já havia sido encontrado em outros estudos (KENSALO, 1998; PERRY, 2006). Menz, Morris e Lord (2006) verificaram que há uma relação entre a redução da sensibilidade cutânea e o histórico de quedas em adultos idosos. Entretanto, mais uma vez a falta de controle quanto à presença de doenças associadas ao envelhecimento nos leva a questionar se a redução da sensibilidade cutânea que, segundo os autores, teria influenciado o controle postural e ocasionado quedas,

ocorreu por alterações fisiológicas decorrentes do envelhecimento por si só, ou por doenças associadas ao envelhecimento.

As diferenças no sistema proprioceptivo entre adultos jovens e idosos encontradas neste estudo estão de acordo com o que já havia sido observado em diversos estudos (BULLOCK-SAXTON; WONG e HOGAN, 2001; HURLEY; REES e NEWHAM, 1998; PETRELLA; LATTANZIO e NELSON, 1997), nos quais os adultos idosos apresentam um desempenho proprioceptivo inferior ao dos adultos jovens. O presente estudo, no entanto, é o primeiro que avaliou a sensibilidade ao movimento articular passivo em idosos. Os estudos anteriores avaliaram a capacidade do indivíduo de reproduzir ativamente uma posição angular dos membros inferiores realizada previamente. Como ressaltado no capítulo Revisão de Literatura, quando o senso de posição articular é testado ativamente, podem ocorrer contribuições maximizadas dos receptores musculares, devido à própria contração e a integridade proprioceptiva pode então, não estar sendo consistentemente definida. O método de avaliação de forma passiva parece mais indicado para investigar minuciosamente a função proprioceptiva em indivíduos idosos, principalmente para que as associações entre os desempenhos nesta avaliação e em avaliações de controle postural possam ser realizadas de forma mais fidedigna. Outra observação importante é que os proprioceptores das articulações de joelho e tornozelo são semelhantemente alterados pelo envelhecimento, uma vez que não houve diferença na percepção de movimento entre estas articulações.

Os déficits de torque articular de joelho e tornozelo encontrados no presente estudo condizem com a maioria dos resultados relatados até o momento na literatura (KLASS; BAUDRY e DUCHATEAU, 2005; HURLEY; REES e NEWHAM, 1998; HÄKKINEN et al., 1995; VANDERVOORT, 1992; HÄKKINEN e HÄKKINEN, 1991). Simoneau, Martin e Van Hoecke (2005), no entanto, ao avaliarem o torque articular de tornozelo, encontraram diferenças entre adultos jovens e idosos somente no torque de flexão plantar, sendo o torque de dorsiflexão semelhante entre os grupos etários. Esta contradição de resultados pode ter ocorrido devido aos diferentes métodos utilizados para esta avaliação. Simoneau, Martin e Van Hoecke (2005) avaliaram o torque do tornozelo com os participantes na posição supina, com as pernas totalmente estendidas, enquanto o presente estudo avaliou os participantes na posição sentada, com as pernas a 90° em relação à coxa. Como o músculo gastrocnêmio é biarticular, a posição do joelho interfere diretamente o nível de geração de força (relação comprimento-tensão). Além disso, os equipamentos utilizados para avaliação do torque articular não foram os mesmos entre os estudos. A maior diferença no torque produzido entre os grupos foi para o torque de extensão de joelho dos participantes do gênero masculino, onde o torque médio dos adultos idosos foi cerca da metade do torque dos adultos jovens. Por outro lado, a menor diferença no torque produzido entre os grupos foi para o torque de dorsiflexão de tornozelo dos participantes do gênero feminino, onde o torque médio das adultas idosas foi cerca de 33% inferior ao das adultas jovens. Com base nestas observações, pode-se afirmar que para cada articulação, a capacidade de produção de torque é diferentemente alterada pelo

envelhecimento e isso ocorre de acordo com o gênero. Estas diferenças podem ocorrer devido às mudanças nas propriedades intrínsecas musculares, ou devido ao padrão de uso muscular.

A maior latência de ativação muscular obtida no grupo dos adultos idosos, em relação aos adultos jovens, também já havia sido reportada anteriormente em outros estudos (FREITAS JUNIOR, 2003; LIN e WOOLLACOTT, 2002, WOOLLACOTT; SHUMWAY-COOK e NASHNER, 1986). Todos estes estudos relataram um aumento da latência de ativação do músculo TA em adultos idosos quando a plataforma foi movimentada para frente e, assim como no presente estudo, os adultos idosos demoraram cerca de 20 milésimos de segundo a mais para ativar o TA do que os adultos jovens. Uma explicação para este aumento na latência de ativação muscular que ocorre com o envelhecimento seria a diminuição da velocidade de transmissão de impulsos nervosos pelas vias aferentes, tanto no sistema nervoso periférico (RIVNER; SWIFT e MALIK, 2001; DORFMAN e BOSLEY, 1979) quanto no sistema nervoso central (DORFMAN e BOSLEY, 1979). Além disso, as mudanças estruturais do sistema nervoso central presentes nos adultos idosos (MAKI e MCILROY, 1996) poderiam ocasionar problemas no processamento das informações sensoriais e na seleção das respostas motoras apropriadas, levando a uma lentidão das respostas à perturbação da postura.

Quando a plataforma foi movimentada para trás, houve uma dificuldade na obtenção da latência de ativação do músculo GM, sendo que para apenas 13 participantes (2 adultos jovens e 11 adultos idosos) foi possível definir esta latência. Uma possível explicação para este fato é que cada direção do

movimento da superfície de suporte perturba o sistema de controle postural de forma específica, devido às diferenças na biomecânica corporal. Por esta mesma razão, Lin e Woollacott (2002) realizaram uma movimentação da plataforma para trás com uma aceleração maior do que a da movimentação para frente. Não há entretanto, um consenso quanto aos parâmetros de movimentação da superfície de suporte de forma que o sistema de controle postural seja perturbado na mesma magnitude em ambas as direções. Logo, outros estudos são necessários para que haja uma determinação de tais parâmetros, possibilitando uma melhor análise de controle postural frente à perturbação da superfície de suporte em ambas as direções. De qualquer forma, os resultados do presente estudo mostram claramente que com o envelhecimento ocorre um aumento da latência de ativação da musculatura após perturbação da postura ereta.

Considerando todos estes resultados, pode-se afirmar que o envelhecimento por si só é responsável por alterações no funcionamento dos sistemas sensoriais e motor. Esta afirmação é possível devido ao rigoroso controle quanto ao nível de atividade física e de doenças associadas ao envelhecimento dos participantes deste estudo. A falta de controle da população quanto ao nível de atividade física pode melhorar ou mascarar possíveis efeitos do envelhecimento nos sistemas sensoriais e motor, uma vez que a prática regular de atividade física pode promover uma melhora funcional destes sistemas. Se isso ocorrer, os adultos idosos podem apresentar um desempenho destes sistemas muito próximo ao dos adultos jovens, como já foi observado em alguns estudos (p. ex. PRIOLI; FREITAS JUNIOR e BARELA, 2005). Quanto às doenças associadas ao

envelhecimento, estas podem exacerbar as deteriorações sensoriais e motoras presentes na população idosa e a falta de controle dessas doenças torna difícil distinguir as deteriorações causadas pelo envelhecimento das causadas por determinada doença.

## **6.2 Diferenças no controle postural entre adultos jovens e idosos**

Quanto ao controle postural durante a manutenção da postura ereta, os participantes, ao permanecerem na posição *semi-tandem stance*, tiveram sua base de suporte reduzida na direção médio-lateral, mas, apesar disso, os adultos idosos não apresentaram maior AMO nesta direção e sim, na direção ântero-posterior. Sabe-se que diferenças no controle postural entre grupos de adultos jovens e idosos são evidenciadas em condições mais desafiadoras (PRIOLI et al., 2006; AMIRIDIS; HATZITAKI e ARABATZI, 2003; FERRAZ, BARELA e PELLEGRINI, 2001). No estudo de Prioli et al. (2006), por exemplo, foi constatado que, na simples manutenção da postura ereta, não houve mudanças decorrentes do envelhecimento quanto à variabilidade de oscilação corporal, mas quando um indivíduo teve que manter a postura ereta com um estreitamento da base de suporte, tanto na posição de *tandem stance* quanto sobre uma base de suporte reduzida na direção ântero-posterior, os adultos idosos tiveram dificuldade em manter uma postura estável, apresentando maior variabilidade de oscilação corporal do que os adultos jovens. Podemos sugerir então que a tarefa de manter a postura em *semi-tandem stance* não seja tão difícil de realizar quanto o é na

posição *tandem stance* para encontrar diferenças entre grupos de adultos jovens e idosos quanto à AMO na direção médio-lateral, mas, de alguma forma, a posição *semi-tandem stance* dificultou a manutenção da postura ereta, uma vez que uma maior AMO na direção ântero-posterior foi obtida para os participantes adultos idosos, comparada à dos adultos jovens.

Alguns estudos têm apontado alterações no controle postural com o avanço da idade na simples manutenção da postura ereta. Entretanto, diferenças entre adultos jovens e idosos foram encontradas quando os participantes tiveram que manter uma postura com redução da base de suporte (PRIOLI et al., 2006; FERRAZ; BARELA e PELLEGRINI, 2001) ou quando não houve um controle rigoroso quanto à presença de doenças associadas ao envelhecimento (WADE et al., 1995). Outra justificativa para as diferenças encontradas entre os grupos etários na avaliação de manutenção da postura ereta pode ser a variável analisada. Mcclenaghan et al. (1996), por exemplo, analisaram a aceleração do centro de massa corporal. Esta variável tem um maior grau de sensibilidade do que as tradicionalmente utilizadas como, por exemplo, o deslocamento corporal. Medidas de deslocamento corporal fornecem uma estimativa global do padrão de oscilação corporal, não levando em consideração as características dinâmicas dos deslocamentos do centro de massa. Talvez uma análise de velocidade ou aceleração corporal poderia apresentar diferenças mais marcantes entre os grupos etários na avaliação da manutenção da postura ereta do presente estudo.

Na avaliação de resolução de conflito sensorial, com movimentação discreta da sala móvel, os adultos jovens e idosos se comportaram de forma

semelhante, não havendo diferenças entre os grupos etários quanto ao deslocamento corporal e ao tempo para reversão deste deslocamento. Este resultado foi diferente dos encontrados na literatura (WADE et al., 1995; PRIOLI, FREITAS JUNIOR e BARELA, 2005), nos quais os adultos idosos apresentaram um maior deslocamento corporal decorrente do movimento da sala do que os adultos jovens. Comparando as médias de deslocamento corporal dos grupos etários encontradas neste estudo e no estudo de Prioli, Freitas Junior e Barela (2005), cujos parâmetros de movimentação da sala foram os mesmos dos utilizados no presente estudo, verificamos que neste estudo, os adultos idosos foram menos influenciados pela movimentação da sala do que os adultos idosos do estudo de Prioli, Freitas Junior e Barela (2005), enquanto que os jovens apresentaram o mesmo deslocamento corporal em ambos os estudos. A diferença entre os resultados pode ter ocorrido pelo fato de que, no presente estudo, a avaliação de resolução de conflito sensorial foi realizada posteriormente à manipulação contínua da informação visual, sendo que, nas condições de manipulação periódica complexa e não-periódica da informação visual, a sala móvel foi movimentada, em alguns momentos, com altas amplitudes (aproximadamente 2,5cm) e velocidades, permitindo que a maioria dos participantes percebesse que a sala estava se movimentando, mesmo não sendo previamente informados de tal manipulação. Os adultos idosos utilizaram então, a informação da movimentação da sala para reduzir a influência desta manipulação no controle postural e quando foram novamente expostos a esta manipulação, se comportaram de forma

semelhante aos adultos jovens, o que não ocorreu no estudo de Prioli, Freitas Junior e Barela (2005).

Apesar do controle na ordem de realização das avaliações, a interferência da realização de uma avaliação nos resultados de outra avaliação foi inevitável. Esta hipótese de interferência da percepção do movimento da sala nos resultados de outras avaliações de controle postural é suportada por Prioli et al. (2006), que reportou que as diferenças entre os resultados de controle postural com movimentação contínua da sala móvel obtidas neste estudo e no estudo de Prioli, Freitas Junior e Barela (2005) ocorreram porque neste segundo estudo os participantes foram expostos a uma maior manipulação da informação visual (movimento discreto) antes da exposição à movimentação contínua (menor amplitude e velocidade) da sala móvel. Os autores justificaram que, neste caso, os adultos jovens obtiveram uma informação adicional, apresentando um acoplamento mais fraco entre o movimento da sala e a oscilação corporal na condição de manipulação contínua da informação visual e assim, diferenças de comportamento entre adultos jovens e idosos foram encontradas.

Na avaliação do acoplamento entre informação visual e oscilação corporal, os resultados mostraram que a diferença de comportamento entre adultos jovens e idosos é evidenciada em situações mais desafiadoras. Quando a sala foi movimentada a uma única frequência (condição periódica), os grupos etários foram semelhantemente influenciados por esta manipulação visual, apresentando oscilação corporal correspondente e relacionada ao movimento da sala, como pode ser constatado pelos valores de AMO, SFSA, coerência e ganho.

Nesta condição, a maioria dos participantes não percebeu que a sala se movimentou. Poucos participantes relataram ter sentido algo “estranho”, mas não souberam discriminar que era o movimento da sala. Essa sensação também esteve presente mesmo na condição em que a sala não se movimentou e pode ter ocorrido devido ao padrão listrado do cenário visual, até então não vivenciado pelos participantes. A frequência de movimentação de sala a 0,2Hz nesta condição foi semelhante à frequência natural de oscilação corporal (SOAMES e ATHA, 1981), o que facilita o acoplamento à informação visual sem que haja a percepção da manipulação desta informação.

Quando a sala foi movimentada em três frequências, simultaneamente, esta situação exigiu mais do sistema de controle postural, pois, as diferentes amplitudes e velocidades de movimentação da sala exigiram um acoplamento percepção-ação mais preciso. Além disso, frequências compostas de 0,1, 0,3 e 0,5Hz, embora próximas, não são as frequências naturais de oscilação corporal e principalmente, as grandes amplitudes e velocidades de movimentação do cenário visual aos quais os participantes foram expostos, permitiram a percepção do movimento da sala. Com a manipulação complexa da informação visual, tanto de forma periódica quanto não-periódica, os adultos idosos foram mais influenciados por esta manipulação do que os adultos jovens. A diferença de comportamento entre os adultos jovens e idosos pode estar relacionada à percepção do movimento da sala, sendo que os adultos jovens utilizaram esta informação para reduzir a influência da manipulação da informação visual no

controle postural, o que os adultos idosos não conseguiram fazer de forma eficiente.

Quando a sala se movimentou periodicamente em uma única frequência, as características deste movimento não foram fortes o suficiente para que os participantes percebessem que era a sala que se movimentava. Neste caso, os participantes interpretaram as pequenas mudanças no cenário visual como um auto-movimento e, na tentativa de controlar essas alterações ambientais, passaram a oscilar com amplitudes e frequências semelhantes à da sala para manter a estabilidade do cenário visual. Essas oscilações corporais foram tão próximas aos padrões naturais que os participantes não perceberam que sua oscilação estava sendo desencadeada pela oscilação da sala. Já quando a sala se movimentou de forma periódica complexa e não-periódica, foi mais fácil para o indivíduo discriminar a informação conflitante. Nesta situação, enquanto o sistema visual buscava manter estabilidade do cenário visual, dando a sensação de que não estava havendo movimento corporal, as informações provenientes dos sistemas vestibular e somatossensorial indicavam que o corpo estava se movimentando. Para resolução deste conflito sensorial, os pesos atribuídos aos diferentes canais sensoriais devem ser alterados, de modo que a informação “real” possa prevalecer, garantindo estabilidade corporal.

Em situações normais, as informações provenientes dos canais sensoriais são abundantes, fornecendo informações que são coincidentes espacial e temporalmente ao sistema de controle postural. Essas informações, entretanto, não são somadas para que haja um enriquecimento de informações sobre o

equilíbrio e orientação corporal. O sistema de controle postural atribui diferentes pesos ou importâncias a cada informação sensorial, que depende, basicamente, do contexto em que a tarefa está sendo executada (JEKA; OIE e KIEMEL, 2000).

Durante a movimentação da sala móvel, não há coincidência temporal e espacial das informações sensoriais. Inicialmente, como a informação visual é destacada por alterações dinâmicas de posição e velocidade, um peso maior é atribuído ao sistema visual, mas posteriormente, a grande magnitude de resposta motora desencadeada pela manipulação visual estimula os receptores dos sistemas vestibular e somatossensorial, levando à situação de conflito sensorial. No caso da movimentação complexa da sala, a grande magnitude de oscilação corporal em resposta à manipulação da informação visual, facilita a discriminação da informação conflitante, “não real” e o sistema de controle postural passa então a diminuir o peso atribuído à visão e a aumentar o peso atribuído aos demais canais sensoriais, diminuindo a influência da manipulação da informação visual na oscilação corporal.

A adaptação dinâmica entre informação visual e oscilação corporal está intimamente relacionada à magnitude do estímulo. Peterka e Benolken (1995) e Barela et al. (submetido) verificaram uma diminuição de resposta de oscilação corporal com o aumento da amplitude de movimentação do cenário visual. Quanto maior a amplitude e velocidade do estímulo, mais fácil é para o sistema de controle postural identificar as informações mais relevantes e seguras para se manter a estabilidade postural. Por esta razão, acredita-se não ter encontrado diferenças no acoplamento entre os grupos etários na condição em que a sala foi

movimentada de forma periódica, e sim nas condições periódica complexa e não-periódica. Ou seja, a maior influência da manipulação complexa da informação visual no controle postural observada nos adultos idosos indica que com o envelhecimento há uma alteração no processo de atribuição de pesos aos sistemas sensoriais, com um aumento do peso atribuído à informação visual, como indicados pelos maiores valores de coerência, ganho SFSA e AMO. Este aumento de peso atribuído às informações visuais pode estar relacionado às alterações das informações dos demais canais sensoriais (vestibular e somatossensorial). Esta hipótese também foi apoiada por Wade et al. (1995), que sugeriram, com base nos seus resultados, que os idosos oscilam mais devido à diminuição da capacidade dos sistemas somatossensorial e vestibular em detectar movimentos corporais, resultando em maior influência das informações visuais no controle postural.

Mesmo apresentando déficits no desempenho do sistema visual, os adultos idosos não foram somente sensíveis a pequenos movimentos no cenário visual, mas foram também mais influenciados por esta manipulação do que os adultos jovens, apresentando um acoplamento mais forte entre a oscilação corporal e o movimento da sala nas três freqüências de movimentação da sala. Resultados semelhantes foram encontrados no estudo de Prioli (2006), no qual adultos jovens e idosos foram expostos à movimentação contínua da sala móvel. Neste estudo, durante a movimentação contínua da sala, ocorreu uma perturbação da informação visual, com a alteração na direção e amplitude de dois ciclos da tentativa: um na primeira metade e outro na segunda metade da

tentativa. A autora verificou que os adultos idosos, além de apresentarem um acoplamento mais forte do que os adultos jovens, após a perturbação eles recuperaram o padrão temporal em tempo semelhante ao dos adultos jovens. A autora sugeriu que os déficits visuais não foram suficientes para impedir a influência da sala móvel e o relacionamento entre informação visual e oscilação corporal dos indivíduos idosos e que o sistema de controle postural destes indivíduos é sensível às variações do estímulo passando por um processo adaptativo, assim como ocorre com os adultos jovens.

### **6.3 Contribuição da deterioração do sistema somatossensorial para o controle postural**

As análises de regressão linear mostraram claramente que a variável que mais contribui para o desempenho de controle postural é a sensibilidade ao movimento passivo articular. Um achado interessante destas análises foi que com o aumento da complexidade da tarefa, houve uma maior contribuição do sistema proprioceptivo no controle postural. Desta forma, aqueles participantes com um maior déficit proprioceptivo foram também os participantes que oscilaram com maior amplitude, nas situações de manipulação ou não da informação visual. Estes mesmos participantes, quando expostos à movimentação do cenário visual de forma periódica complexa e não-periódica, foram mais influenciados por esta movimentação e apresentaram um acoplamento mais forte entre informação visual e oscilação corporal.

Investigações sobre a contribuição dos sistemas sensoriais e motor para o controle postural em adultos idosos estão relatadas na literatura (CORRIVEAU et al., 2004; LORD e MENZ, 2000; LORD e WARD, 1994; LORD; CLARK e WEBSTER, 1991<sup>a</sup>; LORD; CLARK e WEBSTER, 1991<sup>b</sup>). Nestes estudos, o controle postural foi avaliado durante a manutenção da postura ereta sobre um piso rígido e sobre uma espuma, de olhos abertos ou fechados. De forma geral, foi verificado que os sistemas mais importantes para o controle postural foram: somatossensorial e força no piso rígido com olhos abertos; somatossensorial no piso rígido com olhos fechados; visual, somatossensorial e força na espuma com olhos abertos. Contudo, muitas divergências foram encontradas entre os estudos. Por exemplo, Lord, Clark e Webster (1991<sup>a</sup>) verificaram que a sensibilidade cutânea e a propriocepção dos membros inferiores foram as variáveis mais importantes para a manutenção da postura estática no piso rígido com olhos abertos. Alguns anos depois, o mesmo autor, utilizando a mesma metodologia (LORD e WARD, 1994) verificou que as variáveis sensibilidade cutânea, sensibilidade à vibração e força foram as mais importantes para a manutenção da postura estática. Mais tarde, novamente o mesmo autor (LORD e MENZ, 2000) encontrou diferentes resultados, sendo que na condição sobre o piso rígido, somente a redução proprioceptiva dos membros inferiores esteve significativamente associada ao aumento da oscilação corporal. O autor não justifica esta falta de consistência entre os resultados, apenas os compara a outros estudos que encontraram o mesmo resultado. Em todos estes estudos de Lord e colaboradores (LORD e MENZ, 2000; LORD e WARD, 1994; LORD; CLARK e

WEBSTER, 1991<sup>a</sup>; LORD; CLARK E WEBSTER, 1991<sup>b</sup>), a avaliação proprioceptiva foi realizada de forma ativa e não houve um controle dos participantes quanto às doenças associadas ao envelhecimento. Assim sendo, deteriorações mais acentuadas dos sistemas sensoriais e/ou motor têm mais chance de interferir no desempenho de controle postural. Corriveau et al. (2004) também não controlaram a presença de doenças e verificaram que a força dos membros inferiores foi a variável mais importante para a manutenção da postura estática. Este estudo não avaliou o sistema proprioceptivo dos participantes, o que pode ter contribuído para a diferença entre este e os demais estudos.

No presente estudo, a inclusão de participantes sem doenças e não praticantes de atividade física permitiu verificar que o envelhecimento por si só provoca alterações no sistema proprioceptivo, levando a um prejuízo da qualidade da informação deste sistema sensorial utilizada para controlar a estabilidade postural. Na condição de manutenção da postura ereta em semi-tandem stance, por exemplo, por ser uma tarefa mais desafiadora, houve uma exigência maior do sistema somatossensorial, o que talvez não teria ocorrido se os pés estivessem paralelamente posicionados. A manutenção da postura natural (pés paralelos) é uma tarefa relativamente fácil para os adultos idosos e, talvez os danos sensoriais e motores provocados pelo envelhecimento não influenciariam no desempenho de controle postural.

Parece óbvio que se retirarmos ou alterarmos uma informação sensorial, o peso atribuído aos demais canais sensoriais é aumentado e, as deteriorações presentes nestes canais levam a um prejuízo da estabilidade

postural. Contudo, o que aconteceria se um dos canais sensoriais fosse manipulado de modo a gerar um conflito sensorial? O presente estudo foi o único que analisou a importância dos sistemas sensoriais e motor no desempenho de controle postural quando há este tipo de manipulação da informação visual. Se o sistema proprioceptivo foi o mais importante para a manutenção da postura ereta, sem manipulação das informações sensoriais, o que ocorreria quando houvesse uma manipulação da informação visual? Os resultados indicaram uma contribuição ainda maior do sistema proprioceptivo para o controle postural quando houve esta manipulação. Ou seja, no processo de integração sensorial, como a manipulação da informação visual foi perceptível aos participantes, a importância atribuída a esta informação foi reduzida e houve um aumento da importância das informações somatossensoriais e vestibulares. Novamente, quanto mais degradado o sistema proprioceptivo, menos adequada foi a utilização deste canal sensorial para controlar a estabilidade corporal e, conseqüentemente, maior foi a influência da movimentação do cenário visual no controle postural.

Com o aumento da complexidade dos movimentos da sala, quando esta foi movimentada em três frequências simultaneamente, de forma não periódica, a falta de previsibilidade da manipulação da informação sensorial exigiu um acoplamento entre informação sensorial e ação motora mais refinado. Desta forma, o sistema de controle postural deveria responder imediatamente às informações sensoriais disponíveis, sem nenhuma pista de subseqüentes mudanças no cenário visual. Sem a chance de estimar futuros estados visuais, o sistema de controle postural teve que “confiar” mais nos sistemas

somatossensorial e vestibular para controlar esta situação ilusória e manter a estabilidade corporal. Conseqüentemente, quanto menos adequada a informação proprioceptiva, maior a instabilidade corporal e maior a influência da movimentação da sala na oscilação corporal. Nesta condição, a sensibilidade ao contraste visual passou a ter um pequeno, mas significativo papel no acoplamento entre o movimento da sala e oscilação corporal. Acredita-se que a melhor sensibilidade ao contraste permite uma melhor percepção da manipulação da informação visual e, como conseqüência, há um acoplamento mais fraco entre informação visual e oscilação corporal.

Muitos pesquisadores evidenciam a importância do sistema visual para o controle postural em adultos idosos (LORD e MENZ, 2000; LORD e WARD, 1994; LORD; CLARK e WEBSTER, 1991<sup>b</sup>). Os resultados do presente estudo mostraram, entretanto, que as alterações deste sistema em função do envelhecimento não prejudicam a manutenção da postura ereta, pelo menos nas condições e níveis analisados no presente estudo. Pelo contrário, a movimentação da sala nos permitiu verificar que, apesar das deteriorações do sistema visual, os adultos idosos foram sensíveis às pequenas movimentações do cenário visual e utilizaram esta informação para controlar a oscilação corporal. Desta forma, não houve relação entre a diminuição do desempenho do sistema visual e o aumento da oscilação corporal.

Alguns estudos justificam as mudanças no controle postural de adultos idosos devido à diminuição na capacidade de produção de torque articular (CORRIVEAU et al., 2004; LORD e MENZ, 2000; LORD e WARD, 1994). No entanto, a

pequena magnitude de torque exigido para a manutenção da postura ereta não nos permitiu observar esta relação entre diminuição de força e aumento de oscilação corporal. Mesmo os adultos idosos apresentando uma menor capacidade de produção de torque, comparada à dos adultos jovens, ainda conseguem produzir força suficiente para controlar a oscilação corporal na manutenção da postura ereta. O mesmo ocorre com a latência de ativação muscular. Apesar dos adultos idosos demorarem mais tempo para ativar a musculatura após uma perturbação, isto não refletiu no desempenho de controle postural, talvez pelo fato de que, neste caso, não haja uma exigência temporal das respostas musculares tão precisa.

Décadas de pesquisas em controle postural forneceram muitos indícios de que o sistema de controle postural envolve integração sensorial ao invés de simples respostas posturais. Assim sendo, a integridade dos canais sensoriais é de extrema importância para um bom desempenho de controle postural, pois a partir destas informações, um quadro referencial ambiental e corporal será estabelecido e respostas motoras correspondentes serão desencadeadas. Este estudo mostrou que com todas as alterações sensoriais e motoras que ocorrem no processo de envelhecimento, a redução na percepção de movimento articular influencia drasticamente o desempenho de controle postural em adultos idosos. Esta constatação exige uma atenção maior dos pesquisadores à contribuição do sistema proprioceptivo no controle postural de modo que os serviços de saúde tenham acesso aos resultados destas pesquisas, auxiliando na prevenção de quedas de indivíduos idosos.

As condições experimentais de avaliação do controle postural neste estudo foram bem específicas. Ou seja, mudanças no desempenho de controle postural em adultos idosos foram identificadas especificamente na manutenção da postura ereta, com uma leve dificuldade da tarefa, e no acoplamento entre informação sensorial e oscilação corporal com manipulação da informação visual. Estas situações de controle postural não representam todas as situações do dia-a-dia do idoso e, talvez não sejam as situações em que a maioria das quedas ocorre. Contudo, os resultados obtidos nestas situações servem como base para o entendimento do controle postural em adultos idosos e da importância relativa dos danos sensoriais e motores em decorrência do envelhecimento para o controle postural. Para um esclarecimento das reais contribuições das deteriorações dos sistemas sensoriais e motor na ocorrência de quedas na população idosa, estudos futuros devem ser realizados especificamente com este enfoque, simulando situações em que as quedas ocorrem.

Finalmente, é muito comum a presença de doenças associadas ao envelhecimento que podem prejudicar o desempenho de controle postural da população idosa. O presente estudo verificou que, livre destas doenças, a deterioração que mais prejudica o controle postural de adultos idosos é a do sistema proprioceptivo. É importante também investigar os efeitos da prática regular de atividade física no desempenho dos sistemas sensoriais e motor, e como estes efeitos podem refletir no controle postural de indivíduos idosos. Acredita-se que o esclarecimento destas questões facilita a determinação de

procedimentos preventivos e terapêuticos específicos para determinadas doenças e para o envelhecimento.

## 7 – CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos no presente estudo, pode-se concluir que adultos idosos, livres de doenças associadas ao envelhecimento e de queixas de tontura e sem histórico de quedas (no período de um ano) apresentam déficits funcionais sensoriais e motores. Especificamente, os déficits sensoriais são: diminuição de acuidade e sensibilidade ao contraste visual, diminuição de sensibilidade cutânea e diminuição de sensibilidade ao movimento articular passivo. Quanto aos déficits motores, os adultos idosos apresentam uma redução na capacidade de produção de torque articular e aumento na latência de ativação muscular após a perturbação da postura. Estes resultados indicam, portanto, que as alterações estruturais e fisiológicas decorrentes do processo de envelhecimento por si só resultam em uma piora do desempenho dos sistemas sensoriais e motor.

O controle postural também é alterado com o envelhecimento e diferenças comportamentais entre adultos jovens e idosos são evidenciadas quando o ambiente exige uma maior demanda do sistema de controle postural. Na postura *semi-tandem stance*, os adultos idosos oscilam mais do que os adultos

jovens. Quando a manipulação da informação visual é contínua, diferenças entre adultos jovens e idosos ocorrem somente quando as características desta informação são complexas, ou seja, quando o estímulo é composto de três frequências, simultaneamente, que se repetem de forma periódica ou não-periódica ao longo da tentativa. Nestas condições, os adultos idosos são mais influenciados pela manipulação da informação visual e apresentam um acoplamento mais forte à movimentação do cenário visual.

As investigações sobre a contribuição das deteriorações dos sistemas sensoriais e motor para as mudanças no desempenho de controle postural nos adultos idosos indicaram que a redução na percepção de movimento articular passivo foi, das avaliações realizadas, a variável que mais interferiu no controle postural. Quanto maior a exigência do sistema de controle postural pelas complexidades das informações sensoriais disponíveis no ambiente, maior é a importância das informações proprioceptivas para o controle postural. Como os adultos idosos apresentam uma deterioração do sistema proprioceptivo, pode-se sugerir que informações sensoriais inadequadas resultam em respostas motoras inadequadas, ou seja, aumento de oscilação corporal e aumento de peso atribuído às informações visuais, resultando em acoplamento mais forte entre informação visual e oscilação corporal.

## 8 – REFERÊNCIAS

ALVAREZ, J.C.; DÍAZ, C.; SUÁREZ, C.; FERNÁNDEZ, J.A.; GONZÁLEZ DEL REY, C. NAVARRO, A.; TOLIVIA, J. Aging and the human vestibular nuclei: morphometric analysis. **Mechanisms of ageing and development**, Amsterdam, v.114, p.149-172, 2000.

AMERICAN GERIATRICS SOCIETY, BRITISH GERIATRICS SOCIETY, AND AMERICAN ACADEMY OF ORTHOPAEDIC SURGEONS PANEL ON FALLS PREVENTION. Guideline for the prevention of falls in older persons. **Journal of the American Geriatrics Society**, Los Angeles, n.49, p.664-672, 2001.

AMIRIDIS, I.G.; HATZITAKI, V.; ARABATZI, F. Age-induced modifications of static postural control in humans. **Neuroscience Letters**, New York, v.350, p.137-140, 2003.

ANIANSSON, A.; GRIMBY, G.; HEDBERG, M.; Compensatory muscle fiber hypertrophy in elderly men. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.73, p.812-816, 1992.

BACSI, A.M.; COLEBATCH, J.G. Evidence for reflex and perceptual vestibular contributions to postural control. **Experimental Brain Research**, New York, v.160, p.22-28, 2005.

BARELA, J.A. **Development of postural control: the coupling between somatosensory information and body sway**. 1997. 352f. Tese (Doctor of Philosophy) – College Park, University of Maryland, Maryland, 1997.

BARELA, A.M.F., RINALDI, N.M.; TOLEDO, D.R., BARELA, J.A. The influences of imposed optic flow characteristics and intention on postural responses. **Motor Control** (submetido).

BERGER, L.; CHUZEL, M.; BUISSON, G.; ROUGIER, P. Undisturbed upright stance control in the elderly: part 1. Age-related changes in undisturbed upright stance control. **Journal of Motor Behavior**, Washington, v.37, n.5, p.348-358, 2005.

BLASZCZYK, J.W.; LOWE, D.L.; HANSEN, P.D. Ranges of postural stability and their changes in the elderly. **Gait and Posture**, Amsterdam, v.2, p.11-17, 1994.

BONFIM, T.R.; PACCOLA, C.A.; BARELA, J.A. Proprioceptive and behavior impairments in individuals with anterior cruciate ligament reconstructed knees. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, Chicago, v.84, n.8, p.1217-23, 2003.

BROCKLEHURST, J.; ROBERTSON, D.; JAMES-GROOM, P. Clinical correlates of sway in old age: sensory modalities. **Age and Ageing**, London, v.11, n.1, p.1-10, 1982.

BROWN, L.E.; WEIR, J.P. (ASEP) Procedures recommendation I: accurate assessment of muscular strength and power. **Journal of Exercises Physiology**, v.4, n.3, p.1-21, 2003.

BULLOCK-SAXTON, J.E.; WONG, W.J.; HOGAN, N. The influence of age on weight-bearing joint reposition sense of the knee. **Experimental Brain Research**, New York, v. 136, p.400-406, 2001.

CORRIVEAU, H.; HÉBERT, R.; RAÎCHE, M.; DUBOIS, M.; PRINCE, F. Postural stability in the elderly: empirical confirmation of a theoretical model. **Archives of Gerontology and Geriatrics**, New York v.39, p.163-177, 2004.

DEMURA, S.; KITABAYASHI, T.; KIMURA, A.; MATSUZAWA, J. Body sway characteristics during static upright posture in healthy and disordered elderly. **Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science**, v.24, p.551-555, 2005.

DI FABIO, R.P.; EMASITHI, A. Aging and the mechanism underlying head and postural control during voluntary motion. **Physical Therapy**, Alexandria, v.77, p.458-475, 1997.

DIJKSTRA, T.M.H.; SCHÖNER, G.; GIESE, M.A.; GIELEN, C.C.A.M. Frequency dependence of the action-perception cycle for postural control in a moving visual environment: relative phase dynamics. **Biological Cybernetics**, New York, v.71, p.489-501, 1994.

DORFMAN, L.J.; BOSLEY, M.D. Age-related changes in peripheral and central nerve conduction in man. **Neurology**, Minneapolis, v.29, n.1, p.38-44, 1979.

DUNCAN, P.; CHANDLER, J.; STUDENSKI, S.; HUGHES, M.; PRESCOTT, B. How do physiological components of balance affect mobility in elderly men. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, Chicago, v.74, p.1343-1349, 1993.

ERA, P.; JOKELA, J.; SUOMINEN, H.; HEIKKINEN, E. Correlates of vibrotactile thresholds in men of different ages. **Acta Neurologica Scandinavica**, Copenhagen, v.74, p.210-217, 1986.

FERRAZ, M.A.; BARELA, J.A.; PELLEGRINI, A.M. Acoplamento sensório-motor no controle postural de indivíduos idosos fisicamente ativos e sedentários. **Motriz**, Rio Claro, v.7, n.2, p.99-105, 2001.

FREITAS JUNIOR, P.B. **Características comportamentais do controle postural de jovens, adultos e idosos**. 2003. 131f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Motricidade) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

FRERIKS, B.; HERMES, H.J. **SENIAM 9**: European recommendations for surface electromyography. The Netherlands: Roessingh Research and Development b.v., 1999. CD-ROOM.

FRONTERA, W.R.; HUGHES, V.A.; FIELDING, R.A.; FIATARONE, M.A. EVANS, W.J.; ROUBENOFF, R. Aging of skeletal muscle: a 12-yr longitudinal study. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.88, p.1321-1326, 2000.

GOODPASTER, B.H.; CARLSON, C.L.; VISSER, M.; KELLEY, D.E.; SCHERZINGER, A.; HARRIS, T.B.; STAMM, E.; NEWMAN, A.B. Attenuation of

skeletal muscle and strength in the elderly: The health ABC study. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.90, p.2157-2165, 2001.

GRABINER, M.D; ENOKA, R.M. Changes in movement capabilities with aging. In: HOLLOSZY, J.O. (Ed.) **Exercise and Sport Sciences Reviews**, Baltimore: Williams & Wilkins, v.23, p.65-104, 1995.

GRENNE, H.A.; MADDEN, D.J. Adult age differences in visual acuity, stereopsis and contrast sensitivity. **American Journal of Optometry and Physiological Optics**, v.64, p. 749-753, 1987.

GU, M.J.; SCHULTZ, A.B.; SHEPARD, N.T.; ALEXANDER, N.B. Postural Control in young and elderly adults when stance is perturbed: dynamics. **Journal of Biomechanics**, v.29, n.3, p.319-329, 1996.

GHEZ, C. Posture. In: KANDEL, R.R.; SCHWARTZ, J.H.; JESSEL, T.M. **Principles of Neural Science**, Norwalk: Appleton & Longe, 3a ed., 1991, p.596-608.

HÄKKINEN, K.; HÄKKINEN, A. Muscle cross-sectional area, force production and relaxation characteristics in women at different ages. **European Journal of Applied Physiology**, Heidelberg, v.62, p.410-414, 1991.

HÄKKINEN, K.; PASTINEN, U-M.; KARSIKAS, R.; LINNAMO, V. Neuromuscular performance in voluntary bilateral and unilateral contraction and during electrical stimulation in men at different ages. **European Journal of Applied Physiology**, Heidelberg, v.70, p.518-527, 1995.

HAYMES, S.A.; JOHNSTON, A.W.; HEYES, A.D. Relationship between vision impairment and ability to perform activities of daily living. **Ophthalmic & Physiological Optics: the Journal of the British College of Ophthalmic Opticians**, v.22, p.79-91, 2002.

HOLLAND, G.J.; TANAKA, K.; SHIGEMATSU, R.; NAKAGAICHI, M. Flexibility and physical functions of older adults: A review. **Journal of Aging and Physical Activity**, Washington, v.10, p.169-206, 2002.

HORAK, F. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? **Age and Ageing**, London, v.35-S2, p. ii7-ii11, 2006.

HORAK, F.B.; MACPHERSON, J.M. Postural orientation and equilibrium. In: ROWELL, L.B.; SHEPARD, J.T. **Handbook of Physiology**: a critical comprehensive presentation of physiological Knowledge and concepts. New York: Oxford University Press, p.255-292, 1996.

HORAK, F.B.; SHUPERT, C.L.; MIRKA, A. Components of postural dyscontrol in elderly: A review. **Neurobiology of Aging**, Oxford, v.10, p.727-738, 1989.

HURLEY, M.V.; REES, J.; NEWHAN, D.J. Quadriceps function, proprioceptive acuity and functional performance in healthy young, middle-aged and elderly subjects. **Age and Ageing**, London, v.27, p.55-62, 1998.

IBGE – Instituto brasileiro de geografia e Estatística. Perfil dos idosos responsáveis pelos domicílios no Brasil 2000. **Estudos & Pesquisas. Informação demográfica e socioeconômica**, Rio de Janeiro, n.9, 2002.

JEKA, J.J.; OIE, K.S.; KIEMEL, K.S. Multisensory information for human postural control: integrating touch and vision. **Experimental Brain Research**, New York, v.134, p.107-125, 2000.

KAPLAN, F.S.; NIXON, J.E.; REITZ, M.; RINDFLEISH, L.; TUCKER, J. Age related changes in proprioception and sensation of joint position. **Acta Orthopaedica Scandinavica**, Copenhagen, v.56, p.72-74, 1985.

KENSHALO, D.R. Somesthetic sensitivity in young and elderly humans. **Journal of Gerontology**, Washington, v.41, n.6, p.732-742, 1986.

KENT-BRAUN, J.A.; NG, A.V.; YOUNG, K. Skeletal muscle contractile and noncontractile components in young and older women and men. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.88, p.662-668, 2000.

KLASS, M.; BAUDRY, S.; DUCHATEAU, J. Aging does not affect voluntary activation of the ankle dorsiflexors during isometric, concentric, and eccentric contractions. **Journal Applied Physiology**, Bethesda v.99, p.31-38, 2005.

KJAER, P.K.; SALOMÃO, S.R.; BELFORT JUNIOR, R.; COLELLA, A.L.D. Validação clínica de teste psicofísico computadorizado para avaliação de visão de cores e sensibilidade ao contraste. **Arquivos Brasileiros de Oftalmologia**, São Paulo, v.63, n.3, p. 185-189, 2000.

KRISTINSDOTTIR, E.K.; FRANSSON, P.A.; MAGNUSSON, M. Changes in postural control in healthy elderly subjects are related to vibration sensation, vision and vestibular asymmetry. **Acta Oto-laryngologica**, Stockholm v.121, n.6, p.700-706, 2001.

LAUGHTON, C.A.; SLAVIN, M.; KATDARE, K.; NOLAN, L.; BEAN, J.F.; KERRIGAN, D.C.; PHILLIPS, E.; LIPSITZ, L.A.; COLLINS, J.J. Aging, muscle activity, and balance control: Physiologic changes associated with balance impairment. **Gait and Posture**, Amsterdam, v.18, n.2, p.101-108, 2003.

LIN, S.; WOOLLACOTT, M.H. Postural muscle response following changing balance threats in young, stable older, and unstable older adults. **Journal of Motor Behavior**, Washington, v.34, n.1, p.37-44, 2002.

LORD, S.R.; CLARK, R.D.; WEBSTER, I.W. Postural stability and associated physiological factors in a population of aged persons. **Journal of Gerontology: Medical sciences**, Washington, v.46, n.2, p.M69-76, 1991<sup>a</sup>.

LORD, S.R.; CLARK, R.D.; WEBSTER, I.W. Visual acuity and contrast sensitivity in relation to falls in an elderly population. **Age and Ageing**, London, v.20, p.175-181, 1991<sup>b</sup>.

LORD, S.R.; MENZ, H.B. Visual contributions to postural stability in older adults. **Gerontology**, Innsbruck, v.46, p.306-310, 2000.

LORD, S.R.; SHERRINGTON, C.; MENZ, H.B. **Falls in older people: Risk factors and strategies for prevention**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001, 249p.

LORD, S.R.; WARD, J.A. Age-associated differences in sensori-motor function and balance in community dwelling women. **Age and Ageing**, London, v.23, p. 452-460, 1994.

MACDOUGALL, H.G.; MOORE, S.T.; CURTHOYS, I.S.; BLACK, F.O. Modeling postural instability with Galvanic vestibular stimulation. **Experimental Brain Research**, New York, v.172, p.208-220, 2006.

MACKEY, D.C.; ROBINOVITCH, S.N. Mechanisms underlying age-related differences in ability to recover balance with the ankle strategy. **Gait and Posture**, Amsterdam, v.23, p.59-68, 2006.

MAKI, B.E.; MCILROY, W.E. Postural control in the older adult. **Clinics in Geriatric Medicine**, Philadelphia, v.12, n.4, p.635-658, 1996.

MAZO, G.; BENEDETTI, T.; MOTA, J.; BARROS, M. Validade concorrente e reprodutibilidade teste/reteste do Questionário de Baecke modificado para idosos. **Revista Brasileira de Atividade Física e Saúde**, Londrina, v.6, n.1, p. 5-11, 2001.

MCCLLENAGHAN, B.A.; WILLIAMS, H.G.; DICKERSON, J.; DOWDA, M.; THOMBS, L.; ELEAZER, P. Spectral characteristics of aging postural control. **Gait and Posture**, Amsterdam, v.4, p.112-121, 1996.

MELZER, I.; BENJUVA, J.; KAPLANSKI, J. Postural stability in the elderly: a comparison between fallers and non-fallers. **Age and Ageing**, London, v.33, n.6, p.602-607, 2004.

MENZ, H.B.; MORRIS, M.E.; LORD, S.R.. Foot and ankle risk factors for falls in older people: a prospective study. **Journal of Gerontology: Medical science**, Washington, v.61A, n.8, p.866–870, 2006.

MUSOLINO, M.C.; LOUGHLIN, P.J.; SPARTO, P.J.; REDFERN, M.S. Spectrally similar periodic and non-periodic optic flows evoke different postural sway responses. **Gait and Posture**, Amsterdam, v.23, p.180-188, 2006.

NAKAMURA, H.; TSUCHIDA, T.; MANO, Y. The assessment of posture control in the elderly using the displacement of the center of pressure after forward platform translation. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, Oxford, v.11, p.395-403, 2001.

NASHNER, L.M. Analysis of stance posture in humans. In. TOWE, A. L.; LUSCHEI, E. S., **Handbook of Behavioral Neurology**, New York: Plenum, 1981. v.5, p.527-565.

NASHNER, N.M.; BLACK, F.O.; WALL, C. Adaptation to altered support and visual conditions during stance: Patients with vestibular deficits. **The Journal of Neuroscience**, v.2, n.5, p.536-544, 1982.

OWSLEY, C. Contrast sensitivity. **Ophthalmology Clinics of North America**, v.16, p.171-177, 2003.

PAULUS, W.M.; STRAUBE, A.; KRAFCZYK, S.; BRANDT, T. Differential effects of retinal target displacement, changing size, and disparity in control of anterior posterior and lateral body sway. **Experimental Brain Research**, New York, v.78, p.243-252, 1989.

PERRY, S.D. Evaluation of age-related plantar-surface intensity and onset age of advanced intensity in older adults using vibration and touch sensation tests. **Neuroscience Letters**, New York, v. 392, p. 62-67, 2006.

PETERKA, R.J.; BENOLKEN, M.S. Role of somatosensory and vestibular cues in attenuating visually induced human postural sway. **Experimental Brain Research**, New York, v.105, p.101-110, 1995.

PETRELLA, R.J.; LATTANZIO, P.J.; NELSON, M.G. Effect of age and activity on knee joint proprioception. **American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation**, Baltimore, v.76, n.3, p.235-241, 1997.

POLASTRI, P.F.; BARELA, A.M.F.; BARELA, J.A. Controle postural em idosos: relacionamento entre informação visual e oscilação corporal. In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, 9. 2001, Gramado. **Anais...** Porto Alegre: Escola de Educação Física. UFRGS, 2001. v.2, p.132-137.

PRIOLI, A.C. **Resolução de conflito sensorial no controle postural de idosos.** 2006. 105f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Motricidade) – Instituto de Biociências, Universidade estadual paulista, Rio Claro, 2003.

PRIOLI, A.C.; CARDOZO, A.S.; FREITAS JUNIOR, P.B.; BARELA, J.A. Task demand effects on postural control in older adults. **Human Movement Science**, v. 25, n.3, p.435-446, 2006.

PRIOLI, A.C.; FREITAS JUNIOR, P.B.; BARELA, J.A. Physical activity and postural control in elderly: coupling between visual information and body sway. **Gerontology**, Innsbruck v.51, p.145-148, 2005.

RAUCH, S.D.; VELASQUEZ-VILLASENÖR, L.; DIMITRI, P.S.; MERCHANT, S.N. Decreasing hair cell counts in aging humans. **Annals of New York Academy of Science, New York**, v.942, p.220-227, 2001.

RIVNER, M.H.; SWIFT, T.R.; MALIK, K. Influence of age and height on nerve conduction. **Muscle and Nerve**, New York, v.24, p.1134-1141, 2001.

ROBINOVITCH, S.N.; HELLER, B.; LUI, A.; CORTEZ, J. Effect of strength and speed of torque development on balance recovery with the ankle strategy. **Journal of Neurophysiology**, v.88, p.613-620, 2002.

SHÖNER, G. Dynamic theory of action-perception patterns: the “moving room” paradigm. **Biological Cybernetics**, New York, v.64, p.455-462, 1991.

SIMONEAU, E.; MARTIN, A.; VAN HOECKE, J. Muscular performance at the ankle joint in young and elderly men. **The Journals of Gerontology**, v.60A, n.4, p.439-447, 2005.

SOAMES, R.W.; ATHA, J. The role of antigravity musculature during quiet standing in man. **European Journal of Applied Physiology**, Heidelberg, v.47, p. 159-167, 1981.

SPARTO, P.J.; FURMAN, J.M.; REDFERN, M. Head sway response to optic flow: Effect of age is more important than the presence of unilateral vestibular hypofunction. **Journal of Vestibular Research**, v.16, p. 137-145, 2006.

SPIRDUSO, W.W., FRANCIS, K.L., MACRAE, P.G. **Physical dimensions of aging**, Champaign, Human Kinetics, 2nd ed. 2005.

STELMACH, G.E.; TEASDALE, N.; DI FABIO, R.P., PHILLIPS, J. Age-related decline in postural control mechanisms. **International Journal of Aging and Human Development**, New York, v.29, p. 205-223, 1989.

VANDERVOORT, A.A. Effects of ageing on human neuromuscular function: implication for exercise. **Canadian Journal of Sport Science**, Ottawa, v.17, n.3, p.178-184, 1992.

VANDERVOORT, A.A.; CHESWORTH, B.M.; CUNNIGHAN, D.A.; PATERSON, D.H.; RECHNITZER, P.A.; KOVAL, J.J. Age and sex effects on mobility of human ankle. **Journal of Gerontology: Medical science**, Washington, v.47, n.1, p.M17-21, 1992.

VERRILLO, R.T.; VERRILLO, V. Sensory and perceptual performance. In Charness N (ed): **Ageing and Human Performance**. New York, John Wiley & Sons, p.1, 1985.

WADE, M.; LINDQUIST, R.; TAYLOR, J.; TREAT-JACOBSON, D. Optical flow, spatial orientation, and the control of posture in the elderly. **Psychological Science**, Princeton, v.50B, p.51-58, 1995.

WINTER, D.A. Human balance and posture control during standing and walking. **Gait and Posture**, Amsterdam, v.3, p.193-214, 1995.

WOOLLACOTT, MH. Age-related changes in posture and movement. **Journal of Gerontology**, Washington, v.48, p.56–60, 1993.

WOOLLACOTT, M.H.; SHUMWAY-COOK, A.; NASHNER, L.M. Aging and posture control change in sensory organization and muscular coordination. **International Journal of Aging and Human Development**, New York, v.23, n.2, p.97-114, 1986.

WOOLLACOTT, M.H.; TANG, P.F. Balance control during walking in the older adult: research and its implication. **Physical Therapy**, Alexandria, v.77, n.6, p.646-660, 1997.

YOUNG, A.; SKELTON, D.A. Applied physiology of strength and power in old age. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.15, p.149-151, 1994.

ANEXO 1:

**Questionário de Baecke Modificado para Idosos**

### Questionário de Baecke (idosos)

Local de coleta: \_\_\_\_\_

Data da coleta: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

Data de nascimento: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Endereço: \_\_\_\_\_

Telefone: (    ) \_\_\_\_\_

#### ***I. Atividades da vida diária***

1. Você realiza algum trabalho doméstico em sua casa?
  0. Nunca (menos de uma vez por mês)
  1. Às vezes (somente quando um parceiro ou ajuda não está disponível)
  2. Quase sempre (às vezes com ajudante)
  3. Sempre (sozinho ou junto com alguém)
  
2. Você realiza algum trabalho doméstico pesado (lavar pisos e janelas, carregar lixo, etc.)?
  0. Nunca (menos que 1 vez por mês)
  1. Às vezes (somente quando um ajudante não está disponível)
  2. Quase sempre (às vezes com ajuda)
  3. Sempre (sozinho ou com ajuda)
  
3. Para quantas pessoas você faz tarefas domésticas em sua casa? (incluindo você mesmo, preencher 0 se você respondeu nunca nas questões 1 e 2)
 

\_\_\_\_\_
  
4. Quantos cômodos você tem que limpar, incluindo, cozinha, quarto, garagem, banheiro, porão (preencher 0 se respondeu nunca nas questões 1 e 2)
  0. Nunca faz trabalhos domésticos
  1. 1-6 cômodos
  2. 7-9 cômodos
  3. 10 ou mais cômodos
  
5. Se limpa algum cômodo, em quantos andares? (preencher 0 se respondeu nunca na questão 4).
 

\_\_\_\_\_
  
6. Você prepara refeições quentes para si mesmo, ou você ajuda a preparar?
  0. Nunca
  1. Às vezes (1 ou 2 vezes por semana)
  2. Quase sempre (3 a 5 vezes por semana)
  3. Sempre (mais de 5 vezes por semana)
  
7. Quantos lances de escada você sobe por dia? (1 lance de escadas tem 10 degraus)
  0. Eu nunca subo escadas
  1. 1-5
  2. 6-10
  3. Mais de 10
  
8. Se você vai para algum lugar em sua cidade, que tipo de transporte utiliza?
  0. Eu nunca saio
  1. Carro

2. Transporte público
  3. Bicicleta
  4. Caminhando
9. Com que frequência você faz compras?
0. Nunca ou menos de uma vez por semana (algumas semanas no mês)
  1. Uma vez por semana
  2. Duas a 4 vezes por semana
  3. Todos os dias
10. Se você vai para as compras, que tipo de transporte você utiliza?
0. Eu nunca saio
  1. Carro
  2. Transporte público
  3. Bicicleta
  4. Caminhando

## **II. Atividades esportivas**

Você pratica algum esporte?

*Esporte 1:*

Nome: \_\_\_\_\_

Intensidade: \_\_\_\_\_

Horas por semana: \_\_\_\_\_

Quantos meses por ano: \_\_\_\_\_

*Esporte 2:*

Nome: \_\_\_\_\_

Intensidade: \_\_\_\_\_

Horas por semana: \_\_\_\_\_

Quantos meses por ano: \_\_\_\_\_

## **III. Atividades de lazer**

Você tem alguma atividade de lazer?

*Atividade 1:*

Nome: \_\_\_\_\_

Intensidade: \_\_\_\_\_

Horas por semana: \_\_\_\_\_

Quantos meses por ano: \_\_\_\_\_

*Atividade 2:*

Nome: \_\_\_\_\_

Intensidade: \_\_\_\_\_

Horas por semana: \_\_\_\_\_

Quantos meses por ano: \_\_\_\_\_

<b>GRUPO ADULTO IDOSO</b>	<b>Sujeito</b>	<b>baecke</b>
	<b>ac2</b>	0.2
	<b>ad2</b>	1.4
	<b>an2</b>	1.3
	<b>ap2</b>	6.6
	<b>cs2</b>	1.3
	<b>de2</b>	1.5
	<b>fg2</b>	3.3
	<b>gp2</b>	1.2
	<b>he2</b>	0.4
	<b>hg2</b>	2.2
	<b>id2</b>	2.3
	<b>ir2</b>	1.9
	<b>iv2</b>	1.3
	<b>ma2</b>	2.0
	<b>ml2</b>	1.9
	<b>ni2</b>	1.5
<b>nz2</b>	6.2	
<b>re2</b>	1.4	
<b>sr2</b>	1.3	
<b>vc2</b>	5.6	

<b><i>Média</i></b>	<b>2.3</b>
<b><i>SD</i></b>	<b>1.9</b>

ANEXO 2:

**Questionários de quedas e tontura**



## Tontura

**1. O Sr. (a) sentiu tontura (especificar as sensações descritas abaixo) no último ano?**

- (1) Sim (2) Não

**Sua tontura é do tipo:**

- (1) atordoamento (2) sensação de cabeça oca, vazia (3) sensação de cabeça pesada (4) sensação de flutuação  
(5) sensação de afundamento (6) zonzeira ou tonteira (7) sensação de queda ou oscilação

**2. Atualmente, o Sr. (a) sente tontura?**

- (1) Sim (2) Não

**3. Quando o Sr. (a) tem tontura, sente tudo girar ou você girar?**

- (1) Sim (2) Não

**4. O Sr. (a) já teve alguma vez na vida crise de “labirintite”?**

- (1) Sim (2) Não

**5. Há quanto tempo o Sr. (a) sente tontura?**

- (1) De 3 a 6 meses (2) De 7 a 11 meses (3) De 1 a 2 anos (4) De 3 a 4 anos .....(5) Mais de 5 anos  
(99) Não se aplica

**6. Qual a duração da tontura?**

- (1) Dias (2) Horas (3) Minutos (4) Segundos (99) Não se aplica

**7. Quando sente tontura, sente que vai cair?**

- (1) Sim (2) Não (99) Não se aplica

**8. Qual a periodicidade?**

- (1) Esporádica (2) Freqüente (3) Mensal (4) Semanal (5) Diária  
(99) Não se aplica

**9. O Sr. (a) tem desequilíbrio ou instabilidade ao andar?**

- (1) Sim (2) Não

**10. Escala visual analógica de tontura: (0 a 10) \_\_\_\_\_**

**11. Alguma destas atividades ou posições está relacionada com o aparecimento da tontura?**

- |  |                                  |
|--|----------------------------------|
| (1) Levantando da posição deitada                        | (7) Cabeça em posição específica |
| (2) Virando a cabeça                                     | (8) Sentado parado               |
| (3) Virando o corpo a partir da posição sentada ou em pé | (9) Mudando de posição na cama   |
| (4) Levantando da posição sentada                        | (10) Durante exercício           |
| (5) Andando  | (11) Deitado de um lado          |
| (6) Quando ansioso                                       | (99) Não se aplica               |

**12. Sintomas associados:**

- |  |                                  |
|--|----------------------------------|
| (1) Zumbido                                | (8) Ansiedade                    |
| (2) Cefaléia                               | (9) Sensação de desmaio iminente |
| (3) Distúrbio da memória e da concentração | (10) Pressão / Plenitude aurial  |
| (4) Hipersensibilidade a sons              | (11) Sentimento de medo          |
| (5) Náuseas                                | (12) Insônia                     |
| (6) Vômitos                                | (13) Oscilopsia                  |
| (7) Sudorese / Palidez / Taquicardia       | (14) Déficit auditivo            |
| (99) Não se aplica                         |                                  |

ANEXO 3:

**Parecer da Comissão de Ética**

 **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**  
Câmpus de Rio Claro  
Seção Técnica Acadêmica  
Comitê de Ética em Pesquisa



Rio Claro, 11 de outubro de 2006.

Ofício CEP 191/2006

Prezado Senhor,

Informamos que na 23ª reunião ordinária do Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto de Biociências, UNESP, Campus de Rio Claro (CEP-IB-UNESP), realizada em **10.10.2006**, foi aprovado o projeto de pesquisa intitulado **"Controle postural em idosos: alterações sensoriais e/ou motoras?"**, sob sua responsabilidade, protocolo 3571, datado de 27/06/2006.

Informamos, ainda, que em relação ao item 2, letra "e", do referido Protocolo de Pesquisa, no qual menciona-se, que como parte deste projeto será desenvolvida uma dissertação de Mestrado, este Comitê entende que, um protocolo de pesquisa específico sobre este mestrado deverá ser encaminhado para apreciação do CEP.

Tal encaminhamento justifica-se em função do atendimento ao estabelecido no Manual Operacional para Comitês de Ética em Pesquisa, particularmente, o item 7 "Projetos que devem ser apresentados ao CEP e quem deve fazê-lo".

Colocamo-nos à disposição para eventuais esclarecimentos.

Atenciosamente,

  
Profa. Dra. **Rosa Maria Feiteiro Cavalari**  
Coordenadora do Comitê

Ilmo. Sr.  
**Prof. Dr. JOSÉ ANGELO BARELA**  
DD. Docente do Departamento de Educação Física – I.B.  
UNESP - CRC

Instituto de Biociências  
Avenida 24-A nº 1515 - CEP 13506-900 - Rio Claro - S.P. - Brasil  
Tel 19 3536-4100 - Fax 19 334-0006 - <http://www.ib.unesp.br>

ANEXO 4:

**Mini Exame do Estado Mental**

**MINI-MENTAL<sup>1</sup>**  
(FOLSTEIN, FOLSTEIN & MCHUGH, 1975)

**Paciente:** \_\_\_\_\_

**Data de avaliação:** \_\_\_\_\_ **Avaliador:** \_\_\_\_\_

**Orientação**

- |  |        |
|--|--------|
| 1) Dia da Semana (1 ponto)                               | (    ) |
| 2) Dia do Mês (1 ponto)                                  | (    ) |
| 3) Mês (1 ponto)   | (    ) |
| 4) Ano (1 ponto)   | (    ) |
| 5) Hora aproximada (1 ponto)                             | (    ) |
| 6) Local específico (andar ou setor) (1 ponto)           | (    ) |
| 7) Instituição (residência, hospital, clínica) (1 ponto) | (    ) |
| 8) Bairro ou rua próxima (1 ponto)                       | (    ) |
| 9) Cidade (1 ponto)                                      | (    ) |
| 10) Estado (1 ponto)                                     | (    ) |

**Memória Imediata**

Fale três palavras não relacionadas. Posteriormente pergunte ao paciente pelas 3 palavras. Dê 1 ponto para cada resposta correta. (    )

Depois repita as palavras e certifique-se de que o paciente as aprendeu, pois mais adiante você irá perguntá-las novamente.

**Atenção e Cálculo**

(100-7) sucessivos, 5 vezes sucessivamente (93,86,79,72,65)  
(1 ponto para cada cálculo correto) (    )

**Evocação**

Pergunte pelas três palavras ditas anteriormente  
(1 ponto por palavra) (    )

<sup>1</sup> INTERPRETAÇÃO DO MINI EXAME DO ESTADO MENTAL (MMSE)

**Pontuação**

< 24  
< 18  
< 14

**Escolaridade**

Altamente escolarizado  
Ginásio  
Analfabeto

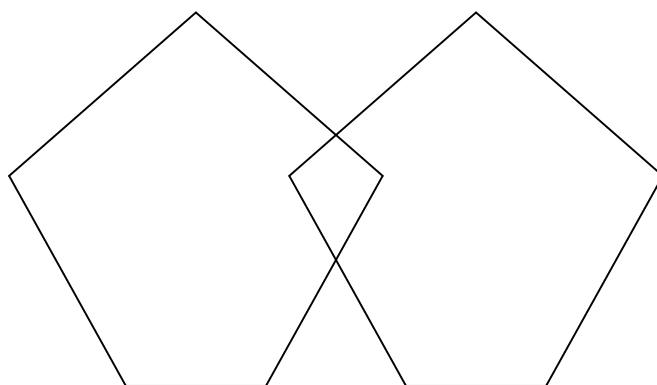
**Diagnóstico**

Possível demência  
Possível demência  
Possível demência

*Linguagem*

- 1) Nomear um relógio e uma caneta (2 pontos) (     )
- 2) Repetir “nem aqui, nem ali, nem lá” (1 ponto) (     )
- 3) Comando: “pegue este papel com a mão direita, dobre ao meio e coloque no chão (3 pontos) (     )
- 4) Ler e obedecer: “feche os olhos” (1 ponto) (     )
- 5) Escrever uma frase (1 ponto) (     )
- 6) Copiar um desenho (1 ponto) (     )

**Escore:** (    / 30)



<b>GRUPO ADULTO IDOSO</b>	<b>Sujeito</b>	<b>Mini- mental</b>
	1	28
	2	30
	3	30
	4	29
	5	29
	6	30
	7	30
	8	27
	9	28
	10	29
	11	22
	12	29.5
	13	29
	14	27.5
	14	28
	16	29
	17	26
	18	26
	19	29
	20	27

<i>Média</i>	<b>28.2</b>
<i>SD</i>	<b>1.9</b>

APÊNDICE 1:

**Termo de Consentimento**

## TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Gostaria de convidá-lo (a) a participar do projeto de pesquisa “**Controle Postural em Idosos: Alterações Sensoriais e/ou Motoras?**” conduzido pelo Prof. Dr. José Angelo Barela no Laboratório para Estudos do Movimento (LEM) - Departamento de Educação Física - Instituto de Biociências - UNESP/Rio Claro.

Para participar deste projeto você terá que fazer duas visitas ao LEM onde será submetido(a) aos seguintes testes: a) acuidade visual: sentado(a), você informará ao experimentador a letra apontada por ele, num quadro de letras posicionado a uma distância de 6 metros; b) sensibilidade ao contraste: sentado(a) em frente a um painel de figuras, você deverá informar ao experimentador a figura visualizada; c) sensibilidade ao movimento passivo: sentado(a) em uma cadeira especialmente desenvolvida para este experimento, você deverá informar o momento em que sentir qualquer movimento na articulação do joelho e do tornozelo; d) produção de torque muscular: na posição sentada com o pé direito apoiado em um suporte, você deverá realizar flexão ou extensão do joelho e do tornozelo contra um aparador; e) latência da resposta muscular: você ficará em pé sobre uma plataforma móvel, com os braços cruzados sobre o peito e, no momento em que a plataforma se mover, terá que recuperar o equilíbrio; f) avaliação postural: você deverá permanecer em pé, com os braços colocados ao lado do corpo, dentro de uma sala, primeiramente durante 30 segundos, depois, 6 tentativas de 60 segundos de duração cada e, por último, duas tentativas com duração de 16 segundos cada, tendo que permanecer olhando para frente em todas as tentativas, havendo um intervalo de descanso entre elas.

O desenvolvimento deste projeto e a sua participação não proporcionarão quaisquer benefícios financeiros, sendo que este projeto objetiva apenas investigar a utilização das informações sensoriais e motoras por idosos e adultos jovens diante dos testes realizados. Da mesma forma, você não corre risco algum decorrente da participação neste projeto.

Durante a realização de todos os procedimentos você será auxiliado (a) pelo experimentador deste projeto. A pesquisa não trará danos ou despesas e, portanto, não haverá a necessidade de ressarcimento e/ou indenização.

Todas as informações adquiridas no estudo são confidenciais e o seu nome não será divulgado em momento algum. Ainda, toda e qualquer informação será utilizada para fins acadêmicos e, se assim você desejar, o responsável pelo estudo irá fornecer esclarecimentos, antes e/ou durante o curso da pesquisa, sobre a metodologia e também irá fornecer, em outra oportunidade, os resultados da sua participação.

A qualquer momento você poderá pedir para interromper a sua participação na realização do experimento sem que isto lhe acarrete qualquer prejuízo ou penalização.

**Nome do participante:** \_\_\_\_\_  
**ENDEREÇO:** \_\_\_\_\_ **CIDADE/ESTADO:** \_\_\_\_\_  
**CEP:** \_\_\_\_\_ **Telefone: (\_\_\_\_) \_\_\_\_\_**  
**RG:** \_\_\_\_\_ **CPF:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
**Assinatura do Participante**

\_\_\_\_\_  
**Assinatura do Pesquisador Responsável**

**Identificação do responsável pelo estudo:**

Prof. Dr. JOSÉ ANGELO BARELA  
Laboratório para Estudos do Movimento  
Depto. de Educação Física - UNESP/RC  
Av: 24-A, 1515 - Bela Vista - Rio Claro - SP  
CEP: 13505-900 – Fone: (19) 3526-4108

(cópia ficará em poder do participante)