

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM DISTÚRBIOS DA
COMUNICAÇÃO HUMANA**

Juliana Corrêa Soares

**ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DA OSCILAÇÃO POSTURAL
DURANTE A MANIPULAÇÃO DOS SISTEMAS
SOMATOSSENSORIAL, VESTIBULAR E VISUAL**

TESE DE DOUTORADO

Santa Maria, RS

2022

Juliana Corrêa Soares

**ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DA OSCILAÇÃO POSTURAL DURANTE A
MANIPULAÇÃO DOS SISTEMAS SOMATOSSENSORIAL, VESTIBULAR E
VISUAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Distúrbios da Comunicação Humana, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor em Distúrbios da Comunicação Humana**.

Orientador: Prof. Dr. Aron Ferreira da Silveira

Santa Maria, RS

2022

Juliana Corrêa Soares

**ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DA OSCILAÇÃO POSTURAL DURANTE A
MANIPULAÇÃO DOS SISTEMAS SOMATOSSENSORIAL, VESTIBULAR E
VISUAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Distúrbios da Comunicação Humana, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor em Distúrbios da Comunicação Humana**.

Aprovada em 25 de agosto de 2022

**Aron Ferreira da Silveira, Doutor (UFSM)
(Presidente/Orientador)**

Carine Cristina Callegaro, Doutora (UFSM)

Sara Terezinha Corazza, Doutora (UFSM)

Simone Lara, Doutora (UNIPAMPA)

Eliane Celina Guadagnin, Doutora (Biocinética/IBTS)

Santa Maria, RS
2022

Soares, Juliana Corrêa
ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DA OSCILAÇÃO POSTURAL DURANTE A
MANIPULAÇÃO DOS SISTEMAS SOMATOSSENSORIAL, VESTIBULAR E
VISUAL / Juliana Corrêa Soares.- 2022.
80 p.; 30 cm

Orientador: Aron Ferreira da Silveira
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências da Saúde, Programa de Pós
Graduação em Distúrbios da Comunicação Humana, RS, 2022

1. Controle Postural 2. Análise de Frequência 3.
Biomecânica 4. Sistemas sensoriais I. Ferreira da
Silveira, Aron II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, JULIANA CORRÊA SOARES, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Tese) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho ao meu afilhado **Matias Saccol Kisner**, que nasceu durante o processo de seleção do Doutorado, e que, mesmo sem saber ou entender, foi meu sol nos dias nublados e aqueceu meu coração de amor. A Dinda te ama.*

Obrigada por ser tudo, Gringuinho!

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Zuleze e Dirceu Soares, pela criação e educação, em primeiro lugar. Se hoje estou alcançando um dos objetivos de minha vida muito se deve ao amor incondicional, carinho e atenção que vocês têm por mim. Essa conquista é toda de vocês, pelo apoio e incentivo que sempre deram aos meus estudos e por acreditarem em mim. Vocês são a minha Vida!

À minha irmã Mariana, pelo companheirismo, pela amizade mais linda e pelo apoio nos dias mais complicados. Enfrentamos muitas coisas juntas nesses últimos anos, mas tenho certeza que ainda temos muitos motivos para sorrir. Orgulho Mana, sou eu que tenho de ti!

Ao meu orientador, Prof^a Aron Ferreira da Silveira, pela oportunidade de cursar o doutorado e acreditar no meu projeto e minhas idéias. Agradeço a oportunidade de convivência, os bons conselhos, palavras de incentivo e a atenção com que me tratou durante esses anos.

À minha banca, Prof. Dr^a Carine Callegaro, Prof. Dr^a Sara Corazza, Prof. Dr^a Simone Lara, Dr^a Eliane Guadagnin pela gentileza em aceitar fazer parte da arguição deste trabalho e pelas valiosas contribuições que fizeram enriquecê-lo.

Ao meu querido e eterno mestre, Prof. Carlos Bolli Mota, pelas oportunidades durante toda minha vida acadêmica, ensinamentos, fiel torcida e amizade construída ao longo desses 16 anos no Laboratório de Biomecânica. És um exemplo de professor e orientador a ser seguido.

À minha amiga de fé, Evelin Santos Vaz, por viver esse doutorado intensamente, me auxiliar nas coletas, na tabulação dos dados e na formatação do arquivo final. Mas mais do isso, ter sido um alicerce e uma amiga fiel nos momentos que tudo parecia não dar certo. Agradeço a linda amizade que construímos, as dificuldades que enfrentamos, os dias bem complicados, os momentos de diversão e, principalmente, a tua lealdade. Nos momentos difíceis que reconhecemos os amigos! Obrigada por tudo!

*À minha irmã de vida, **Michele Forgiarini Saccol**, por estar junto desde a idealização desse doutorado, pelo companheirismo, incentivo e por insistir muito para que eu fizesse novamente a seleção. Obrigada por tudo que já passamos, por dividirmos momentos difíceis, pela acolhida em um momento bem delicado dessa trajetória e por sempre acreditarmos em dias melhores. Agradeço sempre o teu cuidado e da tua família, vocês fizeram os meus dias mais leves.*

*A minha eterna orientadora, **Prof^a Maria Elaine Trevisan**, por ter acompanhado quase toda minha trajetória acadêmica e ter se tornado uma pessoa muito especial na minha Vida. Agradeço pelos ensinamentos, pelo cuidado maternal e por ser sempre presente.*

*Aos **amigos e colegas do Laboratório de Biomecânica**, que auxiliaram o meu crescimento acadêmico e ajudaram nas coletas desse trabalho. Em especial aos amigos da velha guarda Mateus Corrêa Silveira, Patrícia Paludette Dorneles e Eliane Guadagnim pela amizade verdadeira que construímos. E a nova geração, Évelin Vaz, Gabriela Souza e Carla Rossato pelo auxílio nas coletas, pelas discussões sempre proveitosas e momentos de descontração no nosso Labiomec.*

*Aos meus **amigos**, de longe e de perto, que acompanharam o esforço e a dedicação na execução deste trabalho, que aceitaram e respeitaram minha ausência e tornaram essa trajetória bem mais divertida.*

*Agradeço à **Coordenação do PPGDCH**, pelo empenho e dedicação frente ao programa de Pós-graduação e os professores do programa pelo profissionalismo e excelência.*

*Aos **indivíduos** que fizeram parte dessa pesquisa, pela compreensão, por estarem dispostas a ajudar e colaborarem para a realização deste estudo.*

*Enfim, agradeço a **Deus**, pelo zelo e por cuidar do meu caminho. Sem Ele nada seria possível.*

RESUMO

ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DA OSCILAÇÃO POSTURAL DURANTE A MANIPULAÇÃO DOS SISTEMAS SOMATOSSENSÓRIAL, VESTIBULAR E VISUAL

AUTORA: Juliana Corrêa Soares
ORIENTADOR: Aron Ferreira da Silveira

A manutenção do equilíbrio postural ocorre por meio da atuação do sistema de controle postural e qualquer comprometimento desse sistema pode dar origem ao desequilíbrio corporal. A análise da frequência tem sido bastante utilizada na avaliação do controle postural. O objetivo do estudo foi avaliar a oscilação postural durante a manipulação dos sistemas sensoriais em indivíduos saudáveis, comparando os sexos e a oscilação postural em relação ao tempo ao coleta. Trata-se de uma pesquisa experimental do tipo transversal. A amostra foi composta por 48 indivíduos, 23 do sexo masculino e 25 do sexo feminino, com média de idade de $32,21 \pm 10,48$ anos e IMC de $22,07 \pm 3,05$ kg/m², expostos a quatro Testes de Organização Sensorial (TOS): olhos abertos, olhos fechados, superfície estável e instável, em uma plataforma de força. Foram realizadas três tentativas de 60 segundos, intervalo de descanso entre elas de um minuto. Frequência de aquisição de 100 Hz e dados filtrados pelo filtro digital Butterworth de 2ª ordem, frequência ajustada de 20 Hz, e processados por meio de uma rotina Matlab. As variáveis utilizadas foram a amplitude de deslocamento e as medianas das frequências presentes nos sinais do centro de pressão (COP) nas direções anteroposterior e mediolateral. Para a comparação entre as quatro condições de teste foi utilizado a ANOVA de medidas repetidas e post hoc de Bonferroni. Para a comparação entre os sexos e a comparação entre os tempos (0 - 15s; 16 - 30s; 31 - 50s) durante as quatro condições de teste foi utilizada uma ANOVA de duas vias. Nível de significância de 5%. Todas as análises foram realizadas utilizando o SPSS versão 20.0. As variáveis de deslocamento e as frequências de oscilação do COP sofreram influência da manipulação dos sistemas sensoriais. A modificação da superfície estável para instável gerou aumento da frequência de oscilação para a manutenção do controle postural ($p < 0,01$). Entretanto não houve diferenças significativas ao suprir o sistema visual quando os indivíduos estavam na superfície fixa, mas essa supressão alterou a frequência de oscilação do COP quando os indivíduos estiveram em superfície instável (com almofada). Com relação a comparação entre os sexos, as respostas de controle postural foram similares, não indicando que o sexo exerce influência nessas variáveis. Em relação ao tempo de coleta, a medida que a coleta foi transcorrendo, dentro de cada condição de teste, os indivíduos apresentaram diminuição da frequência de oscilação e aumento da amplitude de deslocamento do COP. Indivíduos adultos, de ambos os sexos, mantém a dinâmica de controle postural mesmo em supressão visual. Durante a prática clínica ou nas fases da reabilitação deve-se pensar em situações mais desafiadoras para a manutenção do controle postural, visto que estes adultos não possuem dependência significativa da visão.

Palavras-chave: Equilíbrio Postural. Sistema sensorial. Análise de frequência.

ABSTRACT

POSTURAL SWAY FREQUENCY ANALYSIS DURING THE MANIPULATION OF SOMATOSENSORIAL, VESTIBULAR AND VISUAL SYSTEMS

AUTHOR: Juliana Corrêa Soares
ADVISOR: Aron Ferreira da Silveira

The maintenance of postural balance occurs through the performance of the postural control system and any impairment of this system can give rise to body imbalance. Frequency analysis has been widely used in the assessment of postural control. The aim of the study was to evaluate postural sway during manipulation of sensory systems in healthy individuals, comparing the sexes and postural sway in relation to the time of collection. This is an experimental cross-sectional study. The sample consisted of 48 individuals, 23 males and 25 females, with a mean age of 32.21 ± 10.48 years and a BMI of 22.07 ± 3.05 kg/m², exposed to four tests of Sensory Organization (TOS): eyes open, eyes closed, stable and unstable surface, on a force platform. Three trials of 60 seconds were performed, with a one-minute rest interval between them. Acquisition frequency of 100 Hz and data filtered by a 2nd order Butterworth digital filter, adjusted frequency of 20 Hz, and processed through a Matlab routine. The variables used were the displacement amplitude and the medians of the frequencies present in the center of pressure (COP) signals in the anteroposterior and mediolateral directions. For the comparison between the four test conditions, ANOVA of repeated measures and Bonferroni's post hoc was used. For the comparison between the sexes and the comparison between the times (0 - 15s; 16 - 30s; 31 - 50s) during the four test conditions a two-way ANOVA was used. 5% significance level. All analyzes were performed using SPSS version 20.0. The displacement variables and the COP oscillation frequencies were influenced by the manipulation of the sensory systems. The change from stable to unstable surface generated an increase in the frequency of oscillation to maintain postural control ($p < 0.01$). However, there were no significant differences in supplying the visual system when subjects were on a fixed surface, but this suppression altered the frequency of COP oscillation when subjects were on an unstable surface (with cushion). Regarding the comparison between the sexes, the postural control responses were similar, not indicating that sex exerts an influence on these variables. Regarding the collection time, as the collection took place, within each test condition, the individuals showed a decrease in the frequency of oscillation and an increase in the amplitude of displacement of the COP. Adult individuals of both sexes maintain the dynamics of postural control even in visual suppression. During clinical practice or in the rehabilitation phases, more challenging situations should be considered for the maintenance of postural control, since these adults do not have a significant dependence on vision. of oscillation and an increase in the amplitude of displacement of the COP.

Keywords: Postural Balance. Sense Organs. Frequency analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Teste de Organização Sensorial em suas quatro condições....	27
Figura 2 –	Almofada AIREX® Balance Pad.....	28
Figura 3 –	Plataforma de força AMTI.....	29

LISTA DE TABELAS

Artigo 1		
Tabela 1 -	Análise da mediana da frequência durante a manipulação dos sistemas somatossensorial, vestibular e visual.....	43
Tabela 2 -	Análise da mediana da frequência durante a manipulação dos sistemas somatossensorial, vestibular e visual (sexo).....	44
Artigo 2		
Tabela 1 -	Mediana da frequência de oscilação nos diferentes instantes durante a manipulação dos sistemas somatossensorial, vestibular e visual.....	56
Tabela 2 -	Amplitude de deslocamento do COP nos diferentes instantes durante a manipulação dos sistemas somatossensorial, vestibular e visual.....	57

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVO GERAL	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 CONTROLE POSTURAL	16
2.1.1 Sistema Vestibular	18
2.1.2 Sistema somatossensorial.....	20
2.1.3 Sistema Visual.....	20
2.2 POSTUROGRAFIA	21
2.2.1 Plataforma de força	22
2.2.2 Posturografia Dinâmica	23
2.3 ANÁLISE DE FREQUÊNCIA.....	24
3 METODOLOGIA	28
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	28
3.2 AMOSTRA.....	28
3.3 CÁLCULO DO TAMANHO DA AMOSTRA.....	29
3.4 SELEÇÃO DA AMOSTRA.....	29
3.5 ASPECTOS ÉTICOS.....	29
3.6 INSTRUMENTOS E PROCEDIMENTOS PARA COLETA DE DADOS	30
3.6.1 Anamnese e entrevista.....	30
3.6.2 Controle Postural.....	31
3.6.3 Procedimento para coleta dos dados	34
3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA	34
4 RESULTADOS	36
4.1 Artigo 1	37
Análise de frequência da oscilação postural em indivíduos saudáveis durante a manipulação dos sistemas somatossensorial, vestibular e visual*	37
4.2 Artigo 2	51
Análise da manipulação dos sistemas sensoriais do controle postural em adultos saudáveis ao longo de três momentos distintos	51
5 DISCUSSÃO GERAL	62
6 CONCLUSÃO	65

REFERÊNCIAS.....	66
ANEXO A - QUESTIONÁRIO INTERNACIONAL DE ATIVIDADE FÍSICA (IPAQ).....	70
ANEXO B - PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP	72
APÊNDICE A - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO ..	76
APÊNDICE B - TERMO DE CONFIDENCIALIDADE	78
APÊNDICE C - FICHA DE ENTREVISTA INICIAL.....	79

1 INTRODUÇÃO

A manutenção do equilíbrio na postura ereta ocorre por meio da atuação do controle postural que obtém informações sensoriais do sistema visual, vestibular e somatossensorial (IONESCU et al., 2006; DUARTE e FREITAS, 2010). Uma das tarefas mais importantes do sistema de controle postural é a manutenção do equilíbrio sob a base de apoio fornecida pelos pés. Essa manutenção inclui a detecção sensorial dos movimentos corporais, a integração das informações sensório-motoras no Sistema Nervoso Central e a execução das respostas musculoesqueléticas apropriadas. Qualquer comprometimento desse complexo sistema de integração pode dar origem ao desequilíbrio corporal (IONESCU et al., 2006; DUARTE e FREITAS, 2010; MOCHIZUKI e AMADIO, 2010).

A maneira mais utilizada para estudar o controle postural é a avaliação do comportamento do corpo durante a manutenção da postura ereta quieta, principalmente a oscilação do centro de pressão (COP). A técnica utilizada para medir a oscilação do corpo ou de uma variável associada é a posturografia, comumente dividida em posturografia estática, quando a postura ereta quieta do sujeito é estudada e posturografia dinâmica, quando a resposta a uma perturbação aplicada sobre o sujeito é objeto de estudo (DUARTE e FREITAS, 2010).

Variáveis como amplitude de deslocamento, velocidade e área da elipse são comumente utilizadas na determinação do COP (DUARTE e FREITAS, 2010). No entanto, pela presença de inúmeros parâmetros disponíveis para quantificar o controle postural, frequentemente surge a questão de qual medida utilizar para descrever o COP. A seleção de um parâmetro é um tema controverso na literatura, pois existem opiniões conflitantes sobre quais medidas são mais sensíveis às mudanças que ocorrem no corpo na manutenção do controle postural durante a manipulação dos sistemas sensoriais (PALMIERI et al., 2000, SINGH et al., 2013, MICHALAK, 2019)

Dessa forma, condições experimentais com manipulação das aferências sensoriais com olhos abertos e fechados, base de suporte rígida/maleável, adição/remoção de informações, entre outras, têm sido utilizadas para investigar como o sistema de controle postural organiza as diferentes fontes de

informações sensoriais, com resultados demonstrando que diferentes respostas ou ajustes posturais podem ser atribuídos aos diferentes sistemas sensoriais (SINGH et al., 2013; KANEKAR, LEE, ARUIN, 2014; HWANG et al., 2014; PEREZ, GREEN, MOCHIZUKI, 2020; MICHALAK, 2019). Adicionalmente, têm sido demonstrado que esses resultados variam dependendo de alguns fatores, pois diferentes respostas ou ajustes posturais podem ser atribuídos aos diferentes sistemas sensoriais, dependendo do tipo de tarefa proposta, da idade do indivíduo, do nível de treinamento ou de condições patológicas (HWANG et al., 2014).

Um componente necessário para entender o sistema de controle postural é a contribuição relativa que cada um dos 3 sistemas sensoriais e suas interações proporcionam para manter o equilíbrio. A análise de frequência da oscilação postural tem sido mais recentemente utilizada na avaliação do controle postural (SINGH et al., 2013; KANEKAR, LEE, ARUIN, 2014; PEREZ, GREEN, MOCHIZUKI, 2020, MICHALAK, 2019), permitindo assim identificar uma faixa de frequência na qual cada sistema funciona, estimando qual sistema ou sistemas são os mais importantes para diferentes tarefas. Além disso, identificar o sistema sensorial preferencial em um determinado ponto no tempo e se a dependência do mesmo muda com diferentes tarefas, parece relevante especialmente na prática clínica de reabilitação.

Os múltiplos sistemas de controle postural envolvidos na regulação do equilíbrio têm diferentes tempo de entrada (atrasos) em suas vias de controle, permitindo que suas contribuições aferentes relativas possam ser estudadas pela identificação das respostas do espectro de frequência características do COP (DANIELS et al., 2019). A análise de frequência do COP pode oferecer informações mais precisas sobre as causas das alterações do equilíbrio, podendo diferenciar os três sistemas sensoriais responsáveis pela manutenção do controle postural, diferente de uma análise do deslocamento ou velocidade do COP comumente apresentada nos estudos (DANIELS et al., 2019; PALMIERI et al., 2000, PEREZ, GREEN, MOCHIZUKI, 2020).

Para a análise de frequência da oscilação corporal, os deslocamentos do COP geralmente são divididos em três faixas de frequências: baixa, média e alta. As baixas frequências (0 até $<0,3$ Hz) estão associadas à regulação visual, as médias frequências (0,3 até <1 Hz) com regulação vestibular e

somatossensorial e altas frequências (1 até 3 Hz) com regulação somatossensorial (PALMIERI et al., 2000; BIZID et al., 2009; KANEKAR, LEE, ARUIN, 2014).

Desta forma, questiona-se se ao manipular os sistemas somatossensorial, vestibular e visual é possível visualizar onde ocorrem as maiores e menores oscilações dentro das frequências estipuladas, identificando o sistema sensorial preferencial em um determinado ponto no tempo e se a dependência do mesmo muda com a tarefa.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a oscilação postural por meio da análise de frequência durante a manipulação dos sistemas somatossensorial, vestibular e visual em indivíduos saudáveis

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Comparar a oscilação postural por meio da análise da frequência e da amplitude de deslocamento em relação ao tempo.
2. Comparar a oscilação postural por meio da análise de frequência estratificando o sexo.
3. Avaliar o espectro de frequência em relação ao tempo total e estratificado (0 -15s; 16 - 30s; 31 -50s) durante a manipulação dos sistemas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo serão apresentados estudos que embasaram o objetivo proposto. Os estudos não estão dispostos em ordem cronológica, pois optou-se pela organização das ideias para facilitar a leitura dos temas que serão abordados na presente pesquisa. Dessa maneira, subdividiu-se este capítulo nos seguintes assuntos: controle postural e sistemas sensoriais, posturografia e análise de frequência.

2.1 CONTROLE POSTURAL

O equilíbrio na postura ereta ocorre por meio da atuação do controle postural que obtém informações sensoriais do sistema visual, vestibular e somatossensorial (HERDMAN, 2002; IONESCU et al., 2006). A manutenção deste equilíbrio inclui a detecção sensorial dos movimentos corporais, a integração das informações sensório-motoras no Sistema Nervoso Central (SNC) e a execução das respostas musculoesqueléticas apropriadas. Qualquer comprometimento desse complexo sistema de integração pode dar origem a alterações na manutenção do controle postural (HERDMAN, 2002; MOCHIZUKI; AMADIO, 2003; IONESCU et al., 2006).

Apesar de ser uma tarefa aparentemente trivial, a manutenção da postura ereta quieta é inerentemente instável. Forças gravitacionais transmitidas sobre o modelo de pêndulo invertido instável juntamente com alterações externas (perturbações, manipulações dos sistemas sensoriais ou qualidade da entrada visual) ou internas (fadiga muscular, processo de envelhecimento ou assimetrias) servem como desafios para o sistema de controle postural (MOCHIZUKI; AMADIO, 2003, DUARTE; FREITAS, 2010). O sistema de controle postural atua principalmente como um sistema de controle de realimentação, adquirindo e integrando diversas entradas aferentes e gerando comandos motores adaptativos e corretivos (SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 2010).

As modalidades sensoriais envolvidas na manutenção do equilíbrio incorporam a entrada das informações sensoriais, visuais e vestibulares, a fim de avaliar o posicionamento do corpo, bem como as perturbações externas e o

feedback para as estratégias eferentes prévias (GOSSELIN; RASSOULIAN; BROWN, 2004). Dessa forma, o controle motor coordena os músculos do tronco e membros inferiores, combinando com estratégias posturais para diminuir a oscilação corporal e manter o centro de massa dentro da base de suporte.

Apesar da separação anatômica dos sistemas sensoriais envolvidos com o controle postural, o sistema nervoso tem a habilidade de mudar discretamente a fonte principal de informação sensorial (SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 2010). Isso ocorre quando há supressão da informação visual ou utilização de superfícies móveis ou macias degradando significativamente as informações sensoriais e, mesmo nessas condições, os indivíduos conseguem a manutenção da postura.

A transição de uma fonte sensorial é ajustada por uma simples informação sensorial, que pode ser escolhida em uma lista limitada de opções, ao invés da combinação de dicas sensoriais ou aspectos gerais do ambiente (MCCOLLUM; SHUPERT; NASHNER, 1996). O controle postural não usaria todas as informações sensoriais disponíveis, mas priorizaria uma delas. A transição de fontes sensoriais, por exemplo, pode corresponder a uma troca da dominância da informação visual para a somatossensorial.

A dominância de um sistema sensorial sobre o outro é a forma que o SNC tem para evitar conflitos de informações sensoriais, sendo dinâmica e dependente, essencialmente, da tarefa, da disponibilidade de informação sensorial e da meta do controle postural. Em um ambiente iluminado, com base de apoio estável, indivíduos saudáveis apresentam uma distribuição de importância de 70% para o sistema somatossensorial, 20% para o sistema vestibular e 10% para o sistema visual (PETERKA, 2002). No entanto, não está bem evidenciado como essas contribuições dos sistemas sensoriais podem variar com a supressão da informação visual associada à instabilidade na base de apoio.

A seguir serão descritos os três sistemas sensoriais envolvidos no equilíbrio postural.

2.1.1 Sistema Vestibular

O sistema vestibular é um importante órgão sensorial da regulação do equilíbrio e do controle da postura, pois supre o SNC com informações a respeito da posição da cabeça e do movimento angular e linear desta com relação à gravidade. O sistema vestibular está localizado na orelha interna, e é composto por espaços denominados vestíbulo (sáculo e utrículo) e canais semicirculares. Nos seres humanos é formado por três componentes fundamentais: um sistema sensorial periférico, um processador central e um mecanismo de resposta motora. O componente periférico consiste em receptores sensoriais e no oitavo nervo craniano e o componente central nos quatro núcleos vestibulares e nos tratos ascendentes e descendentes. (HERDMAN, 2002; SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 2010)

O sistema periférico é constituído de um conjunto de sensores do movimento (células sensoriais), os quais enviam informações ao SNC, especificamente, ao complexo nuclear vestibular e ao cerebelo, sobre a velocidade angular da cabeça, a aceleração linear e a orientação cefálica em relação ao eixo gravitacional (HERDMAN, 2002; SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 2010). Os receptores sensoriais dividem-se em dois tipos, os órgãos do otólito, sáculo e utrículo, e os canais semicirculares do labirinto, que são cavidades do osso temporal associadas a cóclea. (HERDMAN, 2002; SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 2010)

O sáculo e o utrículo sinalizam a posição e a aceleração linear e são fontes importantes de informação sobre a posição cefálica em relação à gravidade. Na parede destas estruturas há uma região denominada mácula que está repleta de células ciliares. As células ciliares estão cobertas por uma membrana gelatinosa, o órgão otólito, que contem muitos cristais de carbonato de cálcio denominados otocônias ou otólitos. (HERDMAN, 2002; SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 2010)

Os canais semicirculares percebem a aceleração angular da cabeça e são particularmente sensíveis aos movimentos cefálicos rápidos. Localizam-se em cada lado da cabeça e formam ângulos retos um em relação ao outro e são denominados canais anterior, posterior e horizontal. (HERDMAN, 2002; SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 2010)

Os quatro núcleos vestibulares, denominados núcleo vestibular lateral, medial, superior e inferior, são importantes estruturas centrais que atuam na regulação do equilíbrio (HERDMAN, 2002; SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 2010). Localizados na porção mais alta do bulbo, integram as informações aferentes do labirinto, do cerebelo e da medula espinhal e enviam suas eferências motoras pelos tratos vestibulo-ocular, vestibulo espinhal lateral e medial e vestibulos reticulares. As fibras que convergem por estes tratos são responsáveis pelos eventuais reflexos de ativação, facilitação ou inibição dos neurônios motores, diferenciando o automovimento do movimento do ambiente, evocando reflexos posturais e oculomotores e controlando a função dos músculos intrínsecos dos olhos e da musculatura dos membros (HERDMAN, 2002; MOCHIZUKI; AMADIO, 2006; SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 2010).

Os sensores de movimento do sistema vestibular periférico enviam informações ao SNC. Este processa os sinais e combina-os com outras informações sensoriais para estimar a orientação cefálica. O sistema vestibular central produz uma resposta à movimentação cefálica, que é transmitida aos músculos extraoculares e a medula espinhal para preparar os reflexos vestibulo-ocular (RVO) e vestibulo-espinhal (RVE). O RVO gera os movimentos dos olhos, que mantêm a visão estável durante o movimento cefálico. O RVE, por outro lado, gera um movimento corpóreo de compensação com o objetivo de manter a estabilidade cefálica e postural, além disso, consiste em uma montagem de vários reflexos. O desempenho do RVO e do RVE é monitorizado pelo SNC e quando necessário, é reajustado. (HERDMAN, 2002)

As informações oriundas do sistema vestibular são importantes para a coordenação de respostas motoras, auxiliam na estabilização dos movimentos dos olhos e mantêm a estabilidade corporal durante a postura ereta e marcha (SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 2010). Qualquer déficit presente na organização deste sistema resulta em sensações de tontura e instabilidade, assim como, problemas na focalização do olhar e na manutenção do equilíbrio postural.

2.1.2 Sistema somatossensorial

O sistema somatossensorial informa o SNC a respeito da posição e do movimento das diversas partes do corpo umas com relação às outras e com relação à superfície de suporte (SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 2010). Difere de outros sistemas sensoriais porque seus receptores estão localizados por todo o corpo e não estão concentrados em locais especializados e porque respondem a diferentes tipos de estímulos agrupados em quatro categorias: toque, temperatura, posição do corpo e dor. O estímulo somatossensorial pode ativar vários receptores e cabe ao SNC interpretar a atividade dos receptores e utilizá-los em percepções coerentes com a realidade ou com a tarefa solicitada (MOCHIZUKI; AMADIO, 2006).

Este sistema engloba toda informação sensorial vinda dos receptores somatossensitivos que incluem os fusos musculares e os órgãos tendinosos de Golgi, receptores articulares e mecanorreceptores cutâneos (MOCHIZUKI; AMADIO, 2006).

2.1.3 Sistema Visual

O sistema visual é o responsável pelo processo de dar significado para as imagens no SNC. O mecanismo de percepção visual inicia-se na retina, onde a luz entra na córnea e é projetada na parte posterior do olho, atingindo a retina. A luz é transformada em um sinal elétrico e conduzida pelo sistema nervoso. O sistema visual permite que o indivíduo identifique objetos no espaço e fornece informações sobre o ambiente, a localização, a direção e a velocidade de movimento do indivíduo (MOCHIZUKI; AMADIO, 2006; CHANDER et al., 2019). As informações visuais a respeito de movimento linear ou rotação do corpo, captadas pela retina, também são utilizadas na manutenção do equilíbrio, podendo inclusive compensar parcialmente a ausência de informação proprioceptiva, porém os movimentos tornam-se mais lentos (HERDMAN, 2002).

O sistema visual contribui para manter a oscilação natural do corpo distante dos limites da base de apoio, informando como fixar a posição da cabeça e do tronco quando o centro de massa é perturbado pela translação da

base de suporte. Para um lento deslocamento desta base, alguns autores sugerem que o sistema nervoso central tolera oscilações visuais e escolhe informações vestibulares e proprioceptivas para o controle postural (BUCHANAN E HORAK, 1999; BUCHANAN E HORAK, 2003, MOCHIZUKI; AMADIO, 2006).

2.2 POSTUROGRAFIA

A posturografia, também chamada de estabilometria, estabilografia ou estatocinesiografia, é capaz de mensurar a excursão ântero-posterior (AP) e médio-lateral (ML) do corpo, por meio de sensores que transformam as oscilações mecânicas das forças de atrito dos pés com a plataforma em sinais elétricos que são amplificados, gravados e analisados. Portanto, os sistemas de plataforma de força podem quantificar objetivamente a velocidade de oscilação corporal e a área de deslocamento do corpo pela medida do centro de pressão (COP) relacionada com a base de sustentação e ativação muscular (MACEDO et al, 2013).

A posturografia é comumente dividida em posturografia estática, quando a postura ereta quieta do sujeito é estudada e posturografia dinâmica, quando a resposta a uma perturbação aplicada sobre o sujeito é estudada. A medida mais comumente utilizada na avaliação do controle postural é o centro de pressão (COP) (PALMIERI, 2002; DUARTE e FREITAS, 2010). O COP é o ponto de aplicação da resultante das forças verticais agindo sobre a superfície de suporte, sendo a plataforma de força o equipamento mais utilizado para sua mensuração.

A Posturografia Dinâmica é um método avaliativo que mede as oscilações corporais do sujeito e suas relações com os sistemas proprioceptivo, visual e vestibular, através de Testes de Organização Sensorial (TOS), dividido em etapas ocorrendo perturbações de informações sensoriais para posterior análise e comparação entre as etapas

2.2.1 Plataforma de força

Desde a década de 70, as plataformas de força têm sido utilizadas para adquirir medidas quantitativas e análises da manutenção do controle postural. A plataforma de força é um aparato técnico que fornece uma avaliação direta das mudanças na oscilação postural, registrando as forças de reação ao solo projetadas do corpo (DUARTE; FREITAS, 2010).

A plataforma de força é um instrumento utilizado para mensurar a força de reação do solo (FRS) e suas componentes. A FRS é um vetor e para realizar sua análise é necessária ser decomposta nos componentes: F_z (componente vertical), F_x (componente ântero-posterior) e F_y (componente médio-lateral) (DUARTE; FREITAS, 2010).

Algumas plataformas permitem a mensuração dos deslocamentos do centro de força ou de pressão, denominados na literatura como COP. O COP é o ponto de aplicação da resultante das forças verticais que agem sobre a superfície de suporte (plataforma de força) e refere-se à medida de posição definida por duas coordenadas. As direções avaliadas são a ântero-posterior e a médio-lateral e a partir desses dados pode-se obter informações sobre o equilíbrio postural do indivíduo (DUARTE; FREITAS, 2010; BARELA; DUARTE, 2011).

O COP e o centro de massa (COM) são variáveis relacionadas ao equilíbrio postural e têm sido utilizadas para o estudo do controle postural. Enquanto a oscilação do COM é a grandeza que realmente indica o balanço de um corpo, o COP é utilizado como uma medida de deslocamento. É influenciado pela posição do COM e usualmente associado aos estudos de controle postural (HAMILL; KNUTZEN, 2008; DUARTE; FREITAS, 2010; BARELA; DUARTE, 2011).

Dentre as variáveis mensuradas pela plataforma de força, o COP é calculado a partir da força de reação do solo, refletindo a trajetória do centro de massa e a quantidade de força aplicada na superfície de apoio para controlar a aceleração da massa corporal.

Vários parâmetros, incluindo amplitude média de oscilação, oscilação máxima amplitude, amplitude de oscilação mínima, amplitude pico a pico, trajetória da oscilação, velocidade de oscilação, amplitude quadrática média

(RMS) e velocidade da RMS foram derivados de dados de COP para quantificar alterações no equilíbrio (PALMIERI, 2002).

Análises de frequência espectral e temporal são técnicas que quantificam o controle postural em termos de frequência e também têm sido usadas para avaliar mudanças no controle postural.

2.2.2 Posturografia Dinâmica

Os princípios da posturografia dinâmica, descritos por Nasher em 1970, foram baseados no uso de uma plataforma móvel que se tornou comercialmente disponível em 1986, denominada Equitest (CASTAGNO, 1994). Devido ao alto custo das plataformas computadorizadas como o Equitest, Castagno em 1994 desenvolveu um novo método para a realização do teste de organização sensorial, denominado Posturografia Dinâmica Foam laser.

Dentre as possibilidades de avaliações, a posturografia testa a organização sensorial que analisa a contribuição relativa dos receptores somatossensoriais, visuais e vestibulares na estabilidade global do indivíduo. Os resultados indicam qual dos sistemas utilizados para a manutenção do equilíbrio postural é responsável pela instabilidade, assim como a capacidade dos sistemas em manter o equilíbrio diante de informações sensoriais equivocadas.

A posturografia dinâmica expõe o indivíduo a seis testes distintos denominados Teste de Organização Sensorial (TOS). Nestes, as aferências sensoriais vão sendo anuladas para permitir a análise e comparação dos testes entre em si.

TOS I – sujeito com os olhos abertos fixos na horizontal, superfície de apoio dos pés fixa e estável (sem almofada) e cabine imóvel. Neste teste são avaliados os sistemas visual, somatossensorial e vestibular.

TOS II - o indivíduo mantém os olhos fechados, superfície de apoio dos pés fixa e estável (sem almofada) e cabine imóvel. Esta etapa avalia os sistemas proprioceptivo e vestibular.

TOS III - o indivíduo mantém olhos abertos fixos na horizontal, superfície de apoio dos pés fixa e estável (sem almofada) e a cabine inclina-se lentamente 20° para frente durante 10 segundos e retorna a posição inicial no

mesmo intervalo de tempo. Este teste avalia os sistemas proprioceptivo, vestibular e, sobretudo o visual.

TOS IV - o sujeito continua com os olhos abertos fixos na horizontal, superfície de apoio dos pés instável (com almofada de 10 cm, densidade média, entre os pés do indivíduo e o solo) e cabine imóvel. Este teste avalia, principalmente, o sistema proprioceptivo.

TOS V - o sujeito com os olhos fechados, superfície de apoio dos pés instável (com almofada de 10 cm, densidade média, entre os pés do indivíduo e o solo) e cabine imóvel. Este teste avalia os sistemas proprioceptivo e vestibular, em condições de sobrecarga, devido à eliminação da aferência visual e a instabilidade da plataforma de apoio dos pés.

TOS VI – o indivíduo com olhos abertos fixos na horizontal, superfície de apoio dos pés instável (com almofada de 10 cm, densidade média, entre os pés do indivíduo e o solo) e a cabine inclina-se lentamente 20° para frente durante 10 segundos e retorna a posição inicial no mesmo intervalo de tempo. Este teste avalia os sistemas proprioceptivo, visual e vestibular.

Importante ressaltar que através das razões das condições dos TOS, podemos analisar a contribuição de cada sistema sensorial: sistema somatossensorial: razão do TOS II/ TOS I; sistema visual: razão do TOS IV/ TOS I; sistema vestibular: razão do TOS V/ TOS I (CASTAGNO, 1994).

2.3 ANÁLISE DE FREQUÊNCIA

A análise de frequência permite decompor um sinal qualquer como uma somatória de funções seno e cosseno com diferentes amplitudes, frequências e fases. Dessa forma, é possível obter informações sobre as frequências que compõem um sinal. Esse processo também é chamado de análise espectral, e o resultado dela é referido como o espectro do sinal original. Em termos práticos, a análise espectral é extremamente dependente do algoritmo e de seus parâmetros de entrada, o que pode dificultar, muitas vezes, a comparação dos resultados. (DUARTE, FREITAS, 2010)

A análise de domínio de frequência tem comumente focado em medidas do conteúdo de frequência, como frequência média ou frequência abaixo da qual 80% da potência espectral está contida. Quando as comparações em toda

a faixa de frequência são realizadas, o conteúdo do sinal é normalmente dividido em três bandas de frequência correspondentes aos sistemas somatossensorial, visual e vestibular (DANIELS et al., 2019).

A análise das séries temporais do COP no domínio da frequência, em vez do domínio do tempo, permite que a estrutura da trajetória do COP seja quantificada e relacionada às contribuições desses diferentes sistemas, fornecendo uma base para o insight sobre o comprometimento subjacente (PALMIERI et al., 2000).

O espectro de frequência pode ser calculado a partir da análise das séries temporais do COP, como a Transformada Rápida de Fourier (FFT) e o Método da Máxima Entropia, e apresentam uma estreita relação com os sistemas sensoriais, visual, vestibular e somatossensorial, responsáveis pelas funções do controle postural. O espectro de frequência é um parâmetro eficaz para avaliar indivíduos saudáveis, pois sua periodicidade de oscilação pode ser observada, e indivíduos com distúrbios funcionais de ajustes posturais, pois estes apresentam oscilações lentas e rápidas para manutenção do controle postural (DEMURA; KITABAYASHI; NODA, 2008).

Os estudos utilizando a análise de frequência do COP apresentam uma variedade de escolhas na delimitação das faixas de frequência correspondentes aos sistemas somatossensorial, visual e vestibular, não apresentando uma unanimidade entre os autores. Kanekar, Lee, Aruin (2014) utilizam os intervalos dividido em três, considerando a banda de baixa frequência entre 0 até <0,3 Hz, a banda de média frequência entre 0,3 até <1 Hz e a banda de alta frequência 1 até 3 Hz.

Da mesma forma, Kapteyn et al. (1983) e Suzuki et al. (2017) em seus estudos também dividem o espectro de frequência em três intervalos mas utilizam faixas de frequências diferentes sendo de 0 até <0,02 Hz baixa frequência, 0,02 até <2 Hz média frequência e 2 até 5 Hz alta frequência. Paillard e Noé (2015) consideram as frequências baixas entre 0-0,02/0,5 Hz, frequências médias entre 0,2/0,5-2 Hz e frequências altas maiores que 2 Hz.

Pode-se observar que os limites dessas bandas diferem entre os autores, mas que em relação aos sistemas envolvidos e as faixas de frequências os mesmos autores apresentam concordância, onde as baixas frequências estão associadas à regulação visual e vestibular, as médias

frequências com regulação vestibular e somatossensorial e altas frequências com regulação somatossensorial (KAPTEYN et al., 1983; PALMIERI et al., 2000; BIZID et al., 2009; KANEKAR, LEE, ARUIN, 2014; PAILLARD, NOÉ, 2015; SUZUKI et al. (2017).

Kanekar et al. (2014) avaliaram indivíduos com esclerose múltipla por meio da análise de frequência de deslocamento de COP e encontraram capacidade prejudicada do sistema somatossensorial na regulação do controle postural. Os autores consideraram a análise de frequência uma ferramenta importante para identificar as possíveis fontes de comprometimento do equilíbrio e destacaram que essa avaliação permite uma investigação dos mecanismos de ajustes do controle postural e a verificação da eficácia dos programas de reabilitação do equilíbrio nesta população.

Singh et al. (2012) avaliaram um grupo de adolescentes e idosos de ambos os sexos por meio da análise de frequência de deslocamento de COP em relação ao tempo durante a postura ereta quieta. Eles encontraram diferença entre os grupos e entre sexos no grupo de idosos, sugerindo que as oscilações no conteúdo espectral da frequência de oscilação médio-lateral e ântero-posterior podem ser mais sensíveis às mudanças no sistema somatossensorial e visual, respectivamente. Da mesma forma, os autores sugerem que as informações sobre a distribuição da variabilidade em diferentes frequências não só ajudariam a distinguir os efeitos de várias modalidades sensoriais na oscilação, mas também na concepção de programas de reabilitação específicos do paciente visando melhorar o controle postural.

Koltermann, Beck e Beck (2020) utilizaram diferentes modelos de pêndulo invertido para investigar a cinemática e a influência das variáveis de perturbação na manutenção do controle postural em indivíduos com ou sem dor lombar crônica inespecífica. Para uma melhor compreensão de como diferentes perturbações corporais durante a postura ereta podem afetar o espectro de frequências, os pesquisadores utilizaram quatro áreas no espectro de frequências já descritas na literatura e observaram que o pico dominante na faixa de 0,2 Hz foi atribuído aos movimentos na parte superior do corpo causados pela respiração. Além disso, os movimentos pendulares do quadril foram mapeados em um espectro entre 0,5–0,8 Hz e a atividade cardiovascular

em 1,5 Hz. Os movimentos da articulação do joelho tornaram-se visíveis no espectro entre 4–7 Hz. Além disso, os pesquisadores observaram que as pessoas com dor lombar inespecífica apresentaram áreas menores no espectro de densidade sugerindo perda de mobilidade pela presença de dor. Os autores sugerem que a análise de frequência pode fornecer informações importantes sobre a causa biomecânica das queixas de dor.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, apresenta-se a caracterização da pesquisa, os procedimentos para seleção da amostra, os instrumentos para coleta de dados, bem como o tratamento estatístico.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Trata-se de uma pesquisa observacional do tipo transversal, descritivo e quantitativo com análise comparativa dos dados (THOMAS; NELSON; SILVERMAN, 2012).

3.2 AMOSTRA

A amostra do presente estudo foi composta por indivíduos de ambos os sexos, com idade entre 18 e 59 anos. Foram incluídos na pesquisa os sujeitos que não apresentavam um passado de alterações otológicas, não tinham histórico de quedas nos últimos 6 meses, não faziam uso de medicação ototóxica nos últimos 3 meses, não tinham realizado atividade física nas 24 horas que antecederam as coletas, IMC entre 18,5 e 29,9 kg/m², não eram sedentários e não apresentavam queixa musculoesquelética no momento da coleta. Foram utilizados como critérios de exclusão: diagnóstico prévio de hérnia de disco e/ou traumas e procedimentos cirúrgicos na coluna vertebral, comprometimentos neurológicos previamente diagnosticados e déficit vestibular. Foram excluídos da pesquisa os indivíduos que não concluíram uma das etapas do estudo e que foram classificados como sedentários pelo Questionário Internacional de Atividade Física (IPAQ) (MATSUDO, 2001) (ANEXO A).

O Questionário Internacional de Atividade Física (IPAQ) foi proposto pela Organização Mundial de Saúde (1998) e visa determinar o nível de atividade física dos indivíduos. O questionário na versão curta contém questões referente ao tempo da prática de atividade física, quantas vezes na semana ou no dia as atividades são realizadas e o tempo de duração dessas atividades, sendo classificadas em caminhada, moderadas ou vigorosas. As questões a serem

respondidas tem como base o tempo de pelo menos 10 minutos contínuos para a prática das atividades. Os indivíduos são classificados em muito ativos, ativos, irregularmente ativos e sedentários (MATSUDO, 2001).

3.3 CÁLCULO DO TAMANHO DA AMOSTRA

Para calcular o tamanho da amostra utilizou-se o programa G*Power versão 3.1.9.2, no qual foram adotados um $\alpha = 0,05$, um poder de 90%. Das variáveis a serem investigados no presente estudo, os resultados encontrados no estudo de Soares et al. (2013), referentes à amplitude de deslocamento do COP na direção anteroposterior durante o Teste de organização sensorial (TOS 1) foram utilizados para o embasamento do cálculo amostral. Dessa forma, o tamanho do efeito foi de 0,58, de forma que será adotado um "n" mínimo de 58 indivíduos.

Foram coletados 57 indivíduos, sendo que três foram excluídos por apresentarem queixas de tontura na anamnese e seis sujeitos foram excluídos por problemas na extração dos dados da plataforma de força, totalizando 48 indivíduos.

3.4 SELEÇÃO DA AMOSTRA

A amostra foi selecionada de forma não aleatória, a partir da voluntariedade dos sujeitos. O estudo foi divulgado na mídia eletrônica por meio do site da UFSM, bem como na mídia impressa em jornais da cidade, cartazes e comunicação oral junto aos serviços de saúde públicos e privados da cidade de Santa Maria - RS.

Após o contato com os voluntários via telefone, foi realizada uma sessão inicial para explicar o trabalho, verificar os critérios de inclusão e a concordância na participação do estudo.

3.5 ASPECTOS ÉTICOS

O protocolo do estudo foi encaminhado para avaliação e aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da UFSM (CAAE: 50782121.8.0000.5346)

(ANEXO B). Os sujeitos foram esclarecidos em relação aos objetivos, benefícios e riscos do estudo e informados de todos os procedimentos metodológicos através do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (APÊNDICE A), e somente foram incluídos na pesquisa após assinatura do mesmo, conforme exigências do Ministério da Saúde, de acordo com a resolução 466/12.

A leitura e a assinatura do TCLE foram realizadas individualmente e qualquer dúvida foi esclarecida. O sigilo da identidade dos participantes foi garantido conforme o Termo de Confidencialidade (APÊNDICE B).

Os resultados das análises ficarão sob a responsabilidade dos pesquisadores, por 5 anos, sendo garantida a privacidade e o livre acesso aos participantes em qualquer momento do estudo. Após este período os dados serão destruídos, por meio de incineração dos protocolos e os dados cadastrados em planilhas do Excel serão deletados.

3.6 INSTRUMENTOS E PROCEDIMENTOS PARA COLETA DE DADOS

Todas as avaliações pertinentes ao estudo foram realizadas no Laboratório de Biomecânica do Centro de Educação Física da UFSM.

3.6.1 Anamnese e entrevista

Os voluntários passaram por uma entrevista inicial para avaliação dos critérios do estudo e caracterização da amostra. Os indivíduos selecionados responderam a uma anamnese fornecendo informações referentes a hábitos e características individuais como idade, sexo, uso de cigarro, consumo de bebidas alcoólicas, jornada de trabalho, entre outras (APÊNDICE C).

Para mensurar a estatura corporal foi utilizado o estadiômetro, mantendo o avaliado na posição completamente ereta, em apnéia inspiratória, pés descalços e unidos, bem como a cabeça no plano horizontal e paralelo ao solo. A medida foi obtida através do comprimento total entre a base do solo e a parte superior da cabeça e registrada em centímetros (CHARRO et al, 2010).

Para obtenção da massa corporal os indivíduos foram instruídos a pisar no centro da balança, de costas para a escala, em posição ortostática, com o

plano de Frankfurt posicionado na horizontal, estando sem sapatos e portando roupas confortáveis (CHARRO et al, 2010).

Para obter o índice de massa corporal dos avaliados foi utilizada a divisão da massa corporal (kg) pela estatura em metros ao quadrado (m^2) (CHARRO et al, 2010).


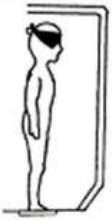


3.6.2 Controle Postural

3.6.2.1 Posturografia dinâmica

Para a avaliação do equilíbrio postural e suas relações com o sistema visual, proprioceptivo e vestibular foi utilizada uma plataforma de força em teste de posturografia dinâmica.

A posturografia dinâmica consiste de uma técnica simples para a avaliação da organização sensorial avaliando a resposta do indivíduo a uma perturbação. Para a posturografia dinâmica o indivíduo foi exposto a quatro condições de testes de organização sensorial (TOS) distintos realizados na posição ortostática, em que as aferências sensoriais vão sendo anuladas para análise e comparação entre os testes (adaptado de CASTAGNO, 1994) (FIGURA 1).

Figura 1 – Teste de Organização Sensorial em suas quatro condições.

	base de apoio	olhos abertos	olhos fechados
TESTE DE ORGANIZAÇÃO SENSORIAL	base de apoio fixa (sem almofada)	 TOS I	 TOS II
	base de apoio oscilante (com almofada)	 TOS III	 TOS IV

Os testes ilustrados na Figura 1 são realizados em quatro condições:

- TOS I- Neste teste a visão estará normal, ou seja com os olhos abertos fixos na horizontal. A plataforma de apoio sob os pés deverá ser fixa, sem a utilização da almofada. Neste teste são avaliados o sistema visual, o proprioceptivo e o vestibular.
- TOS II- Neste teste a visão deve estar ausente, portanto o indivíduo realiza o teste com os olhos fechados. A plataforma de apoio também deve estar fixa sem a utilização de almofada entre os pés e o solo. Este teste avalia os sistemas proprioceptivo e vestibular.
- TOS III- Este teste engloba a visão normal fixa no horizontal. O suporte de apoio deve existir por meio de almofada colocada entre os pés do indivíduo e o solo, avaliando principalmente o sistema proprioceptivo.
- TOS IV - Neste teste a visão deve estar ausente, com os olhos fechados e suporte de apoio deve existir por meio de almofada colocada entre os pés do indivíduo e o solo. Este teste avalia os sistemas proprioceptivo e vestibular, em condições de sobrecarga, devido à eliminação da aferência visual e a colocação da almofada.

Para a avaliação do TOS III e TOS IV foi utilizada uma almofada AIREX[®] Balance Pad (Airex AG, Inc.) com dimensões de 51 cm de comprimento, 40 cm de largura e 6 cm de espessura, que têm sido amplamente utilizados em ambiente clínico e laboratorial para avaliação da oscilação postural (STANEK ; MEYER; LYNALL, 2013, BOONSINSUKH et al, 2020), ilustrada na figura 2.

Figura 2 - Almofada AIREX[®] Balance Pad



3.6.2.2 Plataforma de força

Para a aquisição dos dados referentes ao controle postural foi utilizada uma plataforma de força AMTI modelo OR6-6-2000 (*Advanced Mechanical Technologies, Inc.*), ilustrada na figura 3.

Figura 3 – Plataforma de força AMTI



Para essa avaliação, os indivíduos foram instruídos a posicionar-se sobre a plataforma de força com os pés afastados na largura do quadril, cabeça direcionada à frente, olhos fixados em um alvo a uma distância de 3 metros e posicionado na altura da linha horizontal dos olhos do indivíduo. A posição dos pés foi marcada em um papel para que cada tentativa fosse realizada com o mesmo posicionamento. Foram realizadas três tentativas para cada condição de teste, sendo a frequência de aquisição da plataforma de força de 100Hz. Durante as coletas os sujeitos permaneceram descalços, em apoio bipodal com os cotovelos estendidos ao longo do corpo.

Os dados de força retirados da plataforma foram utilizados no cálculo de duas coordenadas do centro de força (COP) a cada instante, uma na direção ântero-posterior e outra na direção médio-lateral, de acordo com o sistema de coordenadas que a própria plataforma fornece. Os dados de COP passaram por um filtro passa baixas Butterworth (2ª ordem), com frequência de corte ajustada em 20 Hz.

Para esse estudo, uma rotina customizada do MATLAB foi desenvolvida para realizar o processamento dos dados. Inicialmente, os dados de força e de momento foram retirados da plataforma e utilizados no cálculo de duas coordenadas do centro de pressão (COP) a cada instante. Após a filtragem, os primeiros 10 segundos de cada tentativa foram considerados como um período de adaptação e removidos. Para os 50 segundos restante de cada coleta, foram calculados a amplitude de oscilação do COP e, para cada direção (ântero-posterior e outra na direção médio-lateral), e o espectro de frequência

do COP (FREITAS, PRADO E DUARTE, 2005). Em seguida, os dados do COP passaram por uma análise do espectro de frequência através de uma transformada rápida de Fourier (FFT), para então verificar a mediana das frequências em cada tentativa.

O processamento e a filtragem dos dados com os cálculos de posição e de frequência (obtida pela FFT) dos dados do COP, foram realizados a partir de rotinas customizadas criadas no software MATLAB[®] (The MathWorks, Natick, MA).

Para a análise do espectro de frequência em relação ao tempo, cada coleta de 50 segundos foi dividida em intervalos de 0-15 segundos, 16-30 segundos e 31 - 50 segundos. Para a classificação das faixas de frequência foi utilizado três intervalos considerando a banda de baixa frequência entre 0 e <0,3 Hz, a banda de média frequência entre 0,3 e <1 Hz) e a banda de alta frequência entre 1 a 3 Hz (KANEKAR, LEE, ARUIN, 2014; PEREZ, GREEN, MOCHIZUKI, 2020).

3.6.3 Procedimento para coleta dos dados

Para a análise de frequência da oscilação postural durante a manipulação dos sistemas somatossensorial, vestibular e visual foi utilizada a posturografia dinâmica concomitantemente com a plataforma de força. A ordem de realização dos quatro TOS foi randomizada por meio de sorteio através de envelopes individuais, lacrados e não translúcidos, contendo cada um o teste a ser realizado pelo indivíduo. Cada coleta teve um tempo de duração de 60 segundos e um intervalo de descanso de um minuto entre elas. Foram realizadas três tentativas para as quatro condições de teste e logo após realizada a média das tentativas.

3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todas as análises foram realizadas utilizando o programa SPSS versão 20.0 para Windows. Estatísticas descritivas e testes de normalidade foram determinados para todas as variáveis. Para verificar a normalidade das

variáveis do estudo foi utilizado o teste de Shapiro- Wilk e a igualdade das variâncias foi testada pelo teste de Levene.

A partir dos resultados desses testes foram selecionados os testes de comparação entre as variáveis dos grupos estratificados por sexo. Para a comparação entre as quatro condições de teste foi utilizado a ANOVA de medidas repetidas e logo após realizado o post hoc de Bonferroni para diagnosticar as possíveis diferenças. Para a comparação entre os sexos durante as quatro condições de teste e a comparação entre os tempos (0 - 15s; 16 - 30s; 31 - 50s) durante as quatro condições de teste foi utilizada uma ANOVA de duas vias. O nível de significância adotado para todos os testes foi de 5% ($\alpha=0,05$).

4 RESULTADOS

Nos resultados, o artigo 1 "Análise de frequência da oscilação postural em indivíduos saudáveis durante a manipulação dos sistemas somatossensorial, vestibular e visual" integra os resultados relativos aos objetivos específicos 1 e 2 e o artigo 2 "Análise da manipulação dos sistemas sensoriais do controle postural em adultos saudáveis ao longo de três momentos distintos", ao objetivo específico 3.

4.1 Artigo 1

Análise de frequência da oscilação postural em indivíduos saudáveis durante a manipulação dos sistemas somatossensorial, vestibular e visual*

Frequency analysis of postural sway during manipulation of the somatosensory, vestibular and visual systems

* Artigo submetido a revista Fisioterapia e Pesquisa

Resumo

O objetivo deste estudo foi comparar a oscilação postural por meio da análise de frequência durante a manipulação dos sistemas somatossensorial, vestibular e visual em indivíduos saudáveis. Quarenta e oito indivíduos (23 homens, 25 mulheres, $32,21 \pm 10,48$ anos; $22,07 \pm 3,05$ kg/m²) foram expostos a quatro condições diferentes no Teste de Organização Sensorial (TOS): olhos abertos, olhos fechados, superfície estável e instável. O teste foi realizado em uma plataforma de força para a coleta dos dados referentes ao centro de pressão (COP). A modificação de superfície estável para instável gerou aumento da frequência de oscilação para a manutenção do controle postural ($p < 0,001$). Entretanto, não houve diferenças significativas ao suprimir o sistema visual quando os indivíduos estavam em superfície fixa, mas essa supressão alterou a frequência de oscilação do COP quando os indivíduos estiveram em superfície instável (com almofada). A estratificação dos grupos pelo sexo determinou resultados equivalentes. Quanto maior a manipulação dos sistemas de organização sensorial, representado pelos TOS, maior a frequência de oscilação do COP para manter o controle postural.

Palavras-chave: Equilíbrio Postural. Sistema Sensorial. Análise de Frequência.

Abstract

The aim of this study was to analyze the frequency of postural sway during manipulation of the somatosensory, vestibular and visual systems in healthy individuals. Forty-eight subjects (23 men, 25 women, 32.21 ± 10.48 years; 22.07 ± 3.05 kg/m²) were exposed to four different conditions in the Sensory Organization Test (SOT): eyes open, eyes closed, stable and unstable surface. The test was performed on a force platform to collect center of pressure (COP) data. The change from stable to unstable surface generated an increase in the oscillation frequency for the maintenance of postural control ($p < 0,001$). However, there were no significant differences in suppressing the visual system when subjects were on a fixed surface, but this suppression altered the frequency of COP oscillation when subjects were on an unstable surface (with cushion pad). The stratification of the groups by sex determined equivalent results. The greater the manipulation of sensory organization systems, represented by the TOS, the greater the frequency of oscillation of the COP to maintain postural control.

Key words: Postural Balance. Sense Organs. Frequency analysis.

Introdução

A manutenção do equilíbrio na postura ereta ocorre por meio da atuação do controle postural, que obtém e organiza as informações sensoriais provenientes dos sistemas visual, vestibular e somatossensorial^{1,2,3}. Uma das tarefas mais importantes do sistema de controle postural é a manutenção do equilíbrio sob a base de apoio fornecida pelos pés. Essa manutenção inclui a detecção sensorial dos movimentos corporais, a integração das informações sensorio-motoras no sistema nervoso central (SNC) e a execução das respostas musculoesqueléticas apropriadas. Qualquer comprometimento desse complexo sistema de integração pode dar origem ao desequilíbrio corporal^{2,4,5}.

A maneira mais utilizada para estudar o controle postural é a avaliação do comportamento do corpo durante a manutenção da postura ereta quieta, principalmente a oscilação do centro de pressão (COP). A técnica utilizada para medir a oscilação do corpo ou de variáveis associadas é a posturografia, comumente dividida em posturografia estática, quando a postura ereta quieta do sujeito é estudada e posturografia dinâmica, quando a resposta a uma perturbação aplicada sobre o sujeito é objeto de estudo³.

A maioria dos estudos que avaliam o controle postural concentram-se em avaliações clínicas e medidas espaço temporais de equilíbrio. No entanto, as análises espectrais do controle postural têm apresentado utilidade adicional na compreensão dos mecanismos subjacentes do controle do equilíbrio e podem ajudar a melhor caracterizar e prever a recuperação do equilíbrio em indivíduos saudáveis ou não. Os múltiplos sistemas de controle postural (somatossensorial, vestibular e visual) envolvidos na regulação do equilíbrio apresentam diferentes velocidades de chegada e de processamento dessas informações em suas vias de controle, permitindo que suas contribuições aferentes relativas sejam estudadas identificando as respostas por meio da análise de frequência da oscilação postural^{6,7}.

Um componente necessário para entender o sistema de controle postural é a contribuição relativa que cada um dos sistemas sensoriais e suas interações proporcionam para manter o equilíbrio. A capacidade de identificar uma faixa de frequência na qual cada sistema funciona permitiria estimar qual sistema ou sistemas são os mais importantes para diferentes tarefas. Além

disso, identificar se a dependência do sistema sensorial preferencial muda com diferentes tarefas, parece relevante para a prática clínica^{8,9,10}. Dessa forma, a análise de frequência da oscilação postural tem sido utilizada na avaliação do controle postural^{7,8,9}. Essa análise de frequência do COP pode oferecer informações mais precisas sobre as causas das alterações do equilíbrio, podendo diferenciar a contribuição dos três sistemas sensoriais responsáveis pela manutenção do controle postural, diferente de uma análise do deslocamento ou velocidade do COP comumente apresentada nos estudos^{11,12}.

Para a análise de frequência da oscilação corporal, os deslocamentos do COP geralmente são divididos em três faixas de frequências: baixa, média e alta. As baixas frequências estão associadas à regulação visual, as médias frequências com regulação vestibular e somatossensorial e altas frequências com regulação somatossensorial^{10,11}. Além disso, os componentes de baixa frequência (<0,4 Hz) são considerados exploratórios com deslocamentos lentos do COP para um ponto de referência do sistema nervoso central ou, ainda, correções do equilíbrio úteis para controle antecipado do movimento. O controle antecipatório do movimento reflete inerentemente modelos preditivos de comportamento e desempenha um papel importante no controle postural. Os componentes de média e alta frequência (>0,4 Hz) são considerados como reflexos de respostas corretivas à instabilidade temporária, representando os mecanismos de controles de reação¹².

A análise das séries temporais do COP no domínio da frequência em indivíduos saudáveis demonstra diferenças de resposta durante a execução de um mesmo teste ou tarefa. Acredita-se, que a diferença nas características físicas sexuais (comprimento dos membros inferiores ou tamanho dos pés) ou na força muscular dos membros inferiores podem estar relacionadas a oscilação postural e podem interferir na análise do domínio da frequência¹³.

Desta forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar a oscilação postural por meio da análise de frequência durante a manipulação dos sistemas somatossensorial, vestibular e visual em indivíduos saudáveis. Além disso, comparar os indivíduos estratificando o sexo para observar se o controle postural durante a manipulação dos sistemas é influenciado por essa variável. .

Metodologia

O grupo de estudo foi composto por 48 indivíduos não obesos (IMC entre 18,5 e 29,9 kg/m²), de ambos os sexos, com faixa etária entre 18 e 50 anos, sem histórico de alterações otológicas e de quedas nos últimos 6 meses, que não fizessem uso de medicação ototóxica nos últimos 3 meses. Para as coletas, os indivíduos não poderiam ter realizado atividade física nas últimas 24 horas e nem apresentar queixa musculoesquelética no momento da coleta.

Foram utilizados como critérios de exclusão: diagnóstico prévio de hérnia de disco e/ou traumas e procedimentos cirúrgicos na coluna vertebral, comprometimentos neurológicos previamente diagnosticados e déficit vestibular. Foram excluídos da pesquisa os indivíduos que não concluíram uma das etapas do estudo e que foram classificados como sedentários pelo Questionário Internacional de Atividade Física (IPAQ)¹⁴.

O protocolo de pesquisa foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Instituição (CAAE nº 50782121.8.0000.5346), de acordo com a Resolução 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde do Ministério da Saúde. Todos os voluntários formalizaram a participação no estudo assinando o termo de consentimento livre e esclarecido.

Para a avaliação do equilíbrio postural e suas relações com o sistema visual, proprioceptivo e vestibular, os indivíduos foram expostos a quatro tarefas diferentes denominadas Teste de Organização Sensorial (TOS)¹⁵ em uma plataforma de força AMTI modelo OR6-6-2000 (*Advanced Mechanical Technologies, Inc.*) para a coleta dos dados referentes ao centro de pressão (COP). Os dados cinéticos foram obtidos com frequência de aquisição de 100 Hz. Os indivíduos foram orientados a se posicionar sobre a plataforma, em posição habitual, pés descalços, cabeça direcionada à frente e manutenção do olhar horizontalizado. As posições dos pés foram marcadas em um papel antes da primeira tentativa para que esse posicionamento fosse mantido nas tentativas subsequentes.

Os TOS 1 e 2 foram realizados na posição ortostática habitual, com o mesmo posicionamento dos pés utilizado para a coleta na plataforma. Os TOS 3 e 4 foram realizados na mesma posição anterior, porém, com o indivíduo posicionando-se sobre uma AIREX® Balance Pad (Airex AG, Inc.) com

dimensões de 51 cm de comprimento, 40 cm de largura e 6 cm de espessura, colocada sobre a plataforma, com a finalidade de atenuar a propriocepção. As coletas nos TOS 2 e 4, no entanto, foram realizadas com os olhos fechados¹⁵.

A ordem de realização dos quatro testes de organização sensorial foi randomizada por meio de sorteio através de envelopes individuais, lacrados e não translúcidos, contendo cada um o teste a ser realizado pelo indivíduo. As coletas foram realizadas por examinadores previamente treinados e cegados para o desfecho do estudo, tendo duração de 60 segundos e um intervalo de descanso de um minuto entre elas. Foram realizadas três tentativas para as quatro condições de teste, com uma explicação prévia e sem familiarização com o protocolo. e logo após realizada a média das tentativas.

As variáveis analisadas foram as frequências de oscilação no deslocamento ântero-posterior (COPap) e médio-lateral (COPml) do centro de pressão. Para esse estudo, uma rotina customizada do MATLAB foi desenvolvida para realizar o processamento dos dados. Inicialmente, os dados de força e de momento da plataforma foram utilizados no cálculo de duas coordenadas do centro de pressão (COP) a cada instante, uma na direção ântero-posterior e outra na direção médio-lateral, de acordo com o sistema de coordenadas que a própria plataforma fornece. Os dados de COP passaram por um filtro passa baixas Butterworth (2ª ordem), com frequência de corte ajustada em 20 Hz. Após a filtragem, os primeiros 10 segundos de cada tentativa foram considerados como um período de adaptação e removidos da análise. Para os 50 segundos restante de cada coleta, foram calculados o espectro de frequência do COP para cada direção (ântero-posterior e médio-lateral)¹⁶. Em seguida, os dados do COP passaram por uma análise do espectro de frequência através de uma transformada rápida de Fourier (FFT), para verificar a mediana da frequência (MF), em cada tentativa para cada direção.

Os dados foram submetidos à estatística descritiva, com valores em média e desvio padrão, e estatística analítica. Para verificar a normalidade das variáveis foi utilizado o teste de *Shapiro Wilk*. Na comparação entre as quatro condições de teste foi utilizada uma ANOVA de medidas repetidas com o post hoc de Bonferroni para diagnosticar as possíveis diferenças. Para a comparação entre os sexos durante as quatro condições de teste foi utilizada

uma ANOVA de duas vias (sexo e condição do teste). O nível de significância adotado para todos os testes foi de 5% ($\alpha=0,05$).

Resultados

A amostra estudada foi composta por 48 indivíduos, 23 do sexo masculino e 25 do sexo feminino, com média de idade de $32,21 \pm 10,48$ anos e IMC de $22,07 \pm 3,05$ kg/m². Os dados referentes à análise de frequência durante a manipulação dos sistemas somatossensorial, vestibular e visual são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Análise da mediana da frequência durante a manipulação dos sistemas somatossensorial, vestibular e visual

	TOS1	TOS2	TOS3	TOS4	p-valor
	Média±DP	Média±DP	Média±DP	Média±DP	
MFap(Hz)	0,30±0,08 ^a	0,33±0,09 ^a	0,44±0,09 ^b	0,50±0,10 ^c	<0,001*
MFml (Hz)	0,36±0,08 ^a	0,36±0,09 ^a	0,40±0,10 ^b	0,43±0,09 ^c	<0,001*

Legenda: TOS, Teste de organização sensorial; COP, centro de pressão; DP, Desvio padrão; Hz, Hertz. * Diferença significativa ($p < 0,05$). Letras diferentes representam diferença entre condições

Na comparação entre os quatro testes de organização sensorial, observou-se diferença significativa entre o TOS 1 e 2 quando comparado aos TOS 3 e 4, em ambas as direções. Nessas condições, a modificação de uma superfície estável para uma instável gerou aumento da frequência de oscilação para a manutenção do controle postural. Não foram observadas diferenças significativas quando comparados o TOS 1 e 2, sugerindo que a manipulação do sistema visual (supressão) não alterou a frequência de oscilação do COP em ambas as direções quando os indivíduos estiveram em superfície fixa (sem almofada). Quando comparados os TOS 3 e 4 foram encontradas diferenças significativas em ambas as direções, demonstrando que a manipulação do sistema visual (supressão) alterou a frequência de oscilação do COP quando os indivíduos estiveram em superfície instável (com almofada).

Pode-se observar que quanto maior a manipulação dos sistemas de organização sensorial, maior a frequência de oscilação do COP para manter o controle postural. Dentre os sistemas, a maior frequência de oscilação do COP para manter o controle postural ocorreu quando os sistemas vestibular e somatossensorial foram manipulados.

Tabela 2 - Análise da mediana da frequência durante a manipulação dos sistemas somatossensorial, vestibular e visual (sexo).

		Masculino	Feminino	Anova (p-valor)		
		Média±DP	Média±DP	Condição	Grupo	Interação
MFap (Hz)	TOS1	0,32±0,09 ^a	0,30±0,07 ^a	<0,001*	0,59	0,14
	TOS2	0,34±0,09 ^a	0,33±0,09 ^a			
	TOS3	0,46±0,10 ^b	0,42±0,09 ^b			
	TOS4	0,48±0,10 ^c	0,52±0,10 ^c			
MFml (Hz)	TOS1	0,37±0,07 ^a	0,36±0,08 ^a	<0,001*	0,41	0,95
	TOS2	0,36±0,08 ^a	0,35±0,09 ^a			
	TOS3	0,41±0,11 ^b	0,39±0,09 ^b			
	TOS4	0,43±0,10 ^c	0,42±0,08 ^c			

Legenda: TOS, Teste de organização sensorial; COP, centro de pressão; DP, Desvio padrão; Hz, Hertz. * Diferença significativa ($p < 0,05$). Letras diferentes representam diferença entre condições

Quando estratificados pelo sexo, não foram encontradas diferenças significativas entre os grupos e na interação grupo*TOS, em ambas as direções. Quando comparadas as condições de teste (TOS), na direção anteroposterior (COPap) e mediolateral (COPml) foram encontradas diferenças entre o TOS 1 e TOS 2 quando comparados ao TOS 3 e 4. Demonstrando que, assim como encontrado na amostra geral, a modificação de uma superfície estável para uma instável gerou uma maior frequência de oscilação para a manutenção do controle postural em ambos os sexos.

Não foram observadas diferença significativa entre o TOS 1 e 2, em ambas as direções sugerindo, mais uma vez, que a supressão do sistema visual não alterou a frequência de oscilação do COP, em ambos os sexos, quando os indivíduos estiveram em superfície fixa (sem almofada). Da mesma

forma, quando comparados os TOS 3 e 4 foram encontradas diferenças significativas em ambas as direções, demonstrando que a manipulação do sistema visual (supressão) alterou a frequência de oscilação do COP quando os indivíduos estiveram em superfície instável (com almofada), em ambos os sexos. Assim, mesmo com a estratificação dos sexos, os resultados encontrados mantiveram-se equivalentes.

Discussão

O presente estudo demonstrou que à medida que ocorre aumento da manipulação dos sistemas sensoriais, o corpo apresenta uma maior frequência de oscilação para a manter a postura ereta quieta. Houve maior frequência de oscilação nas condições em que os sistemas vestibular e somatossensorial foram manipulados com o uso da superfície instável (TOS 3 e 4) e sobrecarregados devido a supressão da visão (TOS 4). Nessas condições, o sistema vestibular é a aferência cuja precisão da informação tem o maior impacto na estabilização corporal, pois as informações vestibulares são as mais fiéis diante de um ambiente que oferece informações conflitantes quando comparadas às informações visuais e proprioceptivas¹⁷. Em superfícies instáveis, a importância das informações aferentes do sistema vestibular aumenta, enquanto as informações visuais e proprioceptivas diminuem para compensar o controle postural

Na posturografia, as principais condições que avaliam a função do sistema vestibular e somatossensorial são aquelas que permitem a oscilação perante uma superfície instável. Neste caso, a utilização da superfície instável (almofada) nas condições TOS3 e TOS4 representam essa condição. A estabilidade postural na condição de olhos fechados com o uso da almofada pode refletir indiretamente a função do sistema vestibular periférico e central devido à redução das entradas visuais e somatossensoriais (TOS 4)¹⁸. Nessas situações, a oscilação do centro de gravidade do corpo modifica a superfície de apoio (com deformações) e obriga o indivíduo a utilizar a informação vestibular para os ajustes compensatórios, evitando a queda¹⁹. Nossos resultados corroboram a interdependência desses sistemas para a manutenção do controle postural.

A análise de frequência do COP pode oferecer informações mais precisas sobre as causas das alterações do equilíbrio, pois examina os três sistemas sensoriais responsáveis pela manutenção do controle postural^{6,10}, diferente de análises do deslocamento ou da velocidade do COP comumente apresentadas nos estudos. Para a análise de frequência da oscilação corporal, os deslocamentos do COP geralmente são divididos em três faixas de frequências: baixa, média e alta. As baixas frequências estão associadas à regulação visual, as médias frequências com regulação vestibular e somatossensorial, enquanto as altas frequências se associam com a regulação somatossensorial^{9,10,20}.

No presente estudo, os espectros de frequência encontrados nos TOS1 e TOS2 apresentaram componentes de baixa frequência (<0,4 Hz) e não apresentaram diferença significativa quando comparados. Os componentes de baixa frequência são considerados exploratórios, com migrações lentas do centro de pressão (COP) ou, ainda, correções do controle postural na antecipação de um movimento e/ou tarefa. O controle antecipado do movimento reflete inerentemente modelos preditivos de comportamento e desempenha um papel nos mecanismos de controle antecipatório. Nesse caso, a supressão da visão em superfície estável não necessitou de um ajuste antecipatório do controle postural para execução dessa tarefa¹².

Já os espectros de frequência encontrados nos TOS 3 e TOS4 apresentaram componentes de média e alta frequência (>0,4 Hz) e apresentaram diferença significativa quando comparados. Os componentes de frequência mais alta são considerados como reflexo de respostas corretivas à instabilidade temporária, representando mecanismos de controle de reação. Nesse caso, a supressão da visão em superfície instável necessitou de um ajuste compensatório do controle postural para execução dessa tarefa, demonstrando que a manipulação e sobrecarga dos sistemas vestibular e somatossensorial gera uma maior frequência de oscilação quando comparada apenas a supressão da visão nos indivíduos deste estudo.

Os componentes de frequência acima de 0,1 Hz indicam movimentos corretivos rápidos para manter o equilíbrio e os componentes de frequência abaixo de 0,1 Hz podem ser descritos como mudanças corretivas sutis na manutenção da postura corporal. A oscilação de frequências mais altas

provavelmente é gerada principalmente por movimentos no quadril e tronco, enquanto a baixa frequência por movimentos no tornozelo²¹.

A contribuição da visão para a estabilidade postural já está bem descrita na literatura^{5,12,22}. A frequência de oscilação na condição olhos abertos (TOS1 e TOS3) apresenta valores menores do que na condição olhos fechados na direção anteroposterior (COPap) e mediolateral (COPml), independentemente do uso ou não da superfície instável. Essa tendência já foi observada tanto em indivíduos saudáveis (controles) quanto em pacientes com alterações vestibulares ou neurológicas¹², sugerindo que a informação visual contribui para a redução instabilidade postural. Sendo assim, muitos estudos utilizam a condição olhos fechados para aumentar o desafio da manutenção do controle postural. No presente estudo, as medidas espectrais não demonstraram efeitos significativos da supressão da visão em superfície estável no aumento da frequência de oscilação em indivíduos saudáveis. O resultado difere do que foi encontrado por Perez, Green, Mochizuki (2020), onde aumentar o desafio postural por meio de condições de olhos fechados ou por meio de uma tarefa cognitiva secundária auxiliou a fornecer maiores respostas sobre as deficiências de equilíbrio em indivíduos com traumatismo cranioencefálico (TCE). As dificuldades de equilíbrio foram mais facilmente reveladas quando os pacientes não utilizaram sua visão para compensar o controle da postura, sugerindo uma importante modalidade de avaliação. Além disso, em pacientes com problemas de equilíbrio, os déficits podem se manifestar de forma mais proeminente naqueles com visão comprometida ou em condições em que a visão está comprometida (condições de pouca luz ou quando óculos e lentes de contato foram removidos).

Os resultados do presente estudo sugerem que a informação somatossensorial pode contribuir para a redução de todos os componentes de frequência da estabilidade postural, em contraste com a informação visual, que não resultou em aumento da frequência de oscilação em superfície instável ao suprimir suas informações em indivíduos saudáveis. Basicamente, ficar em pé sobre uma superfície instável altera a informação somatossensorial, diminuindo a dependência do SNC em relação as informações provenientes dos mecanorreceptores cutâneos plantares.

Embora a análise de frequência seja geralmente avaliada em estudos clínicos, a falta de padronização e descrição dos procedimentos para estimativa espectral pode restringir a comparação dos resultados de diferentes estudos²⁰.

Como limitação do estudo, não foram delimitadas as faixas de frequências (baixa, média e alta) na rotina desenvolvida para análise dos dados, e sim, foram utilizadas a descrição das faixas de frequências descritas na literatura para a classificação das frequências. A variedade de escolhas na delimitação das faixas de frequência correspondentes aos sistemas somatossensorial, visual e vestibular, não apresenta uma unanimidade entre os autores, dificultando a padronização dos resultados e a comparação entre os estudos.

Indivíduos adultos, de ambos os sexos, fisicamente ativos mantêm a dinâmica de controle do seu equilíbrio postural mesmo em supressão visual. Para esse grupo de estudo, durante a prática clínica ou nas fases da reabilitação deve-se pensar em situações mais desafiadoras para a manutenção do equilíbrio postural, visto que estes adultos não possuem dependência significativa da visão.

Conclusão

Quanto maior a manipulação dos sistemas de organização sensorial, representado pelos TOS, maior a frequência de oscilação do COP para manter o controle postural. A maior frequência de oscilação do COP ocorreu quando o sistema vestibular e somatossensorial foram manipulados simultaneamente. Em superfície estável, a supressão da visão não altera o controle postural. Já em superfície instáveis, houve a necessidade de um ajuste compensatório do controle postural, demonstrando que a manipulação e sobrecarga dos sistemas vestibular e somatossensorial gera uma maior frequência de oscilação quando comparada apenas a supressão da visão nos indivíduos deste estudo.

No entanto, todas as respostas de controle da postura foram similares entre homens e mulheres, não indicando que o sexo exerce influência nessa variável. Essas informações seriam importantes para os profissionais de saúde pois permitiriam adequar suas terapias aos déficits específicos dos sistemas de controle postural.

Referências bibliográficas

1. Horak FB. Clinical assessment of balance disorders. *Gait posture*. 1997;6(1):76–84.
2. Ionescu E, Morletb T, Froehlichc P, Ferber-Viartdet C. Vestibular assessment with Balance Quest Normative data for children and young adults. *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol*. 2006;70 (8):1457-65.
3. Duarte M, Freitas SMSF. Revisão sobre posturografia baseada em plataforma de força para avaliação do equilíbrio. *Rev. Bras. Fisioter*. 2010;14(3):183-92.
4. Kogler A, Lindfors J, Odkvist LM, Ledin T. Postural Stability Using Different Neck Positions in Normal Subjects and Patients with Neck Trauma. *Acta otolaryngol*. 2000;120(2):151–55.
5. Mochizuki L, Amadio CA. As informações sensoriais para o controle postural. *Fisioter. Mov*. 2006;19(2):11-8.
6. Daniels KAJ, Henderson G, Strike S, Cosgrave C, Fuller C, Falvey E. The Use of Continuous Spectral Analysis for the Assessment of Postural Stability Changes After Sports-Related Concussion. *J. Biomech*. 2019; 97(3).
7. Singh NB, Taylor WR, Madigan ML, Nussbaum MA. The spectral content of postural sway during quiet stance: influences of age, vision and somatosensory inputs. *J. Electromyogr. Kinesiol*. 2012; 22 (1):131–6.
8. Crétual A. Which biomechanical models are currently used in standing posture analysis? *Clin. neurophysiol*. 2015; 45 (4-5): 285–95.
9. Bizid R, Jully JL, Gonzalez G, Francois Y, Dupui P, Paillard T. Effects of fatigue induced by neuromuscular electrical stimulation on postural control. *J. Sci. Med. Sport*. 2009;12(1):60-66.
10. Kanekar N, Lee YJ, Aruin AS. Frequency analysis approach to study balance control in individuals with multiple sclerosis. *J. Neurosci. Methods*. 2014;222:91-96.
11. Palmieri RM, Ingersoll CD, Stone MB, Krausi BA. Center-of-pressure parameters used in the assessment of postural control. *J. Sport Rehabil*. 2002;11(1):51-66.
12. Perez OH, Green RE, Mochizuki G. Spectral analysis of centre of pressure identifies altered balance control in individuals with moderate-severe traumatic brain injury. *Disabil and Rehabil*. 2020; 42(4):519-27.
13. Demura S, Kitabayashi T, Noda M. Power spectrum characteristics of sway position and velocity of the center of pressure during static upright posture for healthy people. *Percept Mot Skills*. 2008 Feb;106(1):307-16.

14. Matsudo, S. et al. Questionário internacional de atividade física (IPAQ): estudo de validade e reprodutibilidade no Brasil. *Rev. Bras. Ativ. Fís. Saúde.* 2001; 6(2):5-18.
15. Castagno, LA. A new method for sensory organization tests: the foam-laser dynamic posturography. *Rev. Bras. Otorrinolaringol.* 1994; 60(4):287-96.
16. Freitas SM, Prado JM, Duarte M. The use of a safety harness does not affect body sway during quiet standing. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2005 Mar; 20(3):336-9.
17. Loth EA, Rosi AG, Cappelleso PC, Ciena AP. Avaliação da influência do sistema vestibular no equilíbrio de adultos jovens através de posturografia dinâmica foam-laser e plataforma de força. *Semina Cienc Biol Saúde.* 2008; 29(1):57-64.
18. Fujimoto C, Kamogashira T, Kinoshita M, Egami N, Sugasawa K, Demura S et al. Power spectral analysis of postural sway during foam posturography in patients with peripheral vestibular dysfunction. *Otol Neurotol.* 2014 Dec; 35(10):317-23.
19. Teixeira CS, Körbes D, Rossi AG. Ruído e equilíbrio: aplicação da posturografia dinâmica em indústria gráfica. *Rev. CEFAC.* 2011;13(1):92-101.
20. Paillard T, Noé F. Techniques and Methods for Testing the Postural Function in Healthy and Pathological Subjects. *BioMed Research International.* 2015.
21. Tjernström, F et al. Adaptation of postural control to perturbations—a process that initiates long-term motor memory. *Gait posture.* 2002;15(1): 75-82.
22. Chander, et al. Virtual-Reality-Induced Visual Perturbations Impact Postural Control System. *Behav. Sci.* 2019; 9(113):1-12.

4.2 Artigo 2

Análise da manipulação dos sistemas sensoriais do controle postural em adultos saudáveis ao longo de três momentos distintos

Analysis of the manipulation of sensory systems for postural control in healthy adults over three different moments

* Artigo submetido a revista Clinical Biomechanics

Resumo

O objetivo do presente estudo foi observar o efeito de manipulações sensoriais no controle postural ao longo do tempo em indivíduos saudáveis. Quarenta e oito indivíduos (23 homens, 25 mulheres, $32,21 \pm 10,48$ anos; $22,07 \pm 3,05$ kg/m²) foram expostos a quatro condições diferentes no Teste de Organização Sensorial (TOS): olhos abertos, olhos fechados, superfície estável e instável. O teste foi realizado em uma plataforma de força para a coleta dos dados referentes ao centro de pressão (COP). Para a análise das variáveis ao longo do tempo, a coleta foi dividida em: 0 - 15s; 16 - 30s; 31 - 50s. Independente do TOS, a mediana da frequência do COP diminui ao longo do tempo no sentido anteroposterior (COPap) e a partir do último intervalo de tempo (31-50s) no sentido mediolateral (COPml). A manipulação do sistema visual não alterou a amplitude de deslocamento do centro de pressão quando os indivíduos estiveram em superfície fixa (sem almofada). Ao longo do tempo, quanto maior a manipulação dos sistemas sensoriais maior a amplitude de deslocamento do COP para manter o controle postural. Os resultados demonstram que independente da condição de teste e da direção analisada, a amplitude de deslocamento aumenta com o passar do tempo de coleta.

Palavras-chave: Controle Postural. Série Temporal. Feedback Sensorial.

Abstract

The aim of the present study was to observe the effect of sensory manipulations on postural control over time in healthy subjects. Forty-eight subjects (23 men, 25 women, 32.21 ± 10.48 years; 22.07 ± 3.05 kg/m²) were exposed to four different conditions in the Sensory Organization Test (SOT): eyes open, eyes closed, stable and unstable surface. The test was performed on a force platform to collect data referring to the center of pressure (COP). For the analysis of variables over time, the collection was divided into: 0 - 15s; 16 - 30s; 31 - 50s. Regardless of TOS, the median COP frequency decreases over time in the anteroposterior direction (COPap) and from the last time interval (31-50s) in the mediolateral direction (COPml). The manipulation of the visual system did not change the amplitude of displacement of the center of pressure when the subjects were on a fixed surface (without cushion). Over time, the greater the manipulation of sensory systems, the greater the amplitude of displacement of the COP to maintain postural control. The results demonstrate that, regardless of the test condition and the direction analyzed, the displacement amplitude increases with the passage of the collection time.

Key words: Postural Balance. Time Factors. Feedback, Sensory.

Introdução

A maneira mais utilizada para estudar o controle postural é a avaliação do comportamento do corpo durante a manutenção da postura ereta quieta, principalmente observando a oscilação do centro de pressão (COP). A posturografia, comumente dividida em posturografia estática, quando a postura ereta quieta do sujeito é estudada e posturografia dinâmica, quando a resposta a uma perturbação aplicada sobre o sujeito é o objeto de estudo, é um método de avaliação que pode ser utilizado em clínicas de reabilitação ou laboratórios para avaliação do controle postural¹.

Quando se trata de controle postural, um dos grandes questionamentos científicos é encontrar critérios diagnósticos para diversos distúrbios do sistema de equilíbrio. A análise quantitativa do sinal posturográfico cria uma série de possibilidades de extração de parâmetros desse sinal, que podem ter valores diagnósticos para diversos distúrbios. Para que um parâmetro tenha valor diagnóstico, deve-se discriminar um grupo de indivíduos saudáveis de um grupo com alterações patológicas^{2,3}. A grande variedade de parâmetros básicos, como: amplitude de deslocamento, velocidade média e área de oscilação do COP, analisados em grupos saudáveis e patológicos com a sobreposição dos valores dos parâmetros nos grupos estudados, impossibilita o uso como discriminador de distúrbios.

A seleção de um parâmetro é um tema controverso na literatura, pois existem opiniões conflitantes sobre quais medidas são mais sensíveis às mudanças que ocorrem no corpo durante a manutenção do controle postural quando há a manipulação dos sistemas sensoriais^{4,5}.

Variáveis como amplitude de deslocamento, velocidade e área de oscilação do COP são comumente utilizadas na avaliação do controle postural¹, sendo essas calculadas a partir das coordenadas bidimensionais do COP⁶. No entanto, além das variáveis associadas às características espaço temporais da oscilação, os espectros de frequência que estimam a periodicidade da oscilação também têm sido utilizados nos estudos relacionados ao controle postural. Dessa forma, com inúmeros parâmetros disponíveis para quantificar o controle postural, surge frequentemente a questão de qual medida do COP utilizar para melhor descrever a execução da tarefa.

O espectro de frequência pode ser calculado a partir de análises de séries temporais, com técnicas como a Transformada Rápida de Fourier, e apresenta uma estreita relação com as funções de ajustes posturais, como os sistemas sensoriais: visual, vestibular e somatossensorial. O espectro de frequência é útil para avaliar indivíduos saudáveis ou com alterações no controle postural, pois estes podem apresentar oscilações corporais lentas ou rápidas durante uma tarefa de controle postural⁶.

Desta forma, o objetivo do presente estudo foi observar o efeito de manipulações sensoriais no controle postural ao longo do tempo em indivíduos saudáveis por meio da análise da frequência e da amplitude de deslocamento do COP.

Materiais e Métodos

O grupo de estudo foi composto por 48 indivíduos, de ambos os sexos, com idades entre 18 e 50 anos, sem histórico de alterações otológicas e de quedas nos últimos 6 meses, que não fizessem uso de medicação ototóxica nos últimos 3 meses e com IMC entre 18,5 e 29,9 kg/m². Para as coletas, os indivíduos não poderiam ter realizado exercícios físicos nas últimas 24 horas e nem apresentar queixa musculoesquelética no momento da coleta. Foram utilizados como critérios de exclusão: diagnóstico prévio de hérnia de disco e/ou traumas e procedimentos cirúrgicos na coluna vertebral, comprometimentos neurológicos previamente diagnosticados e déficit vestibular. Foram excluídos da pesquisa os indivíduos que não concluíram uma das etapas do estudo e que foram classificados como sedentários pelo Questionário Internacional de Atividade Física (IPAQ)⁷.

O protocolo de pesquisa foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Instituição (CAAE nº 50782121.8.0000.5346), de acordo com a Resolução 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde do Ministério da Saúde e todos os voluntários formalizaram a participação no estudo assinando o termo de consentimento livre e esclarecido.

Para a avaliação do equilíbrio postural e suas relações com os sistemas visual, proprioceptivo e vestibular, os indivíduos foram expostos a quatro tarefas diferentes denominadas Teste de Organização Sensorial (TOS) em

uma plataforma de força AMTI modelo OR6-6-2000 (*AdvancedMechanical Technologies, Inc.*) para a coleta dos dados referentes ao centro de pressão (COP) com frequência de aquisição de 100 Hz. Os indivíduos foram orientados a se posicionar sobre a plataforma, em posição habitual, pés descalços e afastados aproximadamente na largura do quadril, cabeça direcionada à frente e manutenção do olhar horizontalizado. As posições dos pés foram marcadas em uma folha de papel antes da primeira tentativa para que esse posicionamento fosse mantido nas tentativas subsequentes.

Os TOS 1 e TOS 2 foram realizados na posição ortostática habitual, com o mesmo posicionamento dos pés utilizado para a coleta na plataforma. Os TOS 3 e TOS 4 foram realizados na mesma posição anterior, porém, com o indivíduo posicionando-se sobre uma almofada de espuma de 10 cm de espessura de densidade média, colocada sobre a plataforma, com a finalidade de atenuar a propriocepção. Os TOS 2 e TOS 4 foram realizados com os olhos fechados⁸.

Cada procedimento de coleta foi realizado por examinadores previamente treinados, cegados para o desfecho do estudo.

A ordem de realização dos quatro TOS foi randomizada por meio de sorteio através de envelopes individuais, lacrados e não translúcidos, contendo cada um o teste a ser realizado pelo indivíduo. Cada coleta teve um tempo de duração de 60 segundos e um intervalo de descanso de um minuto entre elas. Foram realizadas três tentativas para cada uma das quatro condições de teste (12 tentativas no total) e, logo após, foi realizada a média das tentativas de cada TOS para representar cada condição.

As variáveis analisadas foram as amplitudes de deslocamento anteroposterior (COPap) e mediolateral (COPml) do centro de pressão e mediana da frequência (MF). Para esse estudo, uma rotina customizada do MATLAB foi desenvolvida para realizar o processamento dos dados. Inicialmente, os dados de força e de momento da plataforma foram utilizados no cálculo das duas coordenadas do centro de pressão (COP) a cada instante, uma na direção anteroposterior e outra na direção mediolateral, de acordo com o sistema de coordenadas que a própria plataforma fornece. Após a filtragem (Butterworth 2ª ordem, passa baixas de 20 Hz), os primeiros 10 segundos de cada tentativa foram considerados como um período de adaptação e

removidos. Para os 50 segundos restantes de cada coleta, foram calculadas as amplitudes de deslocamento do COP para cada direção (anteroposterior e mediolateral)⁹. Para a análise do espectro de frequência, os dados do COP passaram por uma transformada rápida de Fourier (FFT), com a obtenção da mediana da frequência em três instantes ao longo cada tentativa. Para a análise das variáveis ao longo do tempo, a coleta foi dividida em: 0 - 15s; 16 - 30s; 31 - 50s.

Os dados foram submetidos à estatística descritiva, com valores em média e desvio padrão, e estatística analítica. Para verificar a normalidade das variáveis foi utilizado o teste de *Shapiro Wilk*. Para a comparação entre os instantes do teste (0 - 15s; 16 - 30s; 31 - 50s) e entre as quatro condições de teste foi utilizada uma ANOVA de duas vias (tempo e condição). O nível de significância adotado para todos os testes foi de 5% ($\alpha=0,05$).

Resultados

A amostra estudada foi composta por 48 indivíduos, 23 do sexo masculino e 25 do sexo feminino, com média de idade de $32,21 \pm 10,48$ anos e IMC de $22,07 \pm 3,05$ kg/m². Os dados referentes à análise de frequência nos diferentes instantes durante a manipulação dos sistemas somatossensorial, vestibular e visual são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Mediana da frequência de oscilação nos diferentes instantes durante a manipulação dos sistemas somatossensorial, vestibular e visual

		0-15s	16-30s	31-50s	Anova (p-valor)		
		Média±DP	Média±DP	Média±DP	Condição	Tempo	Interação
MFap (Hz)	TOS1	1,08±0,28 ^a	1,07±0,29 ^b	0,42±0,10 ^c	0,08	<0,01*	0,29
	TOS2	1,12±0,29 ^a	1,12±0,26 ^b	0,42±0,09 ^c			
	TOS3	1,15±0,27 ^a	1,12±0,28 ^b	0,44±0,11 ^c			
	TOS4	1,24±0,23 ^a	1,17±0,24 ^b	0,42±0,13 ^c			
MPml (Hz)	TOS1	0,93±0,35 ^a	0,97±0,35 ^a	0,41±0,08 ^b	0,16	<0,01*	0,34
	TOS2	1,00±0,35 ^a	1,08±0,31 ^a	0,44±0,09 ^b			
	TOS3	1,01±0,27 ^a	1,05±0,30 ^a	0,42±0,11 ^b			
	TOS4	1,08±0,26 ^a	1,05±0,31 ^a	0,44±0,10 ^b			

Legenda: TOS, Teste de organização sensorial; MFap e MFml, respectivamente mediana da frequência do centro de pressão na direção anteroposterior e mediolateral; DP, Desvio padrão; Hz, Hertz. * Diferença significativa ($p<0,05$). a,b,c apresenta diferença

Quando as tentativas foram analisadas dividindo-as em três tempos (0-15s, 16-30s e 31-50s) para a comparação, não foram encontradas diferenças significativas na mediana da frequência entre as condições de teste (TOS) em ambas direções. Com relação ao fator tempo, observou-se diminuição significativa da frequência de oscilação entre todos os instantes na direção anteroposterior (COPap) e a partir do último intervalo de tempo (31-50s) em cada situação de teste no sentido mediolateral (COPml). A medida que o tempo de coleta foi transcorrendo, os indivíduos apresentaram diminuição da frequência de oscilação. Não foram observadas interações entre os fatores (TOS e tempo) em ambas direções.

Os dados referentes à amplitude de deslocamento do COP nos diferentes instantes durante a manipulação dos sistemas somatossensorial, vestibular e visual são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Amplitude de deslocamento do COP nos diferentes instantes durante a manipulação dos sistemas somatossensorial, vestibular e visual

		0-15s	16-30s	31-50s	Anova (p-valor)		
		Média±DP	Média±DP	Média±DP	Condição	Tempo	Interação
COPap(cm)	TOS1	1,11±0,39 ^{a,#}	1,07±0,35 ^{a,#}	1,62±0,54 ^{b,#}	<0,01*	<0,01*	<0,01*
	TOS2	1,34±0,66 ^{a,#}	1,29±0,71 ^{a,#}	1,90±0,92 ^{b,#}			
	TOS3	2,58±0,80 ^{a,§}	2,74±1,12 ^{a,§}	3,90±1,24 ^{b,§}			
	TOS4	3,37±0,95 ^{a,†}	3,61±1,09 ^{a,†}	4,62±1,11 ^{b,†}			
COPml (cm)	TOS1	0,63±0,39 ^{a,#}	0,61±0,41 ^{a,#}	0,80±0,55 ^{b,#}	<0,01*	<0,01*	<0,01*
	TOS2	0,67±0,52 ^{a,#}	0,61±0,44 ^{a,#}	0,81±0,62 ^{b,#}			
	TOS3	1,85±0,88 ^{a,§}	1,79±0,80 ^{a,§}	2,47±1,08 ^{b,§}			
	TOS4	2,34±1,05 ^{a,†}	2,24±0,92 ^{a,†}	3,05±1,18 ^{b,†}			

Legenda: TOS, Teste de organização sensorial; COP, centro de pressão; DP, Desvio padrão; Hz, Hertz. * Diferença significativa (p<0,05). a,b apresenta diferença no fator tempo. #,§,† apresenta diferença no fator condição

Em relação a amplitude de deslocamento do COP, quando as tentativas foram analisadas dividindo-as em três tempos (0-15s, 16-30s e 30-50s) para a comparação, foram encontradas diferenças significativas em relação as condições de teste em ambas direções, exceto entre o TOS 1 e 2. As diferenças não encontradas quando comparados o TOS 1 e 2, sugerem que a manipulação do sistema visual (supressão) não alterou a amplitude de deslocamento do COP quando os indivíduos estiveram em superfície fixa (sem almofada). Quando comparados os TOS 3 e 4 foram encontradas diferenças

significativas em ambas direções, demonstrando que a manipulação do sistema visual (supressão) alterou a amplitude de deslocamento do COP quando os indivíduos estiveram em superfície instável (com almofada). Pode-se observar que ao longo do tempo, quanto maior a manipulação dos sistemas de organização sensorial maior a amplitude de deslocamento do COP na manutenção do controle postural.

Com relação ao fator tempo, observou-se aumento significativo da amplitude de deslocamento a partir do último intervalo de tempo (31- 50s) em cada condição de teste em ambas direções. A medida que a coleta foi transcorrendo, dentro de cada condição de teste, os indivíduos apresentaram aumento da amplitude de deslocamento do COP. Os resultados demonstram que independente da condição de teste e da direção analisada, a amplitude de deslocamento aumenta com o passar do tempo de coleta.

Discussão

O objetivo do presente estudo foi avaliar a mediana da frequência e amplitude de deslocamento do COP ao longo do tempo durante a manipulação dos sistemas somatossensorial, vestibular e visual em indivíduos saudáveis, acreditando que ao longo do tempo a frequência de oscilação e a amplitude de deslocamento apresentassem valores maiores. Os resultados demonstram que independente da condição de teste e da direção analisada, a amplitude de deslocamento aumenta e a mediana da frequência diminui com o passar do tempo de coleta.

Quando a perturbação é causada por algum evento externo, o indivíduo apresenta condições de responder à perturbação organizando ajustes posturais reativos para diminuir os efeitos da perturbação sobre os deslocamentos de seu centro de massa (CM), e conseqüentemente, sobre seu controle postural. Quanto mais rápida for esta resposta, menor será o deslocamento do CM do corpo e, deste modo, será mais fácil e rápida a retomada do equilíbrio. As diferenças entre o CM e o COP são relacionadas à aceleração do corpo e, quanto menores as frequências de oscilação corpo, menores serão as diferenças entre essas duas grandezas^{10,11}.

No presente estudo, em relação às medianas das frequências, é possível observar que à medida que o tempo passa dentro de cada tentativa, durante os 60 segundos de coleta, a mediana da frequência diminui demonstrando uma menor periodicidade de oscilação do COP. Freitas et al. (2005) em seu estudo também observaram que indivíduos adultos apresentam um aumento da velocidade do COP com concomitante diminuição da frequência na direção mediolateral após 30min de manutenção da postura ereta. Com isso, é possível levantar a hipótese de que os deslocamentos de CM e do COP sejam correlatos durante períodos mais longos do controle postural, similaridade que manteria as baixas frequências de oscilação¹¹ sem interferir na velocidade do COP.

Carpenter et al. (2001) investigaram a duração da coleta e o comportamento das variáveis do COP no domínio do tempo e no domínio da frequência e observaram que a sensibilidade dessas variáveis ao longo da coleta pode estar relacionada a representação de componentes do espectro de frequência. Uma inspeção visual de uma forma de onda do COP de um único sujeito, registrada em 120 segundos, demonstrou que o sinal é composto por frequências baixas nas situações de grande amplitude de oscilação, sobrepostos com maior frequência e menores amplitudes de deslocamento. Os autores sugerem que em um período maior que 60 segundos de coleta a oscilação do indivíduo na direção AP pode ocorrer em baixas frequências, existindo uma possibilidade de tendência de diminuição das frequências com o decorrer do tempo.

Em relação as variáveis espaço temporais, observou-se aumento da amplitude de deslocamento do COP com o decorrer da coleta. O presente resultado está de acordo com o aumento do RMS encontrado por Carpenter et al. (2001), que representam um maior desvio do COP em relação ao ponto central e podem ser parcialmente entendidos como um aumento de oscilação do COP^{4,13}. Os resultados de Freitas et al. (2005) também reforçam os efeitos do tempo encontrados nas variáveis espaço temporais no presente estudo, o que pode significar um controle mais próximo dos limites da base de suporte^{14,15} ou uma capacidade de controle reduzido^{4,13}.

As informações encontradas no presente estudo podem ser importantes para os profissionais de saúde adequarem suas terapias aos déficits

específicos dos sistemas de controle postural. Clinicamente, a melhor compreensão da possível relação entre as tarefas a ser executadas e a frequência de oscilação poderia auxiliar na detecção e discriminação das alterações na manutenção do controle postural, permitindo uma investigação dos mecanismos de ajustes do controle postural e a verificação da eficácia dos programas de reabilitação.

Conclusão

Independente do teste de organização sensorial, a mediana da frequência do COP diminui ao longo do tempo no sentido anteroposterior (COPap) e a partir do ultimo intervalo de tempo (31-50s) no sentido mediolateral (COPml). A medida que a coleta foi transcorrendo, dentro de cada condição de teste, os indivíduos apresentaram diminuição da frequência de oscilação.

Em relação a amplitude de deslocamento do COP, a manipulação do sistema visual (supressão) não alterou a amplitude de deslocamento do centro de pressão apenas quando os indivíduos estiveram em superfície fixa (sem almofada). Ao longo do tempo, quanto maior a manipulação dos sistemas de organização sensorial maior a amplitude de deslocamento do centro de pressão (COP) para manter o controle postural. Os resultados demonstram que independente da condição de teste e da direção analisada, a amplitude de deslocamento aumenta com o passar do tempo de coleta.

Referências Bibliográficas

1. Duarte M, Freitas SMSF. Revisão sobre posturografia baseada em plataforma de força para avaliação do equilíbrio. Braz. J. Phys. Ther. 2010;14:183-92.
2. Vieira TMM, Oliveira LF, NadaL J. Estimation procedures affect the center of pressure frequency analysis. Braz J Med Biol Res. 2009; 42(7): 665-73
3. Michalak K, Przekoracka-Krawczyk, A, Naskręcki, R. Parameters of the crossing points between center of pressure and center of mass signals are potential markers of postural control efficiency. PLoS One. 2019;14(7): e0219460, 2019.
4. Palmieri RM et al. Center-of-pressure parameters used in the assessment of postural control. J. Sport Rehabil. 2002; 11(1):51-66.

5. Singh NB et al. The spectral content of postural sway during quiet stance: influences of age, vision and somatosensory inputs. *J. Electromyogr. Kin.* 2012; 22(1):131-6.
6. Demura S, Kitabayashi T, Noda M. Power spectrum characteristics of sway position and velocity of the center of pressure during static upright posture for healthy people. *Percept Mot Skills.* 2008 Feb;106(1):307-16.
7. Matsudo S. et al. Questionário internacional de atividade física (IPAQ): estudo de validade e reprodutibilidade no brasil. *Rev. Bras. Ativ. Fís. Saúde.* 2001;6(2):5-18.
8. Castagno LA. A new method for sensory organization testes: the foam-laser dynamic posturography. *Rev. Brasil. Otorrinolaringol.*60(4): 287-96, 1994
9. Freitas SMSF et al. Age-related changes in human postural control of prolonged standing. *Gait posture.* 2005;22(4):322-30.
10. Winter DA. Human balance and posture control during standing and walking. *Gait posture.* 1995;3(4):193-214.
11. Mochizuki L, Amadio AC. As funções do controle postural durante a postura ereta. *Fisioter. Pesqui.* 2003;10(1):7-15.
12. Carpenter MG et al. Sampling duration effects on centre of pressure summary measures. *Gait Posture.* 2001;13(1):35–40.
13. Quijoux F et al. A review of center of pressure (COP) variables to quantify standing balance in elderly people: Algorithms and open-access code. *Physiol. Reports.* 2021;9(22):e15067.
14. Pai Y; Patton J. Center of mass velocity-position predictions for balance control. *J. Appl. Biomech.* 1997; 30(4):347-54.
15. Bruijn SM et al. Assessing the stability of human locomotion: a review of current measures. *J. R. Soc. interface (Online).* 2013;10(83),20120999.

5 DISCUSSÃO GERAL

A avaliação do equilíbrio postural é amplamente utilizada para quantificar a capacidade do indivíduo manter-se na postura ereta quieta. Medidas como amplitude de deslocamento, velocidade e área da elipse são comumente utilizadas na determinação do controle postural (DUARTE, FREITAS, 2010). No entanto, a avaliação da contribuição de cada um dos subsistemas sensoriais para o entendimento do controle postural é uma análise que ainda carece de maiores investigações.

Os sistemas visual, vestibular e somatossensorial são primordiais para manutenção do controle postural (MOCHIZUI, AMADIO, 2006). No entanto, não se sabe em qual faixa de frequência esses sistemas apresentam maiores oscilações quando manipulados. A identificação dessas faixas de frequência permitiria estimar a importância de determinado sistema em diferentes tarefas, bem como identificar o sistema sensorial preferencial em um determinado ponto no tempo e se a dependência do mesmo muda com a tarefa.

A amostra do presente estudo foi composta por indivíduos de ambos os sexos, com idade entre 18 e 59 anos, IMC entre 18,5 e 29,9 kg/m², não sedentários e que não apresentavam alterações otológicas, queixa auditiva ou de tontura, histórico de quedas nos últimos 6 meses e não faziam uso de medicação ototóxica no intervalo dos últimos 3 meses. Além disso, para a realização das coletas, os indivíduos não poderiam ter realizado atividade física nas 24 horas antecedentes e não podiam apresentar queixas musculoesqueléticas durante as coletas.

.A manipulação da visão enquanto os indivíduos estavam em uma superfície estável (sem almofada) não aumentou a oscilação corporal, diferente de estudos que apontam aumento da oscilação quando a visão é eliminada, o ambiente de torna-se escuro ou a qualidade da informação visual é insuficiente (MOCHIZUI, AMADIO, 2006; PEREZ, GREEN, MOCHIZUKI, 2020). Além disso, a diminuição da acuidade visual ou aumento da distância entre o indivíduo e o cenário visual também podem provocar aumento da oscilação corporal (BARELA, 2000). Este achado pode ser explicado pelo fato que adultos podem não modificar suas respostas motoras após perturbações sensoriais em tarefas simples, como a capacidade de manter o equilíbrio estático, simplesmente recorrendo a estímulos provenientes de outros sistemas

sensoriais (SILVEIRA, PIVETTA, MOTA, 2017).

Quando observou-se a oscilação postural em diferentes instantes dentro de cada coleta, as variáveis espaço temporais do COP aumentaram sua amplitude de deslocamento, o que pode ser entendido como um aumento de oscilação do COP (PALMIERI, 2002; QUIJOUX et al. 2021). Esses efeitos do tempo encontrados nas variáveis espaço temporais no presente estudo, podem significar um controle mais próximo dos limites da base de suporte ou uma capacidade de controle reduzido.

Em relação ao comportamento das variáveis do COP no domínio da frequência em diferentes instantes dentro de cada coleta, os indivíduos apresentaram uma tendência a diminuição da frequência de oscilação postural nos instantes finais da coleta. Autores sugerem que em um período maior que 60 segundos de coleta a oscilação do indivíduo na direção AP pode ocorrer em baixas frequências, existindo uma possibilidade de tendência de diminuição das frequências com o decorrer do tempo.

A pesquisa que examina o método de análise da frequência não apresenta resultados definitivos quanto ao funcionamento de cada sistema sensorial. Embora medidas espaço-temporais baseadas em análises no domínio da frequência tenham sido razoavelmente bem-sucedidas na identificação de diferenças relacionadas a idade ou presença de patologias, permanecem questões quanto ao seu valor como potencial marcador para alterações do equilíbrio postural. Além disso, a variedade de escolhas na delimitação das faixas de frequência correspondentes aos sistemas somatossensorial, visual e vestibular, não apresentando uma unanimidade entre os autores, dificulta a padronização dos resultados e a comparação entre os estudos (KAPTEYN et al., 1983; PALMIERI et al., 2000; BIZID et al., 2009; KANEKAR, LEE, ARUIN, 2014; PAILLARD, NOÉ, 2015; SUZUKI et al. (2017).

Mesmo com as dificuldades de padronização dos resultados e a comparação entre os estudos, nos últimos anos alguns estudos utilizando a análise de frequência do COP começaram a ser descritos na literatura. Kanekar et al. (2014) avaliaram indivíduos com esclerose múltipla e a análise de frequência de deslocamento de COP foi considerada uma ferramenta importante para identificar as possíveis fontes de comprometimento do equilíbrio. Os autores destacaram que essa avaliação permite uma

investigação dos mecanismos de ajustes do controle postural e a verificação da eficácia dos programas de reabilitação do equilíbrio nesta população.

Singh et al. (2012) avaliaram um grupo de adolescentes e idosos de ambos os sexos por meio da análise de frequência de deslocamento de COP em relação ao tempo durante a postura ereta quieta e encontraram diferença entre os grupos e entre sexos no grupo de idosos, sugerindo que as oscilações no conteúdo espectral da frequência de oscilação médio-lateral e ântero-posterior podem ser mais sensíveis às mudanças nos sistemas somatossensorial e visual, respectivamente. Da mesma forma, os autores sugerem que as informações sobre a distribuição da variabilidade em diferentes frequências não só ajudariam a distinguir os efeitos de várias modalidades sensoriais na oscilação, mas também na concepção de programas de reabilitação específicos do paciente visando melhorar o controle postural.

Para Gilfriche et al. (2018) a análise do espectro de frequência pode abrir caminhos para marcadores sistemáticos de frequências específicas, que podem ser úteis em diversos campos da área da reabilitação demonstrando que as estratégias de controle postural podem ser melhor compreendidas e quantificadas usando expoentes específicos das faixas de frequência.

As informações encontradas no presente estudo podem ser importantes para os profissionais de saúde adequarem suas terapias aos déficits específicos dos sistemas de controle postural. Clinicamente, a melhor compreensão da possível relação entre as tarefas a ser executadas e a frequência de oscilação poderia auxiliar na detecção e discriminação das alterações na manutenção do controle postural, permitindo uma investigação dos mecanismos de ajustes do controle postural e a verificação da eficácia dos programas de reabilitação.

6 CONCLUSÃO

Diante do exposto, conclui-se que as variáveis de deslocamento e as frequências de oscilação do COP sofrem influência da manipulação dos sistemas sensoriais, exceto na supressão da visão em superfície estável, onde o controle postural não foi alterado. Dessa forma, em superfície estável a supressão da visão não altera o controle postural. Todas as respostas de controle da postura foram similares entre homens e mulheres, não indicando que o sexo exerce influência nessa variável. Em relação ao tempo de coleta, a medida que a coleta foi transcorrendo, dentro de cada condição de teste, os indivíduos apresentaram diminuição da frequência de oscilação e aumento da amplitude de deslocamento do COP.

REFERÊNCIAS

- BARELA, A.; DUARTE, M. Utilização da plataforma de força para aquisição de dados cinéticos durante a marcha humana. **Brazilian Journal of Motor Behavior**, v. 6, n. 1, p. 56-61, 2011.
- BIZID, R. et al. Effects of fatigue induced by neuromuscular electrical stimulation on postural control. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v.12, n., p. 60-66, 2009.
- BOONSINSUKH, R. et al. The effect of the type of foam pad used in the modified Clinical Test of Sensory Interaction and Balance (mCTSIB) on the accuracy in identifying older adults with fall history. **Hong Kong Physiotherapy Journal**, v. 40, n. 02, p. 133-143, 2020.
- BRUIJN, S. M. et al. Assessing the stability of human locomotion: a review of current measures. **Journal of the Royal Society Interface**, v. 10, n. 83, p. 20120999, 2013.
- Buchanan ZZ, Horak FB. Voluntary control of postural equilibrium patterns. **Behavioural Brain Research**. v. 143, n. 2, p. 121-40, 2003
- Buchanan ZZ, Horak FB. Emergence of postural patterns as a function of vision and translation frequency. **Journal Neurophysiology**. v. 81, n. 5, p. 2325 -39.
- CARPENTER, M. G. et al. Sampling duration effects on centre of pressure summary measures. **Gait & Posture**. v. 13, n. 1, p. 35–40, 2001.
- CASTAGNO, L. A. A new method for sensory organization testes: the foam-laser dynamic posturography. **Revista Brasileira de Otorrinolaringologia**; v. 60, n.4, p. 287-96, 1994.
- CHARRO, M. A. et al. **Manual de avaliação física**. São Paulo: Phorte, 2010. 424 p.
- CRÉTUAL A. Which biomechanical models are currently used in standing posture analysis? *Clin. neurophysiol.* 2015; 45 (4-5): 285–95.
- DANIELS, K. A. J. et al. The use of continuous spectral analysis for the assessment of postural stability changes after sports-related concussion. **Journal of biomechanics**, v. 97, n. 3, p. 109400, 2019.
- DEMURA, S.; KITABAYASHI, T.; NODA, M. Power spectrum characteristics of sway position and velocity of the center of pressure during static upright posture for healthy people. **Perceptual and motor skills**, v. 106, n. 1, p. 307-316, 2008.
- DUARTE, M.; FREITAS, S.M.S.F. Revisão sobre posturografia baseada em plataforma de força para avaliação do equilíbrio. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, v. 14, n. 3, p. 183-192, 2010.

FREITAS, S.M.S.F.; PRADO, J. M.; DUARTE, M. The use of a safety harness does not affect body sway during quiet standing. **Clinical Biomechanics**, v. 20, n. 3, p. 336–339, 2005.

FREITAS, S.M.S.F et al. Age-related changes in human postural control of prolonged standing. **Gait & posture**, v. 22, n. 4, p. 322-330, 2005.

GOSSELIN, G.; RASSOULIAN, H.; BROWN, I. Effects of neck extensor muscles fatigue on balance. **Clinical Biomechanics**, v. 19, n. 5, p. 473-479, 2004.

HAMILL, H.; KNUTZEN, K. M. Bases biomecânicas do movimento humano. São Paulo: Ed. Manole, 2008

HERDMAN, S. J. **Reabilitação Vestibular**. São Paulo: Ed. Manole, 2002.

HORAK F. Clinical assessment of balance disorders. **Gait posture**. v. 6, n. 1, p. 76–84, 1997.

HWANG, S. et al. Dynamic reweighting of three modalities for sensor fusion. **PloS one**, v. 9, n. 1, p. e88132, 2014.

GILFRICHE, P. et al. Frequency-specific fractal analysis of postural control accounts for control strategies. **Frontiers in Physiology**. v. 9, p 1–15, 2018.

IONESCU, E. et al. Vestibular assessment with Balance Quest Normative data for children and young adults. **International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology**, v. 70, n.8, p. 1457-1465, 2006.

KANEKAR, N.; LEE, Y. J.; ARUIN, A. S. Frequency analysis approach to study balance control in individuals with multiple sclerosis. **Journal of Neuroscience Methods**, v. 222, p. 91- 96, 2014

KAPTEYN, T.S.; BLES, W.; NJIOKIKTJIEN, C.J. et al. Standardization in platform stabilometry being a part of posturography. **Agressologie**. v.4, n.7, p. 321–326, 1983.

KOLTERMANN, J. J.; BECK, H.; BECK, M. Investigation of the Correlation between Factors Influencing the Spectrum of Center of Pressure Measurements Using Dynamic Controlled Models of the Upright Stand and Subject Measurements. **Applied Sciences**. v.10, n.11, p. 374, 2020.

LOTH, E. A et al. Avaliação do Controle Postural em Adultos Jovens Através da Posturografia Dinâmica Foam-Laser e Plataforma de Força. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**. v. 17, n. 3, p. 171-74, 2011.

LOTH, E.A et al. Avaliação da influência do sistema vestibular no equilíbrio de adultos jovens através de posturografia dinâmica foam-laser e plataforma de força. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**. v. 29, n. 1, p. 57-64, 2008.

MACEDO, Camila et al. Posturografia em idosos com distúrbios vestibulares e quedas. **ABCS Health Sciences**, v. 38, n. 1, 2013.

MATSUDO, S. et al. Questionário internacional de atividade física (IPAQ): estudo de validade e reprodutibilidade no brasil. **Revista Brasileira de Atividade Física e Saúde**. v. 6, n. 2, p. 5-18, 2001.

MCCOLLUM G., SHUPERT C.L., NASHNER L.M. Organizing sensory information for postural control in altered sensory environments. **Journal Theoretical Biology**, 180 (3):257-70, 1996

MICHALAK, K. P.; PRZEKORACKA-KRAWCZYK, A.; NASKRĘCKI, R. Parameters of the crossing points between center of pressure and center of mass signals are potential markers of postural control efficiency. **PLoS One**. v. 14, n. 7, p. e0219460, 2019.

MOCHIZUKI, Luis; AMADIO, Alberto Carlos. As funções do controle postural durante a postura ereta. **Fisioterapia e Pesquisa**, v. 10, n. 1, p. 7-15, 2003.

MOCHIZUKI, L.; AMADIO C. A. As informações sensoriais para o controle postural. **Fisioterapia em Movimento**, v.19, n.2, p. 11-18, 2006.

TEIXEIRA, C. S.; KÖRBES, D.; ROSSI, A. G. Ruído e equilíbrio: aplicação da posturografia dinâmica em indústria gráfica. **Revista CEFAC**. v.13, n. 1, p. 92-101, 2011.

PAI Y, PATTON J. Center of mass velocity-position predictions for balance control. **Journal of biomechanics**, v. 30, n. 4, p. 347-354, 1997.

PAILLARD T, NOÉ F. Techniques and Methods for Testing the Postural Function in Healthy and Pathological Subjects. **BioMed Research International**. 2015

PALMIERI, R. M. et al. Center-of-pressure parameter sused in the assessment of postural control. **Journal of Sport Rehabilitation**. v.11, n. 1, p. 51-66, 2002.

PEREZ, O. H.; GREEN, R. E.; MOCHIZUKI, G. Spectral analysis of centre of pressure identifies altered balance control in individuals with moderate-severe traumatic brain injury, **Disability and Rehabilitation**, v.42, n.4, p. 519-527, 2020.

PETERKA, R. J. Sensorimotor Integration in Human Postural Control. **Journal Neurophysiology**, v. 88, p. 1097 – 1118, 2002.

QUIJOUX, F. et al. A review of center of pressure (COP) variables to quantify standing balance in elderly people: Algorithms and open-access code. **Physiological reports**, v. 9, n. 22, p. e15067, 2021.

SINGH, et al. The spectral content of postural sway during quiet stance: influences of age, vision and somatosensory inputs. **Journal of Electromyography Kinesiology**.v. 22, n. 1, p. 131–136, 2012.

- SHUMWAY-COOK, A.; WOOLLACOTT, M. H. **Controle Motor: Teoria e aplicações práticas**. São Paulo: Ed. Manole, 2010.
- SILVEIRA, M. C. ; PIVETTA, F. M. ; MOTA, C. B. . Adultos fisicamente ativos podem controlar seu equilíbrio mesmo em supressão visual. **Revista Perspectiva: Ciência e Saúde** , v. 2, p. 4-12, 2017.
- SOARES, J. C. et al. Influência da dor no controle postural de mulheres com dor cervical. **Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**. v.15, n.3, p. 371-381, 2013.
- STANEK, J. M.; MEYER, J.; LYNALL, R. Single-limb-balance difficulty on 4 commonly used rehabilitation devices. **Journal of Sport Rehabilitation**, v. 22, n. 4, p. 288-295, 2013.
- SUZUKI, M et al. Frequency analysis of the center of pressure in tandem stance in community-dwelling elderly. **Journal of physical therapy science**, v. 29, n. 5, p. 828-831, 2017.
- THOMAS, J. R.; NELSON, J. K. Silverman. **Métodos de Pesquisa em Atividade Física**. Tradução: Ricardo Demétrio de Souza Petersen. 6ª ed., Porto Alegre: Artmed, 478p, 2012.
- WINTER, D. A. Human balance and posture control during standing and walking. **Gait & posture**, v. 3, n. 4, p. 193-214, 1995.

ANEXO A - QUESTIONÁRIO INTERNACIONAL DE ATIVIDADE FÍSICA (IPAQ)



QUESTIONÁRIO INTERNACIONAL DE ATIVIDADE FÍSICA – VERSÃO CURTA -

Nome: _____
Data: ____/____/____ Idade : ____ Sexo: F () M ()

Nós estamos interessados em saber que tipos de atividade física as pessoas fazem como parte do seu dia a dia. Este projeto faz parte de um grande estudo que está sendo feito em diferentes países ao redor do mundo. Suas respostas nos ajudarão a entender que tão ativos nós somos em relação à pessoas de outros países. As perguntas estão relacionadas ao tempo que você gasta fazendo atividade física na **ÚLTIMA** semana. As perguntas incluem as atividades que você faz no trabalho, para ir de um lugar a outro, por lazer, por esporte, por exercício ou como parte das suas atividades em casa ou no jardim. Suas respostas são **MUITO** importantes. Por favor responda cada questão mesmo que considere que não seja ativo. Obrigado pela sua participação !

Para responder as questões lembre que:

- atividades físicas **VIGOROSAS** são aquelas que precisam de um grande esforço físico e que fazem respirar **MUITO** mais forte que o normal
- atividades físicas **MODERADAS** são aquelas que precisam de algum esforço físico e que fazem respirar **UM POUCO** mais forte que o normal

Para responder as perguntas pense somente nas atividades que você realiza **por pelo menos 10 minutos contínuos** de cada vez.

1a Em quantos dias da última semana você **CAMINHOU** por pelo menos 10 minutos contínuos em casa ou no trabalho, como forma de transporte para ir de um lugar para outro, por lazer, por prazer ou como forma de exercício?

dias ____ por **SEMANA** () Nenhum

1b Nos dias em que você caminhou por pelo menos 10 minutos contínuos quanto tempo no total você gastou caminhando **por dia**?

horas: ____ Minutos: ____

2a. Em quantos dias da última semana, você realizou atividades **MODERADAS** por pelo menos 10 minutos contínuos, como por exemplo pedalar leve na bicicleta, nadar, dançar, fazer ginástica aeróbica leve, jogar vôlei recreativo, carregar pesos leves, fazer serviços domésticos na casa, no quintal ou no jardim como varrer, aspirar, cuidar do jardim, ou qualquer atividade que fez aumentar

moderadamente sua respiração ou batimentos do coração (**POR FAVOR NÃO INCLUA CAMINHADA**)

dias _____ por **SEMANA** () Nenhum

2b. Nos dias em que você fez essas atividades moderadas por pelo menos 10 minutos contínuos, quanto tempo no total você gastou fazendo essas atividades por dia?

horas: _____ Minutos: _____

3a Em quantos dias da última semana, você realizou atividades **VIGOROSAS** por pelo menos 10 minutos contínuos, como por exemplo correr, fazer ginástica aeróbica, jogar futebol, pedalar rápido na bicicleta, jogar basquete, fazer serviços domésticos pesados em casa, no quintal ou cavoucar no jardim, carregar pesos elevados ou qualquer atividade que fez aumentar **MUITO** sua respiração ou batimentos do coração.

dias _____ por **SEMANA** () Nenhum

3b Nos dias em que você fez essas atividades vigorosas por pelo menos 10 minutos contínuos quanto tempo no total você gastou fazendo essas atividades por dia?

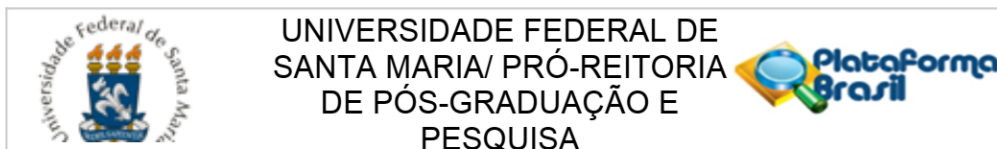
horas: _____ Minutos: _____

Estas últimas questões são sobre o tempo que você permanece sentado todo dia, no trabalho, na escola ou faculdade, em casa e durante seu tempo livre. Isto inclui o tempo sentado estudando, sentado enquanto descansa, fazendo lição de casa visitando um amigo, lendo, sentado ou deitado assistindo TV. Não inclua o tempo gasto sentando durante o transporte em ônibus, trem, metrô ou carro.

4a. Quanto tempo no total você gasta sentado durante um **dia de semana**?
_____ horas _____ minutos

4b. Quanto tempo no total você gasta sentado durante em um **dia de final de semana**?
_____ horas _____ minutos

ANEXO B - PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DA OSCILAÇÃO POSTURAL DURANTE A MANIPULAÇÃO DOS SISTEMAS SOMATOSSENSÓRIAL, VESTIBULAR E VISUAL

Pesquisador: Aron Ferreira da Silveira

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 50782121.8.0000.5346

Instituição Proponente: Universidade Federal de Santa Maria/ Pró-Reitoria de Pós-Graduação e

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

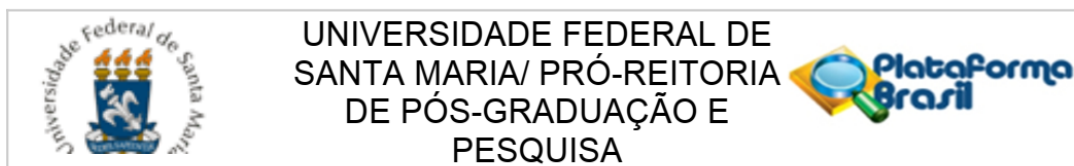
DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 4.992.432

Apresentação do Projeto:

Projeto de pesquisa vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Distúrbios da Comunicação Humana da UFSM. Trata-se de uma pesquisa experimental do tipo transversal. A manutenção do equilíbrio postural ocorre por meio da atuação do sistema de controle postural e qualquer comprometimento desse sistema pode dar origem ao desequilíbrio corporal. A análise de frequência da oscilação postural tem sido bastante utilizada na avaliação do controle postural. A capacidade de identificar uma faixa de frequência na qual cada sistema funciona permitiria estimar qual sistema seria o mais importante para diferentes tarefas. Objetiva avaliar a oscilação postural por meio da análise de frequência durante a manipulação dos sistemas somatossensorial, vestibular e visual em indivíduos saudáveis. A amostra do presente estudo será composta por indivíduos de ambos os sexos, com idade entre 18 e 59 anos. Para a comparação entre as idades os indivíduos serão estratificados em três faixas etárias, dos 18 até os 30 anos, dos 30 até os 45 anos e dos 45 anos até os 59 anos. A amostra será selecionada de forma não aleatória, a partir da voluntariedade dos sujeitos. O estudo será divulgado na mídia eletrônica por meio do site da UFSM, bem como na mídia impressa em jornais da cidade, cartazes e comunicação oral junto aos serviços de saúde públicos e privados da cidade de Santa Maria - RS. Para a coleta dos dados referentes ao controle postural serão utilizadas de forma concomitante, a posturografia dinâmica e a plataforma de força, onde serão avaliadas a mediana das frequências presentes nos sinais do

Endereço: Avenida Roraima, 1000 - Prédio da Reitoria - 7º andar - sala 763 - Sala Comitê de Ética - 97105-900 - Santa
Bairro: Camobi **CEP:** 97.105-970
UF: RS **Município:** SANTA MARIA
Telefone: (55)3220-9362 **E-mail:** cep.ufsm@gmail.com



Continuação do Parecer: 4.992.432

Centro de pressão (COP) nas direções ântero-posterior e médio-lateral do COPO. Estatísticas descritivas e testes de normalidade serão determinados para todas as variáveis. O projeto apresenta Introdução, Revisão de literatura, metodologia, Recursos financeiros e Referências e Apêndices.

Objetivo da Pesquisa:

OBJETIVO GERAL: avaliar a oscilação postural por meio da análise de frequência durante a manipulação dos sistemas somatossensorial, vestibular e visual em indivíduos saudáveis.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o espectro de frequência em relação ao tempo (0-10s; 10-20s; 20s-30s) durante a manipulação dos sistemas.
- Avaliar o espectro de frequência em relação as faixas de frequência (0-0,3 Hz); 0,3-1Hz; 1-3 Hz) durante a manipulação dos sistemas.
- Comparar a oscilação postural por meio da análise da frequência em relação ao tempo.
- Comparar a oscilação postural por meio da análise das faixas de frequências.
- Comparar a oscilação postural por meio da análise de frequência estratificando o sexo e as faixas etárias.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos: durante as avaliações não haverá qualquer desconforto, mas existe a possibilidade de quedas. Contudo, os pesquisadores responsáveis pela coleta de dados estarão posicionados ao lado do sujeito da coleta. Este estudo não apresenta riscos ou desconfortos, além daqueles mínimos esperados em uma avaliação, como por exemplo, o cansaço e o tempo de espera.

Benefícios: os benefícios desta pesquisa se dão na medida em que a identificação de possíveis alterações de equilíbrio corporal e postura poderão auxiliar no tratamento e melhora de sua saúde dos indivíduos.

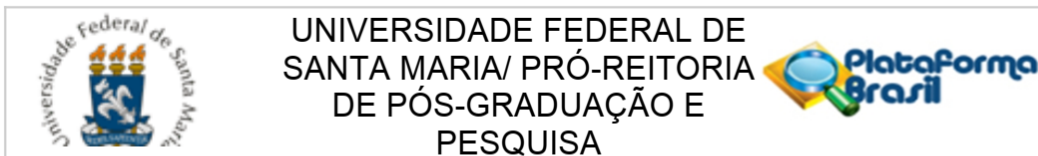
Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

- Apresenta autorização institucional do cenário do estudo.
- Apresentou comprovação de registro no Gabinete de Projetos da Instituição de ensino.

Endereço: Avenida Roraima, 1000 - Prédio da Reitoria - 7º andar - sala 763 - Sala Comitê de Ética - 97105-900 - Santa
Bairro: Camobi **CEP:** 97.105-970
UF: RS **Município:** SANTA MARIA
Telefone: (55)3220-9362 **E-mail:** cep.ufsm@gmail.com



Continuação do Parecer: 4.992.432

- Apresentou termo de confidencialidade devidamente assinado pelo pesquisador responsável.
- Apresenta TCLE.

Recomendações:

.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

.

Considerações Finais a critério do CEP:

Veja no site do CEP - <https://www.ufsm.br/pro-reitorias/prpgp/cep/> - modelos e orientações para apresentação dos documentos. ACOMPANHE AS ORIENTAÇÕES DISPONÍVEIS, EVITE PENDÊNCIAS E AGILIZE A TRAMITAÇÃO DO SEU PROJETO.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1754504.pdf	17/09/2021 14:20:49		Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	autorizacaolabiomec.pdf	17/09/2021 14:20:31	Aron Ferreira da Silveira	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.pdf	17/09/2021 14:20:14	Aron Ferreira da Silveira	Aceito
Outros	relatoriogap.pdf	13/08/2021 15:13:29	Aron Ferreira da Silveira	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projeto.pdf	13/08/2021 15:10:18	Aron Ferreira da Silveira	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Confidencialidade.pdf	13/08/2021 15:09:21	Aron Ferreira da Silveira	Aceito
Folha de Rosto	folharosto.pdf	30/07/2021 11:16:11	Aron Ferreira da Silveira	Aceito

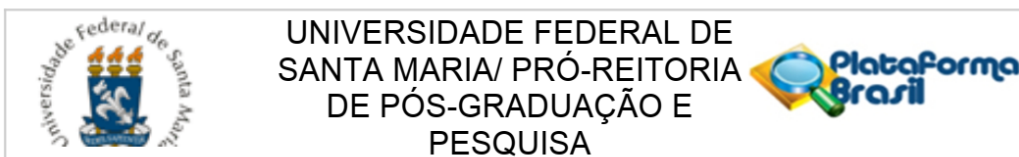
Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Endereço: Avenida Roraima, 1000 - Prédio da Reitoria - 7º andar - sala 763 - Sala Comitê de Ética - 97105-900 - Santa
Bairro: Camobi **CEP:** 97.105-970
UF: RS **Município:** SANTA MARIA
Telefone: (55)3220-9362 **E-mail:** cep.ufsm@gmail.com



UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SANTA MARIA/ PRÓ-REITORIA
DE PÓS-GRADUAÇÃO E
PESQUISA

Continuação do Parecer: 4.992.432

SANTA MARIA, 23 de Setembro de 2021

Assinado por:
CLAUDEMIR DE QUADROS
(Coordenador(a))

Endereço: Avenida Roraima, 1000 - Prédio da Reitoria - 7º andar - sala 763 - Sala Comitê de Ética - 97105-900 - Santa
Bairro: Camobi **CEP:** 97.105-970
UF: RS **Município:** SANTA MARIA
Telefone: (55)3220-9362 **E-mail:** cep.ufsm@gmail.com

APÊNDICEA -TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Título do estudo: Análise de frequência da oscilação postural durante a manipulação dos sistemas somatossensorial, vestibular e visual

Pesquisador(es) responsável(is): Juliana Corrêa Soares e Prof. Dr. Aron Silveira

Instituição/Departamento: UFSM, Programa de Pós Graduação em Distúrbios Da Comunicação Humana, Departamento de Morfologia

Telefone e endereço postal completo: (55) 3220-8239. Av. Roraima nº 1000, Prédio 19, Cidade Universitária – Camobi, Santa Maria-RS

Local da coleta de dados: Laboratório de Biomecânica do Centro de Educação Física e Desporto (CEFD-UFSM)

O Curso de Pós-graduação em Distúrbios da Comunicação Humana desenvolverá um projeto de pesquisa que tem por objetivo avaliar a oscilação postural por meio da análise de frequência durante a manipulação dos sistemas somatossensorial, vestibular e visual. Este estudo será realizado pela doutoranda Juliana Corrêa Soares, sob supervisão do Prof. Dr. Aron Ferreira da Silveira.

Para participar do estudo, primeiramente você irá responder a algumas perguntas referentes à sua constituição corporal (peso e altura). Você responderá a algumas perguntas relacionadas aos seus hábitos e características individuais como idade, sexo, uso de cigarro, consumo de bebidas alcoólicas, jornada de trabalho, entre outras. Em seguida você passará pela avaliação do equilíbrio através da plataforma de força onde você ficará em pé com os olhos abertos e depois com os olhos fechados durante sessenta segundos e logo em seguida em cima de almofada.

Durante essas avaliações não haverá qualquer desconforto, mas existe a possibilidade de quedas. Contudo, os pesquisadores responsáveis pela coleta de dados estarão posicionados ao seu lado e sempre atentos para zelar por sua integridade física. Você não será identificada em nenhum momento, sendo respeitada a sua privacidade e o material coletado ficará disponível a sua pessoa em qualquer momento, sendo guardado sob a responsabilidade dos pesquisadores em computador pessoal por 5 anos e logo após esse período destruído. Este estudo não apresenta riscos ou desconfortos, além daqueles mínimos esperados em uma avaliação, como por exemplo, o cansaço e o tempo de espera. Os benefícios que você terá em participar desta pesquisa se dão na medida em que a identificação de possíveis alterações de equilíbrio corporal e postura poderão auxiliar no tratamento e melhora de sua saúde.

O transporte até o local da pesquisa será por sua conta e não haverá despesas pessoais para você durante as avaliações. Também não há compensação financeira relacionada a sua participação. Qualquer despesa adicional com as coletas, ela será absorvida pelo orçamento da pesquisa.

Acredito ter sido suficientemente informado a respeito das informações que li ou que foram lidas para mim, descrevendo o estudo "Análise de frequência da oscilação postural durante a manipulação dos sistemas somatossensorial, vestibular e visual". Ficaram claros para mim quais são os propósitos do estudo, os procedimentos a serem realizados, seus desconfortos e riscos, as garantias de confidencialidade e de esclarecimentos permanentes. Ficou claro também que minha participação é isenta de despesas, apenas meu transporte até o local da pesquisa será por minha responsabilidade. Concordo voluntariamente em participar deste estudo e poderei retirar o meu consentimento a qualquer momento, antes ou durante o mesmo, sem penalidades ou prejuízo ou perda de qualquer benefício que eu possa ter adquirido, ou no meu atendimento neste serviço.

Santa Maria, _____ de _____ 202__.

Assinatura do voluntário

Assinatura do responsável pela obtenção do TCLE

APÊNDICE B- TERMO DE CONFIDENCIALIDADE

TERMO DE CONFIDENCIALIDADE

Título do projeto: Análise de frequência da oscilação postural durante a manipulação dos sistemas somatossensorial, vestibular e visual

Pesquisador responsável: Prof. Dr. Aron Ferreira da Silveira

Doutoranda: Juliana Corrêa Soares

Instituição: Universidade federal de Santa Maria- UFSM

Telefone para contato: (55) 3220-8239

Local da coleta de dados: Laboratório de Biomecânica do Centro de Educação Física e Desporto (CEFD-UFSM)

Os responsáveis pelo presente projeto se comprometem a preservar a confidencialidade dos dados dos participantes envolvidos no trabalho, que serão coletados por meio de anamnese e da avaliação do equilíbrio postural, no período de dezembro de 2021 a julho de 2022. Informam, ainda, que estas informações serão utilizadas, única e exclusivamente, no decorrer da execução do presente projeto e que as mesmas somente serão divulgadas de forma anônima, bem como serão mantidas no seguinte local: Av. Roraima nº 1000, Prédio 19, Cidade Universitária – Camobi, Santa Maria-RS, por um período de cinco anos, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Aron Ferreira da Silveira. Após este período os dados serão destruídos.

Este projeto de pesquisa foi revisado e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da UFSM em/...../....., com o número de registro Caae

Santa Maria,.....dede 20.....

.....

Assinatura do pesquisador responsável

APÊNDICE C- FICHA DE ENTREVISTA INICIAL**FICHA DE ENTREVISTA INICIAL**

Nome: _____

Idade: _____

DN: ____/____/____

Nível de Escolaridade _____

Telefone: _____

Endereço: _____

Função ocupacional: _____

Quanto tempo na função ocupacional: _____

Carga horária de trabalho: _____

Tem algum problema de saúde? _____

Faz uso de medicamentos? () Não () Sim

Qual(is)? _____

Faz uso do cigarro?() Não () Sim Se sim, a quanto tempo? _____

Faz uso de bebidas alcoólicas? () Não () Sim Se sim, a quanto tempo? _____

Tem alguma queixa de tontura? () Não () Sim

Tem alguma queixa de desequilíbrio? () Não () Sim

Tem alguma queixa auditiva? Quais? _____