

## COMPARAÇÃO ENTRE DESCRITORES CLÁSSICOS E DFA NO CONTROLE POSTURAL DE JOVENS E IDOSOS

R. C. Barbosa\*, E. J. Fernandes \*, I. S. Avelar\*, T. Bizinotto\* e M. F. Vieira\*

\*Lab. de Bioengenharia e Biomecânica, Faculdade de Educação Física, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil  
e-mail: marcus.fraga.vieira@gmail.com

**Resumo:** Estudar os mecanismos de controle postural de sujeitos jovens e idosos pode fornecer informações úteis sobre como estes mecanismos podem ser comprometidos com o processo de envelhecimento. Para estudar o sistema de controle postural pode-se analisar o comportamento do Centro de Pressão (CP). O objetivo desse estudo foi comparar o controle postural de sujeitos jovens e idosos e verificar a capacidade da *Detrended Fluctuation Analysis* em discriminar diferenças no controle postural de tais grupos, comparando os resultados obtidos com a análise das variáveis clássicas. Ambos os métodos de análise do CP conseguiram indicar diferenças significativas entre os grupos.

**Palavras-chave:** Controle postural, centro de pressão, equilíbrio, *Detrended Fluctuation Analysis*.

**Abstract:** *Studying the mechanisms of postural control in young and elderly subjects can provide useful information about how these mechanisms are impaired during the aging process. To study the postural control system, we can analyze the behavior of the Center of Pressure (CP). The aim of this study was to compare the postural control of young and elderly subjects and to verify the ability of Detrended Fluctuation Analysis to discriminate the differences in the postural control of these groups, comparing the results with those obtained from the analysis of classical CP variables. Both methods of analysis of the CP were able to indicate significant differences between groups.*

**Keywords:** *Postural control, center of pressure, balance, Detrended Fluctuation Analysis.*

### Introdução

Alterações na estabilidade corporal de idosos estão associadas a um grande risco de quedas, e suas consequentes sequelas [1]. Uma forma de contribuir na identificação de idosos com riscos de quedas é estudar os mecanismos de controle postural através da análise da estabilidade postural de tais sujeitos que pode fornecer informações úteis sobre como tais mecanismos são comprometidos com o processo de envelhecimento [2]. Uma técnica utilizada para medir a oscilação corporal e assim avaliar a estabilidade postural é a posturografia [3], sendo a medida mais comumente utilizada na avaliação do controle postural o comportamento do Centro de Pressão (CP), o ponto de

aplicação das forças verticais resultantes que atuam sobre a superfície de suporte, sendo seu deslocamento um resultado coletivo do sistema de controle postural e da força da gravidade [4].

Na análise posturográfica há diferentes tipos de técnicas de parametrização dos dados obtidos [3]. Novas técnicas analíticas têm sido desenvolvidas com o intuito de ir além da caracterização das propriedades brutas da oscilação postural [5]. Tais métodos procuram identificar subunidades nos dados posturográficos e tentam relacioná-los aos processos de controle motor [6]. Uma dessas técnicas introduzida por Peng et al. [7] é conhecida como Análise das Flutuações Destendencionadas (*Detrended Fluctuation Analysis* - DFA), que fornece um expoente de escala, que pode fornecer informações sobre as propriedades de correlação do sinal, permitindo-nos descobrir a presença de correlações de longa duração ainda que as aparentes séries temporais sejam não-estacionárias [8].

Algumas mudanças que ocorrem no sistema de controle postural devido ao processo de envelhecimento podem ser retratadas no deslocamento do CP. Por esta razão um grande número de estudos que comparam o controle postural de jovens e idosos podem ser encontrados [9],[2],[10],[11]. A capacidade das técnicas modernas para indicar diferenças entre indivíduos com relação a idade ou risco de queda ainda não está clara, portanto, justifica-se a identificação de técnicas analíticas mais sensíveis às deteriorações dos sistemas de controle postural [11]. Com o intuito de contribuir com estudos que utilizam medidas baseadas no CP para avaliar estabilidade postural o objetivo desse estudo foi comparar os mecanismos de controle postural de sujeitos idosos com jovens com e sem o auxílio das informações visuais e verificar a capacidade da DFA em discriminar diferenças no controle postural de tais grupos, comparando os resultados obtidos com a análise das variáveis clássicas.

### Materiais e métodos

**Amostra/População** – A amostra do estudo foi composta por 14 indivíduos, sete sujeitos idosos, quatro mulheres e três homens (idade  $69,0 \pm 4,7$  anos, massa  $61,86 \pm 7,74$  kg e altura  $1,58 \pm 0,14$  m) que compunham o Grupo 1 (G1) e sete jovens, três mulheres e quatro homens (idade  $25,00 \pm 1,53$  anos, massa  $68,25 \pm 9,89$  kg e altura  $1,73 \pm 0,09$  m) que fizeram parte do Grupo 2

(G2). Os indivíduos idosos foram selecionados dentro de um grupo que recebia atendimento no Programa Estratégia de Saúde da Família (ESF) da cidade de Professor Jamil – Goiás. Os indivíduos jovens foram selecionados entre estudantes da Universidade Federal de Goiás. Os critérios de inclusão foram: ter idade entre 60 e 80 anos para o grupo G1 e entre 18 e 27 anos para o grupo G2. Os critérios de exclusão foram: ter algum comprometimento cognitivo que impedisse a compreensão das orientações dadas pelo pesquisador, ter algum comprometimento motor ou fazer uso de dispositivo de auxílio à postura ereta ou marcha e apresentar diagnóstico de alguma doença incapacitante.

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Goiás (UFG), sob o número 093/13. Todos os participantes foram esclarecidos sobre os procedimentos da pesquisa e assinaram o Termo de Consentimento Livre Esclarecido.

**Instrumento para Coleta de Dados** – Foram utilizadas duas plataformas de força da AMTI (Accugait, 2012). Os dados foram adquiridos a uma frequência de amostragem de 100 Hz e filtrados por um filtro *Butterworth* de quarta ordem, passa-baixa de fase zero e frequência de corte de 12Hz.

**Procedimentos** – Sobre a plataforma de força, os participantes permaneceram na postura ortostática, mantendo-se o mais estático possível por 70 segundos, com afastamento autoselecionado dos pés. O procedimento foi repetido três vezes com os olhos abertos (OA) e três vezes com os olhos fechados (OF).

**Análise dos Dados** – Após descartados os 10 s iniciais, foram analisados deslocamentos do CP na direção anteroposterior (AP) e mediolateral (ML). Os resultados foram expressos em média e desvio padrão. Para realizar a análise dos dados foram utilizados alguns métodos clássicos no domínio do tempo e da frequência e a DFA.

As variáveis clássicas utilizadas foram: comprimento da trajetória do CP sobre a base de suporte, chamada de percurso total do CP (DTOT), a velocidade média (VEL), que determina quão rápidos foram os deslocamentos do CP, área da oscilação do CP, que é a área de uma elipse que engloba 95% das amostras do CP [3] e a F80 que é a frequência a 80% da potência total do sinal obtida a partir do espectro de frequência estimado através da Transformada de Fourier [9].

A DFA é uma ferramenta para a análise de sinais aleatórios e estima um expoente  $\alpha$  que pode caracterizar a natureza de séries temporais. As séries temporais dos deslocamentos do CP  $d_{cop}$ , são divididas em intervalos de comprimento  $\tau$ , das quais são subtraídas a média da série original,  $d_{cop\tau}$  (1). Uma função  $y(n)$  e um modelo linear  $z(n)$  são calculados (2-3), onde  $a$  e  $b$  são os coeficientes angular e linear do modelo obtidos através do ajuste dos mínimos quadrados para este intervalo, e  $n$  é a amostra atual.

$$d_{cop\tau} = \frac{1}{\tau} \sum_{i=1}^{\tau} d_{cop}(i) \quad (1)$$

$$y(n) = \sum_{i=1}^n (d_{cop}(i) - d_{cop\tau}) \quad (2)$$

$$z(n) = an + b \quad (3)$$

A função de flutuação  $FF(k)$  para cada intervalo  $k$  (4), é calculada, onde  $1 \leq k \leq N/\tau$ ,  $N$  é o número total de amostras. Então  $FF(k)$  é estimado para cada intervalo (5) [11].

$$FF(k) = \sqrt{\frac{1}{\tau} \sum_{n=(k-1)\tau+1}^{k\tau} |y(n) - z(n)|^2} \quad (4)$$

$$F(\tau) = \frac{1}{N/\tau} \sum_{k=1}^{N/\tau} FF(k) \quad (5)$$

Um comportamento  $F(\tau) \approx \tau^\alpha$  é esperado, do qual se pode extrair o expoente característico  $\alpha$  por meio da inclinação da linha reta do gráfico  $\log(F(\tau))$  vs  $\log(\tau)$  (Figura 1), definindo se o sinal é antipersistente, persistente ou um ruído branco [9]. O expoente  $\alpha = 0,5$  caracteriza uma série aleatória não correlacionada (ruído branco). Quando  $\alpha < 0,5$  o sinal apresenta correlações negativas (antipersistente). Se  $\alpha > 0,5$  caracteriza correlações positivas (persistente) [12].

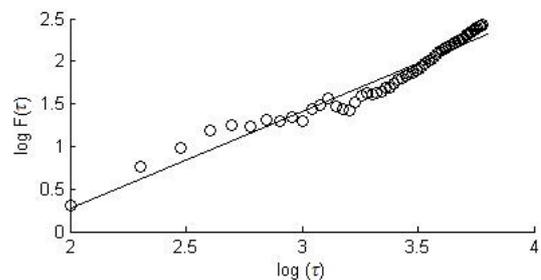


Figura 1: Gráfico da DFA apresentando a inclinação da linha reta de  $\log(F(\tau))$  vs  $\log(\tau)$ .

Os cálculos das variáveis foram realizados através de rotinas no ambiente de programação MATLAB. A rotina da DFA foi fornecida por Guan Wenye [13] que teve como referência o estudo de Peng et al. (1995).

Depois de verificada a normalidade dos dados através do teste de *Shapiro-Wilk*, os resultados foram comparados por meio do teste t de *Student* para amostras independentes na comparação entre os grupos e o teste t de *Student* para amostras pareadas na comparação intragrupo. Para a análise estatística foi utilizado o software SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*), com um nível de significância menor ou igual a 0,05.

## Resultados

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos na comparação entre os grupos nas duas condições avaliadas OA e OF com seus respectivos valores de p (P1 e P2). Os valores em P3 e P4 referem-se aos

resultados da comparação intragrupo (OA/OF). Grande parte das variáveis analisadas na comparação entre os grupos apresentou diferença estatística com  $p < 0,05$ , exceto as variáveis velocidade mediolateral (VEL\_ML) nas condições OA e OF, a F80 na condição OF e a DFA mediolateral (DFA\_ML) nas duas condições analisadas. A DFA anteroposterior (DFA\_AP) na condição OA apresentou diferença significativa, porém, não

apresentou diferença na condição OF. Na comparação intragrupo OA/OF as variáveis DTOT e VEL\_AP apresentaram diferenças nos dois grupos analisados. Porém, outras variáveis como a AREA e a F80 apresentaram diferenças somente no grupo de idosos e a DFA\_AP apresentou diferenças somente no grupo de jovens.

Tabela 1: Valores médios obtidos para cada grupo e p-valores para cada comparação.

Variáveis	Jovens (OA)	Idosos (OA)	P <sub>1</sub>	Jovens (OF)	Idosos (OF)	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>
DTOT (cm <sup>2</sup> )	48,20 ± 11,66	70,42 ± 9,62	0,00*	60,62 ± 14,80	95,37 ± 14,54	0,00*	0,01 <sup>+</sup>	0,00 <sup>+</sup>
VEL_AP (m/s)	0,58 ± 0,14	0,94 ± 0,15	0,00*	0,78 ± 0,19	1,37 ± 0,25	0,00*	0,00 <sup>+</sup>	0,00 <sup>+</sup>
VEL_ML (m/s)	0,43 ± 0,13	0,52 ± 0,15	0,27	0,48 ± 0,17	0,57 ± 0,13	0,27	0,23	0,07
AREA (cm <sup>2</sup> )	0,90 ± 0,35	2,34 ± 1,14	0,01*	0,91 ± 0,45	2,95 ± 1,42	0,00*	0,90	0,00 <sup>+</sup>
F80(Hz)	0,33 ± 0,12	0,54 ± 0,15	0,01*	0,49 ± 0,23	0,65 ± 0,21	0,18	0,06	0,01 <sup>+</sup>
DFA_AP	1,20 ± 0,12	1,01 ± 0,05	0,00*	1,06 ± 0,16	0,94 ± 0,13	0,16	0,03 <sup>+</sup>	0,12
DFA_ML	1,16 ± 0,11	1,12 ± 0,16	0,57	1,08 ± 0,12	1,07 ± 0,21	0,99	0,21	0,46

Os resultados são expressos em média ± desvio padrão. \*diferença significativa entre os grupos (P<sub>1</sub> – comparação entre os grupos OA e P<sub>2</sub> – comparação entre os grupos OF). P<sub>3</sub> e P<sub>4</sub> correspondem aos p-valores intragrupo jovens e idosos respectivamente. <sup>+</sup> diferença OA/OF em cada grupo.

## Discussão

O presente estudo comparou os mecanismos de controle postural de sujeitos idosos e jovens e verificou a capacidade da DFA em discriminar diferenças no controle postural entre os grupos estudados. A hipótese de que indivíduos idosos apresentem mecanismos de controle postural menos eficazes quando comparados a sujeitos jovens foi testada.

**Análise Clássica** – Diferenças significativas entre OA e OF encontradas na análise de variáveis clássicas são relatadas na literatura, pois, as trajetórias do CP tendem a aumentar, com a diminuição das informações sensoriais, indicando que o controle postural é realizado de forma menos automática e eficaz quando o indivíduo está privado das informações advindas da visão [14]. Esta afirmação está de acordo com este estudo, pois, todos os valores das variáveis clássicas aumentaram com a privação das informações visuais tanto para jovens quanto para idosos, porém, as diferenças foram maiores no grupo de idosos, o que pode indicar nesses indivíduos uma maior dependência dos estímulos visuais.

Muitas das características tradicionais fornecem informações semelhantes, por possuírem uma alta correlação entre si, porém, algumas podem ser capazes de diferenciar grupos ou não [9]. Em nosso estudo a maioria das variáveis clássicas indicaram diferenças entre os grupos estudados, apresentando maiores valores no grupo de sujeitos idosos. Cavalheiro et al. [9] avaliaram as diferenças entre grupos de idosos e jovens saudáveis e encontraram diferenças significativas em muitas das variáveis clássicas estudadas. Em seus resultados foi possível notar um aumento na velocidade média, no deslocamento total e na F80 no grupo de idosos. Aumentos nos valores das variáveis clássicas do CP podem indicar uma deterioração dos mecanismos de controle postural [15]. Esta afirmação corrobora com os resultados do presente estudo, indicando que pode haver

um declínio desses mecanismos em decorrência do processo de envelhecimento, o que confirma nossa hipótese inicial. Prieto et al., [2] também encontraram diferenças significativas ao comparar um grupo de indivíduos jovens com idosos, sendo que os idosos apresentaram valores mais elevados para as variáveis clássicas indicando deterioração no sistema de controle postural. Estes resultados podem ser encontrados também nos estudos de Norris et al. [11] que compararam três grupos diferentes (jovens, idosos com baixo e idosos com alto risco de queda) e encontraram diferenças significativas entre eles.

**DFA** – Blazquez et al. [8], afirmam que a DFA pode não ser capaz de elucidar o efeito da informação visual, indicando que a ausência dessa informação pode não modificar as propriedades de escala retiradas da DFA. Porém, em nosso estudo, utilizando a DFA na comparação entre OA e OF em cada grupo, foi observada diferença significativa no grupo de jovens na direção AP.

Ao analisar os resultados fornecidos pela DFA foi possível observar que o coeficiente  $\alpha$  apresentou valores maiores que 0,5, indicando correlações de longa duração. Ao utilizar a DFA na comparação entre os grupos foram observadas diferenças significativas apenas na condição de OA na direção anteroposterior ( $p = 0,03$ ). No entanto, os expoentes encontrados enquadram-se na mesma classificação ( $\alpha > 0,5$ ). Estes achados corroboram com o estudo de Amoud et al. [10] que utilizaram grupos similares (sujeitos jovens e idosos saudáveis) e encontraram diferenças na estabilidade postural entre eles, usando a DFA. Porém, Cavalheiro et al. [9] utilizaram a DFA em seu estudo e não encontraram diferenças significantes entre jovens e idosos saudáveis.

Amoud et al. [10], afirmam que valores de  $\alpha$  maiores que 0,5 indicam séries temporais persistentes com uma menor variabilidade e altos valores de  $\alpha$  poderiam ser indicativo de aumento na estabilidade postural. Com

base nas afirmações de Amoud et al., [10] a diferença encontrada com a DFA entre jovens e idosos em nosso estudo, poderia ser indicativo de alteração no sistema de controle postural, pois, segundo a classificação da DFA um maior valor de  $\alpha$  indica mais estabilidade, ou seja, as séries temporais apresentam uma menor variabilidade. Portanto, mesmo que todos os valores fornecidos pela DFA tanto para jovens quanto para idosos estejam próximos de 1,0, o que indica que todos estão dentro da mesma classificação, houve diferenças significativas entre jovens e idosos indicando que mesmo dentro de igual classificação (todos apresentando uma menor variabilidade, portanto mais estabilidade), o sistema de controle postural de jovens pode ser mais eficaz quando comparado ao de idosos. Estes resultados estão de acordo com Norris et al. [11] que utilizaram a DFA na comparação de um grupo de jovens com um grupo de idosos com baixo e outro com alto risco de queda. Seus resultados indicaram que o expoente  $\alpha$  na direção anteroposterior foi significativamente menor para o grupo de idosos com baixo risco de quedas comparado com o grupo de jovens.

Todos os valores encontrados na DFA no presente estudo, tanto nas direções anteroposterior quanto na mediolateral para os dois grupos analisados mostraram  $\alpha \sim 1,0$ . Isto pode ser indicativo de sinais mais suaves com alta correlação [10], indicando séries temporais persistentes. Em seu estudo, Cavalheiro et al. [9] relataram que o valor de  $\alpha$  permaneceu próximo de 1,5, caracterizando o movimento Browniano. Por outro lado, Blazquez et al., [12] encontraram expoentes para as direções AP e ML similares ( $\alpha \sim 1,0$ ) em indivíduos adultos, com média de idade  $41 \pm 11$ . Esses mesmos autores [8] também encontraram valores de ( $\alpha$ ) próximos de 1,0, em indivíduos jovens com média de idade de  $33,7 \pm 8,2$  anos. Estes resultados estão de acordo com os encontrados em nosso estudo.

Segundo Amoud et al., [10] a DFA pode fornecer informações relacionadas aos processos fisiológicos relativos ao controle postural, pois ela é capaz de extrair informações relacionadas às estratégias do controle motor subjacente que regulam a estabilidade postural. Por outro lado, as variáveis clássicas extraídas da análise posturográfica como a área e o deslocamento total do CP têm se mostrado ferramentas que podem prever riscos de quedas, mas estes parâmetros oferecem pouco conhecimento sobre os mecanismos envolvidos na degradação do equilíbrio relacionados à idade [10]. Norris et al. [11] sugerem que técnicas da mecânica estatística sejam mais sensíveis para indicar diferenças relacionadas à idade no sistema de controle postural que as variáveis clássicas. Em nosso estudo, ambas as técnicas utilizadas foram sensíveis às diferenças relacionadas à idade. Porém, as técnicas modernas trazem a vantagem de considerar a dinâmica do sinal ao longo do tempo aproximando-o, no caso da DFA, a um ruído branco ou um movimento Browniano conforme o valor de  $\alpha$ , e as variáveis clássicas, por outro lado, não consideram a dinâmica temporal do sinal do CP, sendo somente variáveis descritivas

estatísticas incapazes de descrever o comportamento dinâmico do CP.

Uma limitação do presente estudo foi que a distância entre os pés dos indivíduos sobre a plataforma de força não foi controlada, isso pode ter influenciado nos resultados na direção ML, pois, sujeitos idosos tendem a adotar uma maior base de apoio.

## Conclusão

Os resultados encontrados no presente estudo mostram que ambos os métodos de análise do CP foram capazes de indicar diferenças significativas entre os grupos. Portanto, a DFA pode ser considerada uma ferramenta eficaz para analisar os deslocamentos do CP de forma mais dinâmica e pode ser eficiente para diferenciar mudanças relacionadas à idade na condição OA na direção anteroposterior. Porém sugere-se a realização de mais estudos utilizando a DFA para verificar a sua capacidade de discriminar diferenças em outras condições e em diferentes de grupos.

## Agradecimentos

Agradecimentos a CAPES (Brasil) a bolsa de estudos no nível de mestrado.

## Referências

- [1] Mainenti MRM, Rodrigues EC, Oliveira JF, Ferreira AS, Dias CM, Silva ALS. Adiposity and postural balance control: Correlations between bioelectrical impedance and stabilometric signals in elderly Brazilian women. *Clinical Science*. 2011; 66(9):1513-1518.
- [2] Prieto TE, Myklebust JB, Hoffmann RG, Lovett EG, Myklebust BM. Measures of Postural Steadiness: Differences Between Healthy Young and Elderly Adults. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 1996; 43:956-966.
- [3] Duarte M, Freitas SMS. Revisão sobre posturografia baseada em plataforma de força para avaliação do equilíbrio. *Revista Brasileira de Fisioterapia*. 2010; 14:183-192.
- [4] Duarte M, Zatsiorsky VM. Longe-range correlations in human standing. *Physics Letters A*. 2001; 283:124-128.
- [5] Riley MA, Balasubramaniam R, Turvey MT. Recurrence quantification analysis of postural fluctuations. *Gait and Posture*. 1999; 9:65-78.
- [6] Barato L, Morasso PG, Re C, Spada G. A new look at posturographic analysis in the clinical context: sway-density vs. other parametrization techniques. *Motor Control*. 2002; 6:246-270.
- [7] Peng CK, Buldyrev SV, Havlin S, Simon M, Stanley HE, Golberger AL. Mosaic organization of DNA nucleotides. *Physical Review E*. 1994; 49:1685-1689.
- [8] Blázquez MT, Anguiano M, Saavedra FA, Lallena AM, Carpena P. Study of the human postural control

- system during quiet standing using detrended fluctuation analysis. *Physica A*. 2009; 388:1857-1866.
- [9] Cavalheiro GL, Almeida MFS, Pereira AA, Andrade OA. Study of age-related changes in postural control during quiet standing through Linear Discriminant Analysis. *BioMedical Engineering Online*. 2009; 8.
- [10] Amoud H, Abadi M, Hewson DJ, Pellegrino VM, Doussot M, Duchêne J. Fractal time series analysis of postural stability in elderly and control subjects. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2007; 4.
- [11] Norris JA, Marsh AP, Smith IJ, Kohut RI, Miller ME. Ability of static and statistical mechanics posturographic measures to distinguish between age and fall risk. *Journal of Biomechanics*. 2005; 38:1263-1272.
- [12] Blázquez MT, Anguiano M, Saavedra FA, Lallena AM, Carpena P. On the length of stabilograms: A study performed with detrended fluctuation analysis. *Physica A*. 2012; 391:4933-4942.
- [13] Guan Wenye. Detrended Fluctuation Analysis [Internet]. 2008. [Acesso em: 11 de julho de 2014]. Disponível em: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/19795-detrended-fluctuation-analysis>.
- [1] [14] Donker SF, Roerdink M, Greven AJ, Beek PJ. Regularity of center-of-pressure trajectories depends on the amount of attention invested in postural control. *Exp Brain Res*. 2007; 181:1–11.
- [15] Lin D, Seol H, Nussbaum MA, Madigan ML. Reliability of COP-based postural sway measures and age-related differences. *Gait & Posture*. 2008; 28:337-342.