

EFICÁCIA DA ANÁLISE RESIDUAL PARA DETERMINAR A INTENSIDADE DO FILTRO NA CINEMÁTICA

Victor H.A. Okazaki^{1,2,3}, Luis A.Teixeira², André L.F.Rodacki³

¹Centro de Estudos do Movimento Humano – CEMOVH – Curitiba - PR.

²Laboratório Sistemas Motores Humanos – Universidade de São Paulo – USP – São Paulo - SP.

³Centro de Estudos do Comportamento Motor – Universidade Federal do Paraná – UFPR – Curitiba - PR.

Resumo: O objetivo do estudo foi analisar o efeito da magnitude do ruído no sinal sobre o procedimento de análise residual normalmente utilizado na cinemática. Um sinal (S1) foi criado para representar um deslocamento angular qualquer. Posteriormente, ruídos aleatórios foram adicionados ao sinal S1 gerando outros três sinais com magnitudes de ruído pequenas (R1), médias (R2) e grandes (R3). O filtro passa-baixa de 4ª ordem do tipo *Butterworth* foi utilizado para atenuar os ruídos dos sinais R1, R2 e R3 com intensidades de 1 Hz até 20 Hz. A análise residual de Winter (1990) foi então utilizada para determinar a intensidade teórica ótima do filtro para cada magnitude do sinal. A raiz do erro médio quadrático dos sinais R1, R2 e R3 filtrados com cada intensidade, em função do sinal original sem ruído S1, foi utilizada para verificar se a análise residual foi eficaz na determinação da intensidade do filtro. Nenhuma intensidade de filtro garantiu a integridade do sinal e a retirada completa dos ruídos. À medida que a magnitude do ruído aumentou o filtro foi intensificado para atenuar o ruído no sinal. Todavia, a análise residual pode subestimar ou superestimar a intensidade do filtro, dependendo da magnitude do ruído no sinal.

Palavras Chave: Análise Residual, Magnitude do Ruído, Determinação da Intensidade do Filtro, Cinemática.

Abstract: The aim of this study was analyze the signal's noise magnitude effect over the residual analysis procedure usually employed in kinematics. A signal (S1) was created to represent an angular displacement. After, an 4th order low-pass Butterworth filter was used to attenuate the noise from signals R1, R2, and R3, with intensities ranging from 1 Hz to 20 Hz. Then, Winter's (1990) residual analysis was used to determine the filter's theoretical optimal intensity for each signal magnitude. The root mean square error from signals R1, R2, and R3 filtered with each intensity, in relation to the original signal S1, was used to verify if the residual analysis was effective to determine filter intensity. None filter intensity provided the signal integrity and the full noise attenuation. As noise magnitude increased filter was intensified to attenuate the noise within signal. However, residual analysis may underestimate or overestimate filter intensity, depending on the noise magnitude within signal.

Keywords: Residual Analysis, Noise Magnitude, Filter Intensity Determination, Kinematics.

INTRODUÇÃO

A cinemática é um instrumento cada vez mais utilizado na biomecânica. A razão disto é sua precisão, consistência e objetividade metodológica. Todavia, este instrumento também possui fontes de erro ainda pouco estudadas. Por exemplo, erros na análise ocorrem quando um marcador é movido em função do deslocamento da pele [1,2], um segmento ou o corpo sai fora do plano de movimento em análises em 2D [3], a identificação dos marcadores do modelo biomecânico é perdida [4], etc. Estes erros, são ruídos incluídos no sinal, ou seja, sinais que não pertencem ao fenômeno observado ou que não são de interesse ao objetivo

do pesquisador [5]. Desta forma, procedimentos de filtragem tem sido utilizados para tentar reduzir os ruídos no sinal [6].

A filtragem é um procedimento matemático que procura atenuar o ruído e manter o sinal pertencente ao fenômeno analisado [5]. Diferentes intensidades de filtros são verificadas na tentativa de atenuar o ruído no sinal. Filtros intensos tendem a atenuar o ruído no sinal, mas ao mesmo tempo pode comprometer a integridade dos dados. Ao passo que, filtros menos intensos podem garantir a integridade do sinal, mas sem retirar adequadamente os ruídos. Assim, o procedimento de análise residual foi proposto por Winter [7] para

encontrar uma intensidade teórica ótima para atenuar os ruídos nos sinais.

A análise residual é procedimento mais utilizado para determinar a intensidade do filtro nas análises cinemáticas. Entretanto, esta determinação da intensidade do filtro é pouco compreendida. Como as análises cinemáticas não permitem distinguir exatamente os dados que pertencem ao sinal do fenômeno e dos ruídos, a eficácia deste procedimento poderia ser questionada.

Com propósito de abordar esta questão, este estudo objetivou verificar a eficácia da análise residual proposta por Winter através de uma simulação computacional. A simulação de dados permite distinguir os dados do fenômeno desejado dos ruídos. Assim, a eficácia do procedimento de determinação da intensidade teórica ótima de Winter foi testada.

MATERIAIS E MÉTODOS

Procedimentos Experimentais

Um sinal (S1), com amostragem de 100 Hz, foi criado para representar um deslocamento angular qualquer. Posteriormente, foram inclusos ruídos aleatórios em S1, gerando o sinal R1. Mais dois sinais foram criados a partir do aumento na magnitude do ruído de R1 em três vezes (R3) e em cinco vezes (R5) (figura 1).

Um filtro passa-baixa de quarta ordem do tipo *Butterworth* foi utilizado para atenuar o ruído no sinal [4,8]. Foram utilizadas intensidades de filtro com frequências de corte de 20 Hz, 18 Hz, 16 Hz, 14 Hz, 12 Hz, 10 Hz, 8 Hz, 7 Hz, 6 Hz, 5 Hz, 4 Hz, 3 Hz, 2 Hz e 1 Hz, nos três sinais com ruídos (R1, R3 e R5).

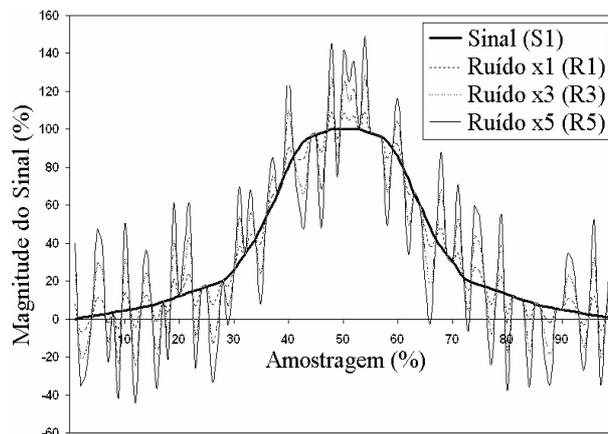


Figura 1 – Sinais S1, R1, R3 e R5 gerados.

A análise residual foi utilizada para determinar a frequência de corte teórica ótima. Para tal, um sinal com ruído foi filtrado com diversas frequências de corte, próximas à frequência de corte acreditada como mais adequada. Após, a raiz do erro médio quadrático (resíduo médio) de cada sinal filtrado, em função do sinal com ruído, foi calculada. O resíduo de cada sinal filtrado, em função da respectiva frequência de corte utilizada, foi então analisado graficamente. Segundo Winter [7], a projeção entre os resíduos e as frequências de corte do filtro fornecem um perfil de curva com um aumento abrupto num determinado instante. Este aumento abrupto no perfil da projeção entre resíduos e as frequências de corte determina a frequência de corte teórica ótima do filtro [8] (figura 2). Esta análise residual foi utilizada para determinar a intensidade teórica ótima do filtro para R1, R3 e R5.

A raiz do erro médio quadrático também foi calculada de R1, R3 e R5, em função de S1. Esta análise possibilitou verificar qual intensidade do filtro proporcionou o melhor ajuste para os sinais R1, R3 e R5.

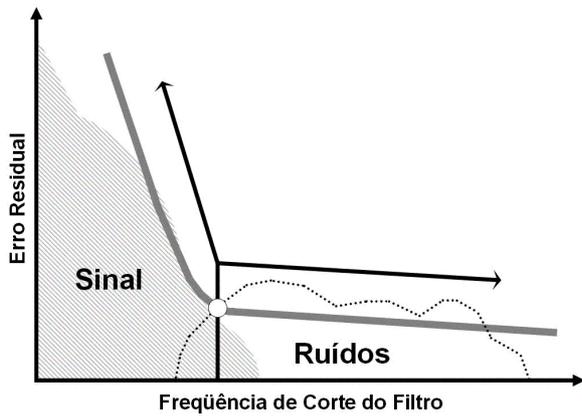


Figura 2 – Determinação da freqüência de corte do filtro através da análise residual.

RESULTADOS & DISCUSSÃO

Apenas algumas freqüências de corte no filtro (8 Hz, 4 Hz, 3 Hz, 2 Hz e 1Hz) foram representadas nas figuras 3, 4 e 5, para melhor visualização do efeito da filtragem.

A medida em que a intensidade do filtro aumentou, o perfil dos sinais R1, R3 e R5 foi suavizado (figura 3). Isto ocorre pois o filtro passa-baixa utilizado atenuou as freqüências do sinal acima da freqüência de corte [5]. Este tipo de filtro é normalmente utilizado em análises cinemáticas, pois altas freqüências no sinal normalmente não são pertencentes ao fenômeno observado [8]. Entretanto, nenhuma intensidade de filtro garantiu a integridade do sinal e a retirada completa dos ruídos dos sinais R1, R3 e R5. Assim, mesmo com a utilização da filtragem dos dados parte do sinal pode ser perdida e/ou ruídos ainda podem permanecer no sinal, dependendo da intensidade do filtro.

A análise residual utilizada para determinar a freqüência de corte teórica ótima, demonstrou que a magnitude do ruído é diretamente relacionada à intensidade do filtro. Ou seja, quanto maior for a magnitude do ruído incluso no sinal,

maior deve ser a intensidade do filtro aplicada para atenuar o ruído do sinal.

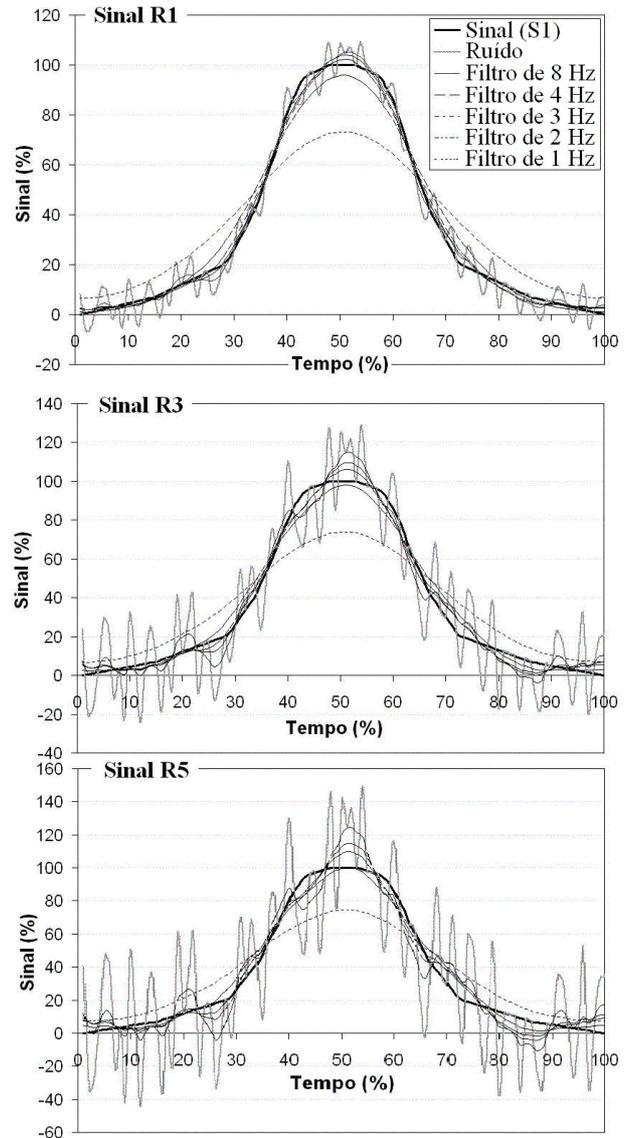


Figura 3 – Sinais R1, R3 e R5 filtrados com diferentes freqüências de corte.

A figura 4 demonstra a relação entre a raiz do erro médio quadrático em função da freqüência de corte do filtro. As linhas com círculos apresentam o sinal com ruído (R1, R3 e R5) filtrado a diversas freqüências de corte, em relação ao sinal S1. Este procedimento determinou a freqüência de corte teórica ótima [7]. As linhas com triângulos demonstram o sinal com ruído

filtrado com as diferentes frequências de corte, em função do sinal com ruído (R1, R3 ou R5). Este procedimento foi utilizado para verificar se a determinação da frequência de corte teórica ótima obteve o melhor ajuste entre os sinais filtrados e o sinal original sem ruído S1. A frequência de corte teórica ótima para R1, R3 e R5 foi representada na figura pelo círculo maior com interior cheio. A frequência de corte do filtro que demonstrou melhor ajuste foi indicada pelo triângulo maior com interior cheio.

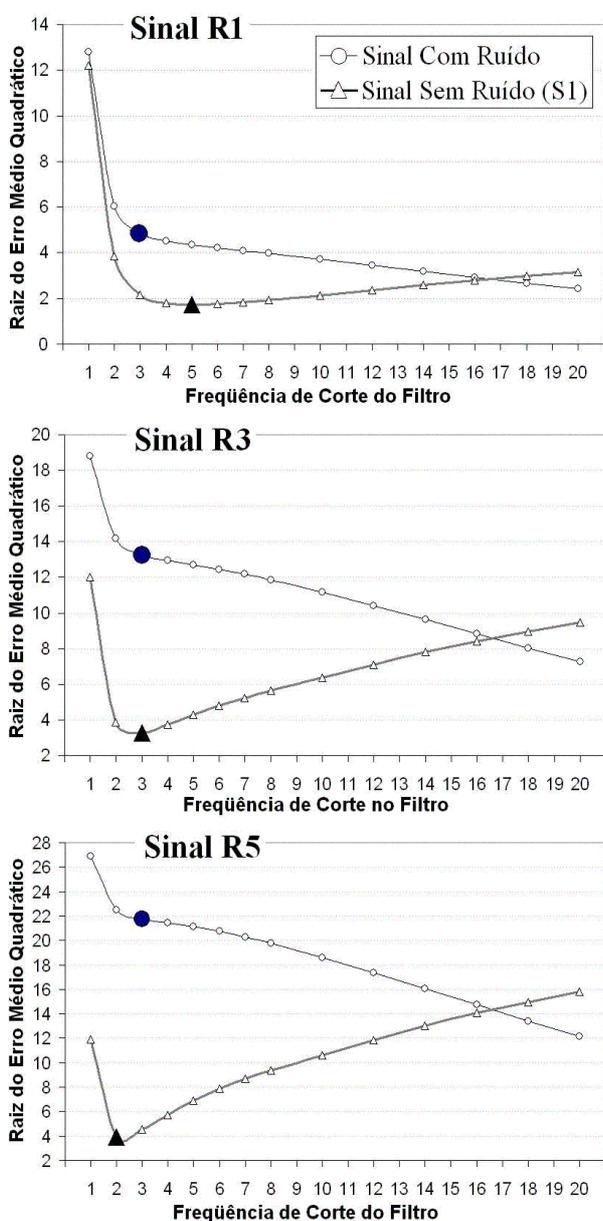


Figura 4 – Análise dos Resíduos em função de S1 e dos sinais com ruídos R1, R3 e R5.

A análise residual de Winter [7] demonstrou ser um instrumento capaz de encontrar uma intensidade de filtro que atenua grande parte do ruído e, ao mesmo tempo, mantendo a integridade da maior parte do sinal (figura 4). Entretanto, quando uma pequena magnitude de ruído foi implementada no sinal, a análise residual superestimou a intensidade do filtro. Ou seja, apesar da maior parte do ruído ter sido atenuada, parte do sinal também foi perdida (figura 5). Por outro lado, quando grande quantidade de ruído foi acrescida ao sinal, a análise residual fez uma pequena subestimação da intensidade do filtro. Desta forma, quando a análise possui um sinal com grande quantidade de erro incluso no sinal, a intensidade do filtro determinada pela análise residual não garante atenuação da maior parte dos ruídos (figura 5).

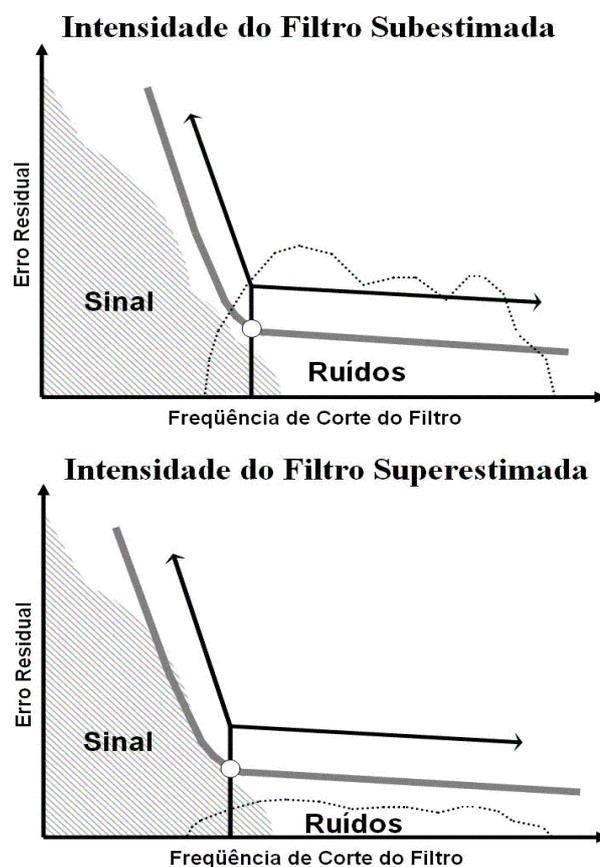


Figura 5 – Análise dos Resíduos superestimando e subestimando a intensidade do filtro.

CONCLUSÃO

A intensidade do filtro demonstrou uma relação direta com a magnitude do ruído no sinal. Por conseguinte, em análises onde a quantidade de ruído seja grande, devem ser utilizados filtros mais intensos para atenuar os ruídos no sinal. Nenhuma frequência de corte garantiu a integridade do sinal e a retirada completa dos ruídos. A análise residual, normalmente utilizada nas análises cinemáticas para determinar a frequência de corte teórica ótima, pode subestimar ou superestimar a intensidade do filtro, dependendo da magnitude do ruído no sinal. Entretanto, a análise residual ainda demonstra ser um instrumento interessante, pois trabalha com o sinal no domínio do tempo dispensando a utilização de cálculos matemáticos mais complexos (Análises de Fourier).

Sugere-se que futuros estudos analisem a intensidade do filtro em função de variáveis como a frequência de amostragem e o cálculo das derivadas.

AGRADECIMENTOS

Agrademos a CNPQ pela bolsa de doutorado concedida ao primeiro autor no período de realização deste trabalho (proc. nº 141573/2006-6).

REFERÊNCIAS

- [1] Yuan X, Ryd L, Blankevoort L. Error propagation for relative motion determined from marker positions. *J. of Biomech.* 1997; 30(09): 989-992.
- [2] Lundberg A. On the use of bone and skin markers in kinematics research. *Hum Mov Sci.* 1996; 15: 411-422.
- [3] Sih BL, Hubbard M, Williams, KR. Correction of auto-of-planing errors in two-dimensional imaging using nonimage-related information. *J. of Biomech.* 2001; 34: 257-260.
- [4] Wood GA. Data smoothing and differentiation procedures in biomechanics. *Ex. and Sport Sci. Rev.* 1982; 10: 308-362.
- [5] Okazaki VHA, Rodacki ALF, Okazaki FHA. O efeito da frequência da amostragem e da intensidade do filtro na análise cinemática. *XVI SEFSUL; 2004.* 127-133.
- [6] Giakas G, Baltzopoulos VA Comparison of automatic filtering techniques applied to biomechanical walking data. *J. of Biomech.* 1997; 30(08): 851-855.
- [7] Winter D. *Biomechanics and motor control of human movement.* Wiley-Interscience: Toronto-Ontario, 1990.
- [8] Nagamo A, Komura T, Himeno R, Fukushima S. Optimal digital filter cutoff frequency of jumping kinematics evaluated through computer simulation. *Int. J. of Sport and Health Sci.* 2003; 01(01): 196-201.

e-mail:

vhaokazaki@gmail.com