

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE SINCRONIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE BAROPODIOMETRIA, DE ELETROMIOGRAFIA E DE FILMAGEM

CARDOSO, V. S.⁽¹⁾; PEREIRA, C. A. M.⁽²⁾; BOLLIGER NETO, R.⁽³⁾

Instituto de Ortopedia e Traumatologia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (USP)^(1, 2, 3)

Rua Dr. Ovídio Pires de Campos, 333 - 05403-000 - São Paulo – SP – Brasil

Fone (11) 3069-6903

vscfisio@yahoo.com.br⁽¹⁾

Resumo

A biomecânica descreve o estudo dos sistemas biológicos em linguagem mecânica, e analisa o movimento em seus parâmetros cinéticos e cinemáticos. A utilização de equipamentos em conjunto facilita a análise desses parâmetros e torna a avaliação biomecânica do movimento cada vez mais completa. Para isto, este trabalho tem como objetivo sincronizar os aparelhos de baropodiometria (cinética) e de eletromiografia, e a filmagem (cinemática) feita com uma câmera. Foi construído um sincronizador que emitiu um sinal de gravação, ao mesmo tempo, para o eletromiógrafo e para o baropodômetro e acendeu um diodo (LED I) a ser capturado pela filmadora. Posteriormente, na metade do tempo do primeiro sinal, foi emitido um segundo sinal, que acendeu outro diodo (LED II) e modificou o gráfico do eletromiógrafo e do baropodômetro. Este procedimento ocorreu por onze vezes, para o teste com o ADS e onze vezes para o teste com os equipamentos, para tempo total pré-programado em 5 segundos e posteriormente, para tempo pré-programado em 20 segundos. Foram mensurados o tempo total (Tt), o tempo de início do segundo sinal (Tt/2) e o período de duração do segundo sinal. O sincronizador foi testado utilizando um equipamento de aquisição de dados (ADS2000®), verificando se ocorre atraso na emissão dos sinais para os equipamentos e os LEDs. Posteriormente, o sincronizador foi conectado ao eletromiógrafo e ao baropodômetro, e os LEDs foram posicionados a serem capturados pelas câmeras. Assim o sincronizador foi testado juntamente com estes equipamentos. Os resultados demonstraram que o erro máximo encontrado não foi maior do que a limitação da frequência de captura da filmadora (60 Hz).

Palavras-chave: Cinética. Cinemática. Sincronização.

1 INTRODUÇÃO

A biomecânica é uma ciência interdisciplinar, adotada pela comunidade internacional no início dos anos 70 para descrever os estudos dos sistemas biológicos do corpo humano em linguagem mecânica [1], fazendo uso de parâmetros cinemáticos para analisar o movimento, independentemente de sua causa, e de parâmetros cinéticos para mensurar as forças encontradas no movimento [2].

A cinemática analisa as descrições espaciais e temporais de um movimento, ou seja, a posição, a velocidade e a aceleração de um corpo [1], [3]. A aplicação da cinemática envolve o movimento de segmentos do corpo aos quais estão aderidos marcadores reflexivos, cujas imagens são capturadas por câmeras filmadoras. Posteriormente, essas imagens são digitalizadas por microcomputadores para serem analisadas em programas específicos [4].

Inicialmente, a análise cinemática da marcha era realizada a olho nu e vários detalhes eram perdidos. Com o advento da câmera de vídeo, pode-se observar a imagem gravada por várias vezes, com a progressão quadro a quadro, facilitando a identificação dos eventos da marcha [5].

Com o passar dos anos, a eletrônica e a computação desenvolveram-se, gerando novas técnicas de captação e de análise dos movimentos

humanos, possibilitando incluir mais câmeras para realizar a filmagem, melhorando a acurácia dos dados a serem analisados [6].

O movimento, para que ocorra, necessita de força. A área da biomecânica que estuda essas forças é denominada cinética. Segundo Winter [7], o conhecimento dos padrões das forças é necessário para uma compreensão da causa de qualquer movimento.

Segundo SMITH et al [8], “torque é a expressão da eficácia de uma força para girar um sistema de alavanca”. No corpo humano, as alavancas são formadas pelos ossos, que agem como barras rígidas, girando em torno de um eixo (centro articular). Estes ossos sofrem ação dos músculos, que geram força (força interna) para realizar o movimento do membro, que recebe a influência positiva ou negativa de forças externas [3].

Um exemplo de força externa é a força de reação do solo, que pode ser mensurada com a utilização da baropodiometria computadorizada [9]. A baropodiometria permite registrar a força de contato do pé com o solo e a distribuição da pressão plantar exercida em vários pontos do pé, tudo em função do tempo. O sistema utiliza palmilhas finas inseridas dentro dos calçados, que não alteram o movimento realizado pelo sujeito.

As aplicações clínicas da baropodiometria variam desde a documentação da marcha fisiológica

até a análise de regiões plantares com potencial a desenvolver úlceras plantares [5]. Já a mensuração da atividade muscular, que gera as forças internas, é realizada pelo eletromiógrafo. A eletromiografia é uma técnica que registra o potencial de ação das fibras musculares, interpretando tanto a função como a disfunção muscular, gerando informações sobre a estrutura e o funcionamento das unidades motoras [10]. A ação muscular ocorre sob a pele e os tecidos subjacentes, não podendo ser medida diretamente com o eletromiógrafo de superfície. Porém, o sinal mioelétrico que acompanha a estimulação nervosa das fibras musculares é transmitido pelos músculos e tecidos moles adjacentes, podendo ser gravado e analisado, determinando o momento e a intensidade do esforço muscular [5], [6].

Conclui-se que a atividade muscular, captada pelo EMG, gera um torque nas articulações (cinética), realizando um determinado movimento (cinemática), com variações angulares do membro. Nota-se que, para uma análise completa do movimento humano, fazem-se necessárias avaliações nos três campos abordados no texto. [5], [6]. A utilização das técnicas, de maneira unificada para maior e melhor obtenção dos dados, é privilégio dos laboratórios que possuem sistemas integrados, altamente sofisticados e muito caro [11].

Este trabalho tem como objetivo realizar a integração e a sincronização do baropodometria (sistema Fscan®) com o eletromiógrafo e um sistema de aquisição de imagem de modo analógico, potencializando a utilização destes aparelhos e gerando uma análise mais detalhada do movimento humano.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo fez uso da baropodômetro (sistema Fscan®), e do eletromiógrafo, ambos pertencentes ao Laboratório de Estudo dos Movimentos do Instituto de Ortopedia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de São Paulo, e de uma câmera filmadora analógica (Panasonic®) pertencente ao pesquisador.

A sincronização foi realizada por intermédio de um sincronizador de sinais confeccionada no Laboratório de Biomecânica, que recebeu um pulso de um botão liga/desliga, ativada pelo pesquisador, emitindo um sinal via cabo para acionar o baropodômetro (sistema Fscan® versão 4.01) e o eletromiógrafo (Sistema Telemio 900 – Noraxon® INC, U.S.A.). Este sinal, além de iniciar a gravação dos dados nesses aparelhos, também acendeu um diodo (LED 1), que indica o período em que a avaliação está ocorrendo. O diodo foi posicionado de forma que a câmera possa filmá-lo, identificando os momentos inicial (instante em que o diodo acende) e final (instante em que o diodo apaga) da avaliação (Figura 1).

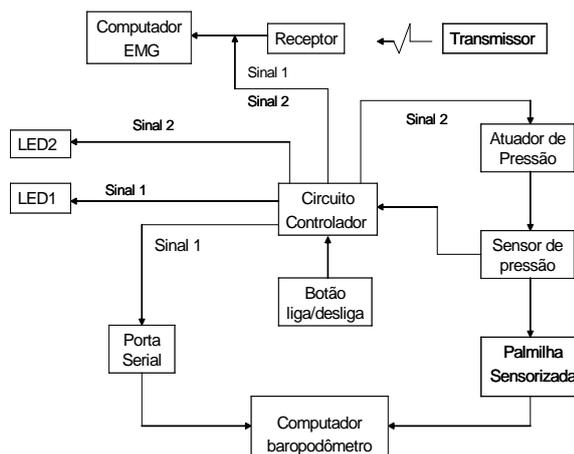


Figura 1 - Diagrama de blocos demonstrando o sincronizador com suas conexões.

O eletromiógrafo, por intermédio de seu programa, estava pronto para receber o sinal de início de gravação vindo do sincronizador. Este sinal chegou por um de seus canais de entrada, que foi isolado para esta função. No baropodômetro, o sinal foi recebido por uma porta serial do computador, reconhecida pelo seu programa, dando início à gravação dos dados. O sinal do equipamento de sincronização foi programado para ser emitido ao mesmo tempo para os aparelhos e para o acionamento do LED 1, sendo qualquer atraso possível devido à falha do sincronizador ou devido à demora do próprio aparelho em começar a gravar os dados. Este sinal foi ajustado para ter duração de cinco (5) segundos em uma série de experimentos e vinte (20) segundos em outra série.

O sincronizador foi programado para enviar também um segundo sinal exatamente na metade do tempo de ação do primeiro sinal e com tempo de duração de meio (1/2) segundo. Este segundo pulso ativou um atuador de pressão que pressionou a palmilha do baropodômetro, registrando, em seu gráfico, um pico de pressão. Este atuador também estimulou um sensor de pressão, posicionado logo abaixo da palmilha sensorizada, que, ao ser pressionado, emitiu um sinal que foi registrado no gráfico do eletromiógrafo e acendeu o LED2.

Primeiramente, todas as saídas do equipamento de sincronização foram conectadas ao equipamento de aquisição de dados (ADS 2000 – Lynx®) (Figura 2), onde foram realizados os testes para comprovar a emissão e o tempo de duração dos sinais enviados pelo sincronizador. Este procedimento foi realizado no Laboratório de Biomecânica, com o ADS programado para adquirir os dados vindos do equipamento de sincronização a uma frequência de captura de 1000 Hz. No início deste primeiro experimento, o sincronizador foi programada para enviar o primeiro sinal com tempo total de cinco (5) segundos, sendo capturadas pelo ADS, onze tentativas válidas. Terminadas estas tentativas, o equipamento de sincronização foi desligado e reprogramado para emitir o primeiro sinal com tempo total de vinte (20) segundos, e novamente, foram capturadas com o ADS, onze tentativas válidas.

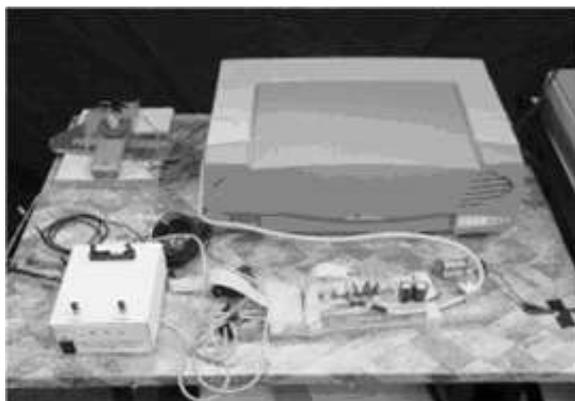


Figura 2 - Sincronizador posicionado para teste com equipamento de aquisição de dados.

Terminado o primeiro experimento, o circuito controlador foi levado ao Laboratório de Estudo dos Movimentos, onde foi conectado ao EMG, ao baropodômetro e aos LEDs, sendo estes últimos, posicionados de forma a serem filmados pela câmera. Estes equipamentos foram preparados para receberem os sinais vindos do sincronizador, com frequência de captura variada, devido às limitações de cada aparelho (quadro 1).

Frequência de Captura		Hz
EMG		1000
Baropodômetro		150
Filmadora		60

Quadro 1 - Frequência de captura dos dados dos equipamentos que foram conectados no circuito controlador a fim de serem sincronizados.

Em um segundo experimento, foram realizados testes para verificar o tempo de captura dos sinais entre os equipamentos utilizados no estudo. O acionamento da câmera filmadora ocorreu previamente ao disparo do botão liga/desliga do sincronizador, que inicialmente foi programado para enviar o primeiro sinal com tempo total de cinco (5) segundos, sendo capturadas pelos equipamentos, onze tentativas válidas. Terminadas estas tentativas, como já descrito no primeiro experimento, o sincronizador foi desligado e re-programado para emitir o primeiro sinal com tempo total de vinte (20) segundos, e novamente, foram capturadas, com os equipamentos, onze tentativas válidas (quadro 2).

Experimentos	
1) ADS	11 experimentos de 5 seg.
	11 experimentos de 20 seg.
2) EMG, Baropodômetro e Filmadora	11 experimentos de 5 seg.
	11 experimentos de 20 seg.

Quadro 2 - demonstração dos experimentos realizados com o equipamento de aquisição de dados (ADS) e com o EMG, o baropodômetro e a filmadora.

Todos estes eventos foram analisados em função do tempo (figura 4), estando os gráficos originados pelo baropodômetro e pelo eletromiógrafo adequados para que isto seja possível. A filmagem

dos LEDs foi digitalizada por uma placa de captura de imagens (Pinnacle® - DC 10 plus) e analisada pelo programa APAS System® (Versão Trial) que, por uma de suas funções, permite visualizar as imagens quadro a quadro e relacioná-las com o tempo.

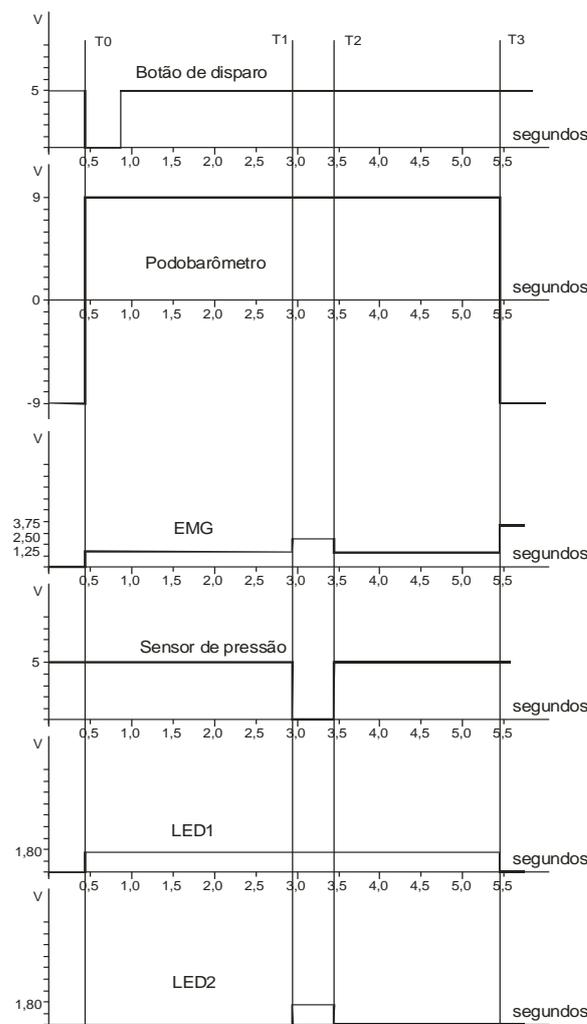


Figura 4 - Diagrama do tempo total (T0 a T3) e tempo intermediário (T1 a T2) dos sinais enviados para cada equipamento, no experimento de Tt pré programado em cinco (5) segundos.

Foram determinados, nos dois experimentos anteriores, a partir das informações provenientes do sistema de aquisição de dados (ADS), do eletromiógrafo, do baropodômetro e da filmagem, o tempo total ($T_t = T_3 - T_0$) de gravação do primeiro sinal para cada aparelho, subtraindo-se o instante inicial (T_0) do instante final (T_3) e o tempo inicial da ação do segundo sinal para cada equipamento ($T_t/2 = T_1 - T_0$). Também foi calculado o período do segundo sinal, ou seja, sua duração ($\text{Período} = T_2 - T_1$). Posteriormente, foi calculada a diferença entre os valores de tempo total, tempo de início do segundo sinal e tempo intermediário, encontrados no primeiro experimento (ADS) e os correspondentes obtidos no segundo experimento (teste com os equipamentos).

Foi realizada estatística descritiva das variáveis quantitativas do tempo total, do tempo em que iniciou o segundo sinal e do tempo intermediário de cada

experimento, utilizando as médias destes valores para realizar a comparação entre os experimentos e entre os equipamentos.

- T0 – Instante de início da gravação do sinal 1
- T1 – Instante de início da gravação do sinal 2
- T2 – Instante final da gravação do sinal 2
- T3 – Instante final da gravação do sinal 1

3 RESULTADOS

Tabela 1 - Resultados quantitativos do primeiro sinal enviado pelo sincronizador, referente ao tempo total (Tt) pré-programado para 5 segundos e adquiridos pelo ADS, pela filmagem do LED1, pelo baropodômetro e pelo eletromiógrafo (EMG).

	Tempo Total 5 segundos								
	LED 1			Baropodômetro			EMG		
	ADS	Filmadora	diL	ADS	Fscan	diB	ADS	Noraxon	diE
5,019	5,022	0,003	5,020	5,023	0,003	5,019	5,006	-0,013	
5,019	5,022	0,003	5,020	5,023	0,003	5,020	5,019	-0,001	
5,019	5,022	0,003	5,019	5,023	0,004	5,019	4,997	-0,022	
5,019	5,021	0,002	5,019	5,023	0,004	5,019	4,997	-0,022	
5,019	5,022	0,003	5,019	5,030	0,011	5,019	5,011	-0,008	
5,020	5,055	0,035	5,019	5,023	0,004	5,019	5,010	-0,009	
5,019	5,022	0,003	5,019	5,023	0,004	5,019	5,013	-0,006	
5,019	5,055	0,036	5,019	5,023	0,004	5,019	5,015	-0,004	
5,019	5,055	0,036	5,019	5,023	0,004	5,019	5,016	-0,003	
5,019	5,021	0,002	5,019	5,023	0,004	5,019	5,004	-0,015	
5,019	5,021	0,002	5,019	5,023	0,004	5,019	5,005	-0,014	
M	5,019	5,031	0,012	5,019	5,024	0,004	5,019	5,008	-0,011
DP	0,000	0,016	0,015	0,000	0,002	0,002	0,000	0,007	0,007
Min	5,019	5,021	0,002	5,019	5,023	0,003	5,019	4,997	-0,022
Max	5,020	5,055	0,036	5,020	5,030	0,011	5,020	5,019	-0,001
Interv	0,001	0,034	0,034	0,001	0,007	0,008	0,001	0,022	0,021

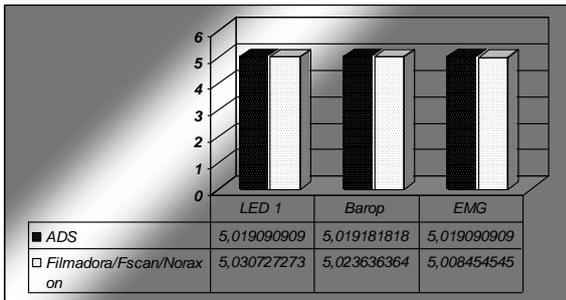


Gráfico 1 - Demonstração gráfica do primeiro sinal enviado pelo sincronizador e referente ao tempo total (Tt) pré-programado para 5 segundos e adquiridos pelo ADS, pela filmagem do LED1, pelo baropodômetro e pelo eletromiógrafo (EMG).

Tabela 2 - Resultados quantitativos do tempo de início da ação do segundo sinal (Tt/2) enviado pelo sincronizador, referente ao tempo total (Tt) pré-programado para 5 segundos e adquiridos pelo ADS, pela filmagem do LED2, pelo baropodômetro e pelo eletromiógrafo (EMG).

	Tt/2 para Tt 5 segundos								
	LED 2			Baropodômetro			EMG		
	ADS	Filmadora	diL	ADS	Fscan	diB	ADS	Noraxon	diE
2,515	2,536	0,021	2,515	2,525	0,010	2,515	2,500	-0,015	
2,515	2,503	-0,012	2,515	2,525	0,010	2,515	2,510	-0,005	
2,515	2,502	-0,013	2,515	2,518	0,003	2,515	2,488	-0,027	
2,515	2,502	-0,013	2,515	2,525	0,010	2,515	2,488	-0,027	
2,515	2,503	-0,012	2,515	2,525	0,010	2,515	2,502	-0,013	
2,514	2,536	0,022	2,517	2,531	0,014	2,514	2,502	-0,012	
2,515	2,536	0,021	2,515	2,531	0,016	2,515	2,506	-0,009	
2,515	2,536	0,021	2,518	2,531	0,013	2,515	2,506	-0,009	
2,514	2,536	0,022	2,514	2,531	0,017	2,514	2,508	-0,006	
2,515	2,502	-0,013	2,515	2,531	0,016	2,515	2,496	-0,019	
2,515	2,502	-0,013	2,515	2,525	0,010	2,515	2,496	-0,019	
M	2,515	2,518	0,003	2,515	2,527	0,012	2,515	2,500	-0,015
DP	0,000	0,018	0,018	0,001	0,004	0,004	0,000	0,008	0,008
Min	2,514	2,502	-0,013	2,514	2,518	0,003	2,514	2,488	-0,027
Max	2,515	2,536	0,022	2,518	2,531	0,017	2,515	2,510	-0,005
Interv	0,001	0,034	0,035	0,004	0,013	0,014	0,001	0,022	0,022

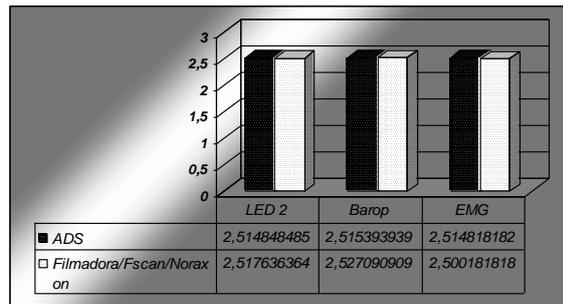


Gráfico 2 - Demonstração gráfica do tempo de início da ação do segundo sinal (Tt/2) enviado pelo sincronizador, referente ao tempo total (Tt) pré-programado para 5 segundos e adquiridos pelo ADS, pela filmagem do LED2, pelo baropodômetro e pelo eletromiógrafo (EMG).

Tabela 3 - Resultados quantitativos do período do segundo sinal enviado pelo sincronizador, referente ao tempo total (Tt) pré-programado para 5 segundos e adquiridos pelo ADS, pela filmagem do LED2, pelo baropodômetro e pelo eletromiógrafo (EMG).

	Período para Tt 5 segundos								
	LED 2			Baropodômetro			EMG		
	ADS	Filmadora	diL	ADS	Fscan	diB	ADS	Noraxon	diE
0,497	0,487	-0,010	0,509	0,494	-0,015	0,497	0,496	-0,001	
0,497	0,517	0,020	0,507	0,501	-0,006	0,497	0,497	0,000	
0,497	0,518	0,021	0,506	0,508	0,002	0,497	0,497	0,000	
0,496	0,517	0,021	0,505	0,501	-0,004	0,496	0,497	0,001	
0,497	0,517	0,020	0,508	0,494	-0,014	0,497	0,497	0,000	
0,497	0,484	-0,013	0,501	0,495	-0,006	0,497	0,496	-0,001	
0,497	0,484	-0,013	0,507	0,495	-0,012	0,497	0,495	-0,002	
0,497	0,517	0,020	0,501	0,501	0,000	0,497	0,497	0,000	
0,497	0,483	-0,014	0,508	0,495	-0,013	0,497	0,496	-0,001	
0,496	0,517	0,021	0,510	0,495	-0,015	0,496	0,496	0,000	
0,496	0,517	0,021	0,508	0,501	-0,007	0,496	0,497	0,001	
M	0,497	0,505	0,009	0,506	0,498	-0,008	0,497	0,496	0,000
DP	0,000	0,016	0,017	0,003	0,005	0,006	0,000	0,001	0,001
Min	0,496	0,483	-0,014	0,501	0,494	-0,015	0,496	0,495	-0,002
Max	0,497	0,518	0,021	0,510	0,508	0,002	0,497	0,497	0,001
Interv	0,001	0,035	0,035	0,009	0,014	0,017	0,001	0,002	0,003

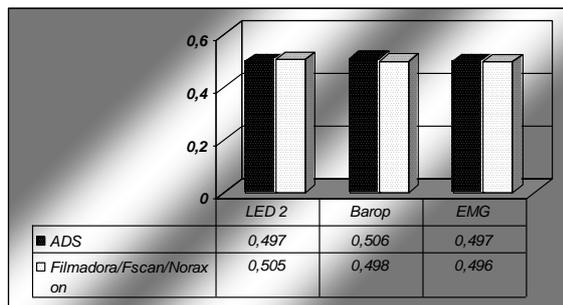


Gráfico 3 - Demonstração gráfica do período do segundo sinal enviado pelo sincronizador, referente ao tempo total (Tt) pré-programado para 5 segundos e adquiridos pelo ADS, pela filmagem do LED2, pelo baropodômetro e pelo eletromiógrafo (EMG).

Tabela 4 - Resultados quantitativos do primeiro sinal enviado pelo sincronizador, referente ao tempo total (Tt) pré-programado para 20 segundos e adquiridos pelo ADS, pela filmagem do LED1, pelo baropodômetro e pelo eletromiógrafo (EMG).

	Tempo Total 20 segundos								
	LED 1			Baropodômetro			EMG		
	ADS	Filmadora	difL	ADS	Fscan	difB	ADS	Noraxon	difE
20,077	20,070	-0,007	20,077	20,114	0,037	20,077	20,076	-0,001	
20,077	20,104	0,027	20,077	20,114	0,037	20,077	20,095	0,018	
20,077	20,103	0,026	20,077	20,114	0,037	20,077	20,091	0,014	
20,077	20,104	0,027	20,077	20,121	0,044	20,077	20,098	0,021	
20,077	20,104	0,027	20,077	20,121	0,044	20,077	20,085	0,008	
20,077	20,103	0,026	20,077	20,114	0,037	20,077	20,099	0,022	
20,077	20,104	0,027	20,077	20,121	0,044	20,077	20,077	0,000	
20,077	20,103	0,026	20,077	20,114	0,037	20,077	20,086	0,009	
20,077	20,070	-0,007	20,077	20,114	0,037	20,077	20,087	0,010	
20,077	20,070	-0,007	20,077	20,114	0,037	20,077	20,086	0,009	
20,077	20,104	0,027	20,077	20,114	0,037	20,077	20,101	0,024	
M	20,077	20,094	0,017	20,077	20,116	0,039	20,077	20,089	0,012
DP	0,000	0,016	0,016	0,000	0,003	0,003	0,000	0,008	0,008
Min	20,077	20,070	-0,007	20,077	20,114	0,037	20,077	20,076	-0,001
Max	20,077	20,104	0,027	20,077	20,121	0,044	20,077	20,101	0,024
Interv	0,000	0,034	0,034	0,000	0,007	0,007	0,000	0,025	0,025

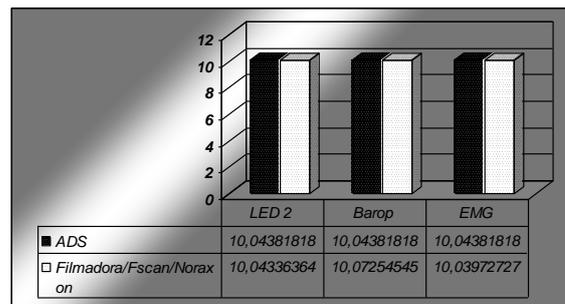


Gráfico 5 - Demonstração gráfica do tempo de início da ação do segundo sinal (Tt/2) enviado pelo sincronizador, referente ao tempo total (Tt) pré-programado para 20 segundos e adquiridos pelo ADS, pela filmagem do LED2, pelo baropodômetro e pelo eletromiógrafo (EMG).

Tabela 6 - Resultados quantitativos do período do segundo sinal enviado pelo sincronizador, referente ao tempo total (Tt) pré-programado para 20 segundos e adquiridos pelo ADS, pela filmagem do LED2, pelo baropodômetro e pelo eletromiógrafo (EMG).

	Período P/ Tt 20 seg								
	LED 2			Baropodômetro			EMG		
	ADS	Filmadora	difL	ADS	Fscan	difB	ADS	Noraxon	difE
0,497	0,517	0,020	0,508	0,481	-0,027	0,497	0,496	-0,001	
0,496	0,517	0,021	0,507	0,508	0,001	0,496	0,496	0,000	
0,497	0,517	0,020	0,505	0,501	-0,004	0,497	0,497	0,000	
0,497	0,517	0,020	0,509	0,481	-0,028	0,497	0,496	-0,001	
0,497	0,518	0,021	0,508	0,508	0,000	0,497	0,496	-0,001	
0,494	0,518	0,024	0,501	0,494	-0,007	0,494	0,497	0,003	
0,497	0,517	0,020	0,506	0,501	-0,005	0,497	0,497	0,000	
0,497	0,517	0,020	0,510	0,494	-0,016	0,497	0,496	-0,001	
0,497	0,484	-0,013	0,506	0,508	0,002	0,497	0,497	0,000	
0,497	0,484	-0,013	0,509	0,508	-0,001	0,497	0,496	-0,001	
0,497	0,517	0,020	0,508	0,501	-0,007	0,497	0,497	0,000	
M	0,497	0,511	0,015	0,507	0,499	-0,008	0,497	0,496	0,000
DP	0,001	0,013	0,014	0,002	0,010	0,011	0,001	0,001	0,001
Min	0,494	0,484	-0,013	0,501	0,481	-0,028	0,494	0,496	-0,001
Max	0,497	0,518	0,024	0,510	0,508	0,002	0,497	0,497	0,003
Interv	0,003	0,034	0,037	0,009	0,027	0,030	0,003	0,001	0,004

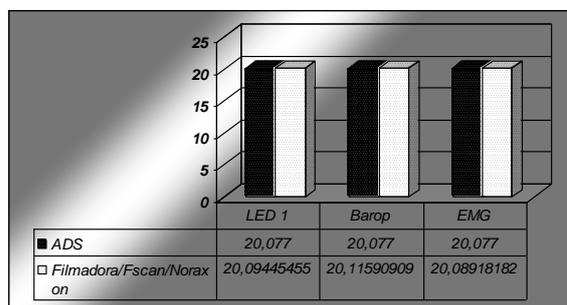


Gráfico 4 - Demonstração gráfica do primeiro sinal enviado pelo sincronizador e referente ao tempo total (Tt) pré-programado para 20 segundos e adquiridos pelo ADS, pela filmagem do LED1, pelo baropodômetro e pelo eletromiógrafo (EMG).

Tabela 5 - Resultados quantitativos do tempo de início da ação do segundo sinal (Tt/2) enviado pelo sincronizador, referente ao tempo total (Tt) pré-programado para 20 segundos e adquiridos pelo ADS, pela filmagem do LED2, pelo baropodômetro e pelo eletromiógrafo (EMG).

	Tt/2 para Tt 20 segundos								
	LED 2			Baropodômetro			EMG		
	ADS	Filmadora	difL	ADS	Fscan	difB	ADS	Noraxon	difE
10,044	10,043	-0,001	10,044	10,080	0,036	10,044	10,027	-0,017	
10,044	10,044	0,000	10,044	10,067	0,023	10,044	10,045	0,001	
10,044	10,043	-0,001	10,044	10,074	0,030	10,044	10,041	-0,003	
10,043	10,044	0,001	10,043	10,080	0,037	10,043	10,049	0,006	
10,044	10,043	-0,001	10,044	10,067	0,023	10,044	10,036	-0,008	
10,046	10,043	-0,003	10,046	10,074	0,028	10,046	10,049	0,003	
10,043	10,044	0,001	10,043	10,074	0,031	10,043	10,027	-0,016	
10,044	10,043	-0,001	10,044	10,074	0,030	10,044	10,037	-0,007	
10,043	10,043	0,000	10,043	10,067	0,024	10,043	10,038	-0,005	
10,043	10,043	0,000	10,043	10,067	0,024	10,043	10,037	-0,006	
10,044	10,044	0,000	10,044	10,074	0,030	10,044	10,051	0,007	
M	10,044	10,043	0,000	10,044	10,073	0,029	10,044	10,040	-0,004
DP	0,001	0,001	0,001	0,001	0,005	0,005	0,001	0,008	0,008
Min	10,043	10,043	-0,003	10,043	10,067	0,023	10,043	10,027	-0,017
Max	10,046	10,044	0,001	10,046	10,080	0,037	10,046	10,051	0,007
Interv	0,003	0,001	0,004	0,003	0,013	0,014	0,003	0,024	0,024

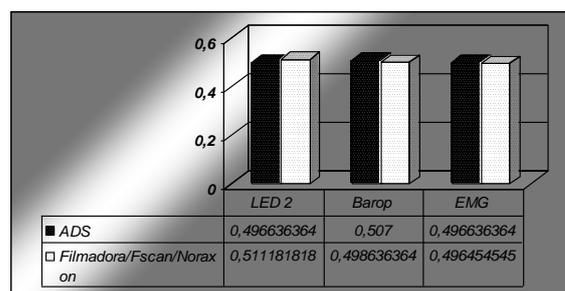


Gráfico 6 - Demonstração gráfica do período do segundo sinal enviado pelo sincronizador, referente ao tempo total (Tt) pré-programado para 20 segundos e adquiridos pelo ADS, pela filmagem do LED2, pelo baropodômetro e pelo eletromiógrafo (EMG).

4 DISCUSSÃO

Os estudos na área da biomecânica crescem cada vez mais, surgindo novas frentes de pesquisas e, conseqüentemente, novos equipamentos são lançados no intuito de facilitar a vida do pesquisador e do avaliador clínico. Já existe, no mercado, uma grande diversidade de equipamentos utilizados para análise biomecânica, fornecendo às instituições e aos pesquisadores uma gama de componentes que varia conforme a necessidade do que se vai analisar. Este trabalho foi desenvolvido objetivando a utilização dos

equipamentos existentes no Laboratório de Estudos do Movimento do Instituto de Ortopedia e Traumatologia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de São Paulo, de forma a potencializar a utilização destes e otimizar suas análises. Varias empresas (Vicon®, Motion Analysis®, Peak Performance®, além de outras) produzem dispositivos prontos para trabalharem em conjunto na análise das variáveis cinemáticas e cinéticas. Porém, tais equipamentos são de alto custo, dificultando o acesso a poucos laboratórios e, conseqüentemente, poucos pesquisadores têm o privilégio de utilizar estes produtos em suas atividades.

Sendo assim, um dispositivo de sincronização foi desenvolvido para integrar o baropodômetro (Fscan®), o eletromiógrafo (Noraxon®) e um sistema de filmagem analógica para análise cinemática, na tentativa de potencializar as avaliações que ocorrem no Laboratório de Estudo do Movimento.

Para a construção do sincronizador, foi utilizado um circuito integrado microcontrolador (PIC 16F84 - Microchip®) operando a uma frequência de 4 MHz. Este sincronizador foi programado para comandar, por meio de sinais elétricos, o início e o final das gravações de dados no baropodômetro e no eletromiógrafo e para acender e apagar os LEDs a serem filmados.

Na tentativa de se descobrirem às variações de tempo dos sinais enviados pelo PIC, utilizou-se o equipamento de aquisição de dados (ADS@-2000), que forneceu dados sobre os dois sinais enviados pelo sincronizador. O primeiro sinal foi programado para dar início à gravação dos equipamentos por um determinado tempo, denominado tempo total de gravação (Tt). Porém, se apenas este sinal fosse utilizado, não seria possível mensurar o tempo que cada equipamento utilizou para sair do momento estacionário e começar a gravar os dados da avaliação. Então, o sincronizador foi programado para enviar um segundo sinal. Assim, pôde-se estimar o instante em que este sinal entrou em ação (Tt/2) e verificar o atraso de cada equipamento em relação ao envio do sinal de gravação. O pulso foi programado para durar meio segundo, que é o período de duração do segundo sinal. Este período forneceu dados para se descobrir se todos os equipamentos possuem a mesma base de tempo.

Quando se analisaram os resultados obtidos com o ADS, para os experimentos com tempos pré-programados em 5 e em 20 segundos, pôde-se verificar que o tempo total (Tt) e o tempo de início do segundo sinal (Tt/2) não possuem variação entre os sinais do sincronizador (tabelas 1, 2, 4 e 5). Isto já era esperado devido à precisão do microcontrolador, que trabalha em alta frequência de processamento. Porém, quando se analisou o período, pôde-se verificar que o tempo do segundo sinal capturado pelo ADS, no canal referente ao baropodômetro, possuiu maior duração em relação ao tempo do segundo sinal capturado pelo ADS, nos canais referentes ao eletromiógrafo e à filmagem (tabelas 3 e 6). Provavelmente, isto ocorreu porque o sensor de pressão, no segundo sinal, foi pressionado por um atuador de pressão e este, quando deixava de ser energizado, ou seja, quando o sinal deixava de ser emitido, não possuía um dispositivo que fizesse sua haste voltar à posição inicial, então, o atuador demorou um certo tempo até

parar de estimular o sensor, aumentando a duração do período mensurado pelo ADS no canal referente ao Baropodômetro.

Quando se analisou a filmagem (60Hz – período de 17 milésimos de seg.) do LED1 e do LED2, tanto para tempo total pré-programado em 5 segundos como para 20 segundos, pôde-se verificar que os valores das variáveis tempo total (Tt), tempo de início do segundo sinal (Tt/2) e período do segundo sinal, tiveram variação de 2 quadros (períodos), ou seja, o erro máximo da filmagem foi de aproximadamente 35 milésimos de segundo (tabela 3). No entanto, quando os valores das filmagens foram comparados com seus valores correspondentes no teste com o ADS, pôde-se verificar que o erro máximo entre estas medidas foi de um quadro, ou seja, 17 milésimos de segundo (tabela 4).

Quando se analisaram os dados do baropodômetro (150 Hz – período de 7 milésimos de seg.), para tempo total pré-programado em 5 e em 20 segundos, pôde-se observar que os valores das variáveis tempo total (Tt) e tempo de início do segundo sinal (Tt/2) tiveram variação de no máximo 2 vezes o período referente à frequência do baropodômetro, ou seja, 14 milésimos de segundo (tabela 5). Já os valores da variável período do segundo sinal, se mostraram alterados em relação às variáveis Tt e Tt/2, chegando a atingir até 4 vezes o período referente à frequência do baropodômetro (tabela 6). Isso provavelmente ocorreu devido ao mesmo problema verificado com o valor obtido pelo ADS, que foi influenciado pelo atuador de pressão, como já descrito anteriormente. Quando comparados com os dados obtidos pelo ADS, os valores do baropodômetro, para variável tempo total, chegaram a 39 milésimos de segundo, demonstrando uma imprecisão no tempo de gravação, principalmente quando o tempo total foi pré-programado para 20 segundos (tabela 4). Para a variável tempo de início do segundo sinal, o erro encontrado (29 milésimos de segundo), provavelmente se deveu, novamente, ao problema com o atuador de pressão (tabela 5). Já para a variável período pôde-se observar que a variação foi de 8 milésimos de segundo para tempo total pré-programado em 5 e em 20 segundos.

Quando os dados do eletromiógrafo (EMG – 1000Hz) foram analisados, para tempo total pré-programado em 5 e em 20 segundos, pôde-se observar (tabela 4) que os valores das variáveis tempo total (Tt) e tempo de início do segundo sinal (Tt/2) tiveram variação de até em 25 milésimos de segundo. Já para o período do segundo sinal, a variação foi de 2 milésimos de segundo (tabelas 3 e 6). Com isto, pôde-se concluir que o eletromiógrafo tem um atraso em começar a gravar os dados das análises, porém, quando esses dados já estão sendo adquiridos, o atraso se torna nulo. Os valores do período do segundo sinal no EMG, comparados com aqueles referentes aos capturados pelo ADS, no canal correspondente ao eletromiógrafo, confirmam este dado, pois não há diferença entre eles.

É difícil o confronto destes dados com outros trabalhos, pois, estudos desta natureza não são realizados com frequência. Loss em 1997, demonstrou um método de sincronismo da cinemetria com a eletromiografia, mas não traz dados para comparação, apenas relata que a limitação da avaliação será dada

pela filmagem, pois esta possui a menor frequência de captura.

Sugere-se que pesquisas futuras adicionem mais câmeras filmadoras para verificar o atraso entre elas e também, que realizem os experimentos com o ADS no mesmo momento em que ocorre a análise utilizando o baropodômetro, o eletromiógrafo e a filmagem dos LEDs.

5 CONCLUSÕES

O atuador de pressão utilizado no experimento influenciou os resultados das variáveis referentes ao segundo sinal ($Tt/2$ e Período do segundo sinal), na baropodometria, porém o erro deste equipamento é menor do que a limitação da câmera filmadora, que trabalha a 60 hz., não sendo um fator limitante para a utilização do sincronizador.

O erro máximo encontrado no estudo foi de ± 1 período da câmera filmadora, ou seja, ± 17 milésimos de segundo. Com este atraso sugere-se que o sincronizador não seja utilizado para analisar movimentos de alta velocidade.

6 REFERÊNCIAS

- [1]. HAMILL, J.; KNUTZEN, K. M. Bases biomecânicas do movimento humano. Editora Manole Ltda: São Paulo, SP, 1999. 532p.;
- [2]. ZERNICKE, R.F.. The emergence of human biomechanics in: BROOKS, G. A. Perspectives on the academic discipline of physical education em: A Biodinâmica do Movimento Humano e Suas Relações Interdisciplinares. Editora Estação Liberdade, São Paulo, SP, 2000;
- [3]. WHITING, W. C.; ZERNICKE, R. F. Biomecânica da lesão. Editora Guanabara Koogan: Rio de Janeiro, RJ, 2001. 251p.;
- [4]. AMADIO, A.C; BARBANTI, V.J. A Biodinâmica do Movimento Humano e Suas Relações Interdisciplinares. Editora Estação Liberdade, São Paulo, SP, 2000. 269p.;
- [5]. SAAD, M.; BATISTELLA, L. R. . Análise de marcha – manual do CAMO-SBMFR. Editora Câmara brasileira do livro: São Paulo, SP, 1997. 190p.;
- [6]. PERRY, J.; Gait analysis – normal and pathological function. Editora Slack Incorporated: Thorofare, NJ, 1992. 534p.;
- [7]. WINTER, D. A. Biomechanics and motor control of human movement. 2nd edition. Wiley-Interscience Publication: New York, 1990. 277p.;
- [8]. SMITH, L. K. ET AL. Cinesiologia clínica de Brunnstrom. 5a ed. Editora Manole Ltda: São Paulo, SP, 1997. 538p.;
- [9]. AMADIO, A. C. Fundamentos biomecânicos para a análise do movimento humano. São Paulo, Laboratório de Biomecânica / EEFUSP, 1996. 162p.;
- [10]. GREGOR, R. J., BROKER, J. P., RYON, M. M.. The biomechanics of cycling. Exerc. sports science rev. 19:127-169, 1991 em HUNTER, A. M., GIBSON, A. S., LAMBERT, M., NOAKES, T. D.. Eletromyographic (EMG) normalization method for cycle fatigue protocols 34:857-860;
- [11]. LOSS, J. J.; SILVA, L. M. R.; ZARO, M.; GUIMARÃES, A. C. Sincronismo entre cinemática e

eletromiografia. Anais do VII congresso brasileiro de biomecânica, Campinas, SP, 1997, pág 453 a 456;

DEVELOPMENT OF A SYSTEM OF SYNCHRONIZATION EQUIPMENT BAROPODOMETRY, ELECTROMYOGRAPHY AND FILMING

Abstract

The aim of this study was synchronizing baropodometry and electromyography equipments with a videotape film for movement analysis. A synchronizer device was built to send two electronic signals. The first signal started baropodometer and electromyographer recording and lit a led (LED I) whose image was recorded by the camera. This signal lasted 5 or 20 seconds (total time, Tt), in two experiment series. A second signal, lasting 0.5 seconds, was sent at the middle of the first signal span (2.5 or 10 seconds, $Tt/2$). The second signal lit another led (LED II) and was recorded by the baropodometer and the electromyographer. Each experiment serie comprised 11 samples. Besides connecting the synchronizer signals to the equipments, another two experiment series were performed connecting the synchronizer outputs to a computer, through a data acquisition system (ADS), in order to measure time delay in equipment record starting. Total time (Tt), second signal onset time ($Tt/2$) and second signal duration were measured and compared. The results showed that maximum error in synchronizing was no greater than camera capturing frequency (60 HZ).

Keywords: Kinetics. Kinematics. Synchronization

