

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA

Carla Maia Aguiar Loula

**ANÁLISE DE VOLUMES PARCIAIS DO
TRONCO DURANTE A RESPIRAÇÃO POR
VIDEOGRAMETRIA**

Campinas

2005

Carla Maia Aguiar Loula

ANÁLISE DE VOLUMES PARCIAIS DO TRONCO DURANTE A RESPIRAÇÃO POR VIDEOGRAMETRIA

Dissertação de mestrado apresentada à Pós
Graduação da Faculdade de Educação Física da
Universidade Estadual de Campinas para obtenção
do título de Mestre em Educação Física.

Prof. Dr. Ricardo Machado Leite de Barros

Campinas

2005

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA
BIBLIOTECA FEF - UNICAMP**

L931a

Loula, Carla Maia Aguiar.

Análise de volumes parciais do tronco durante a respiração por videogrametria / Carla Maia Aguiar Loula. - Campinas, SP: [s.n], 2005.

Orientador: Ricardo Machado Leite de Barros.

Dissertação (mestrado) – Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas.

1. Biomecânica. 2. Respiração. 3. Respiração - Medição. I. Barros, Ricardo Machado Leite de. II. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação Física. III. Título.

Carla Maia Aguiar Loula

ANÁLISE DE VOLUMES PARCIAIS DO TRONCO DURANTE A RESPIRAÇÃO POR VIDEOGRAMETRIA

**Este exemplar corresponde à redação final da
dissertação de mestrado defendida por Carla
Maia Aguiar Loula e aprovada pela comissão
julgadora em 28/07/2005**

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ricardo Machado Leite de Barros (orientador)

Prof. Dr. Luiz Eduardo Barreto Martins

Claudio Alexandre Gobatto

Campinas

2005

*Ao meu esposo, Ângelo e minha filha,
Giulia, presentes de Deus na minha vida.*

Agradecimentos

À Deus, minha luz e fortaleza na realização deste trabalho.

Ao professor Ricardo pela sua preciosa orientação, paciência e exemplo de dedicação e responsabilidade profissional.

Aos membros da banca pelas críticas e valiosas sugestões.

Aos professores Barreto e René pela convivência amigável e enriquecedora.

À Ângela por todo amor e dedicação, por ser a felicidade, a força e essência de minha vida.

À minha mãe pelo amor e amizade únicos, pelo apoio e incentivo imensuráveis, agradeço por estar presente incondicionalmente em todas as etapas de minha vida.

À minha sogrinha, Rosaly, pela amizade e carinho. O seu incentivo foi precioso para esta conquista.

Aos amigos do LIB pelo afeto e companheirismo.

Aos queridos amigos Jackeline, Tarciana, André, Stela, Hiata, pela amizade e convivência especiais. Por compartilharem de minha felicidade, preocupações e conquistas.

Aos voluntários da pesquisa sem os quais não seria possível a realização deste trabalho.

A todos que, embora não nomeados, colaboraram direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

ANÁLISE DE VOLUMES PARCIAIS DO TRONCO DURANTE A RESPIRAÇÃO POR VIDEOGRAMETRIA

Carla Maia Aguiar Loula , Ricardo Machado Leite de Barros

palavras-chaves: Respiração, Volumes, Biomecânica

RESUMO

Este trabalho tem como finalidade propor e avaliar uma metodologia para cálculo da variação de volume no tronco durante a ventilação humana. Para isso foi utilizado um sistema de análise cinemática tridimensional de movimentos (Dvideow) para obter a descrição das coordenadas 3D de 30 marcadores fixados sobre referências anatômicas na caixa torácica e abdômen durante a ventilação. As medidas de volume foram calculadas a partir de um modelo geométrico de representação do tronco que o subdivide em 8 dodecaedros irregulares correspondendo aos volumes parciais do tronco (tórax superior, TX-S; tórax inferior, TX-I; abdômen superior, AB-S e abdômen inferior, AB-I). Para avaliação da metodologia foram realizados três experimentos; um compara os volumes obtidos através da videogrametria com os volumes de ar trocados entre os pulmões e o meio externo, medido através da espirometria; o segundo experimento analisa a reprodutibilidade do método proposto. Um terceiro experimento foi realizado para verificar a contribuição dos compartimentos para a variação do volume total no tronco. Para tanto foram analisados os volumes do tronco de 13 voluntários em duas manobras ventilatórias distintas, volume corrente (VC) e volume máximo (VM). Na comparação entre a videogrametria e espirometria, os resultados mostraram um coeficiente de correlação de 0.9938 entre as medidas de ar obtido pela espirometria e a variação do volume do tronco medida pela videogrametria. Contudo, os valores absolutos diferiram em até 0.6 litros na inspiração profunda. No teste de reposicionamento de marcadores encontrou-se uma variabilidade da ordem de 3% do volume total médio. Na análise da contribuição dos compartimentos para o volume total do tronco foi observada uma contribuição maior do tórax em relação ao abdômen nas duas manobras estudadas. Na análise dos compartimentos TX-S, TX-I, AB-S e AB-I os compartimentos TX-I e AB-S tiveram participação mais significativa que o TX-S, enquanto que o AB-I teve uma contribuição negativa para o volume total na manobra de VC. Na manobra de VM os resultados demonstraram uma contribuição semelhante entre os compartimentos TX-S, TX-I, AB-S, enquanto o AB-I, apresentou oposição de fase em alguns voluntários. De maneira geral os resultados evidenciaram sinais correlacionados entre as variações de volume do tronco e o sinal ventilatório e a videogrametria demonstrou ser um método eficiente na análise da contribuição dos compartimentos para a variação de volume total no tronco.

ANALYSIS OF TRUNK PARTIAL VOLUMES DURING THE BREATH BY VIDEOGRAMMETRIA

Carla Maia Aguiar Loula , Ricardo Machado Leite de Barros

Keywords: Breath, Volumes, Biomechanics

ABSTRACT

This work has the objective of proposing and evaluating a methodology to calculate the trunk volume variation during human respiration. Thereunto a three-dimensional movement kinematical analysis system (Dvideow) was used to obtain the 3D coordinate description of 30 markers attached over anatomical references in the rib cage and abdomen during breathing. The volume measures were calculated from a geometrical representation model for the trunk, which subdivides it in 8 irregular dodecahedrons, corresponding to partial volumes of the trunk. To evaluate the methodology, three experiments were done: one that compares the trunk volumes obtained by videogrammetry with the volume of air exchanged between the lungs and external medium, measured by spirometry; and a second analyzes the reproducibility of the proposed method. A third experiment was executed to verify the compartments contributions to the total trunk volume variation examining this variation in 13 volunteers in two distinct ventilatory maneuvers, tidal volume and maximum volume. In the comparison between videogrammetry and spirometry, results exhibit a correlation coefficient of 0.9938, however, absolute values differ up to 0.6 liters in deep inspiration. In the reproducibility test, it was determined a variability around 3% of the mean total volume. In the compartment contribution analysis, a greater contribution from the rib cage relative to the abdomen was observed in the two studied maneuvers. In the analysis of the subdivision of rib cage and abdomen compartments, the lower rib cage and the upper abdomen had a more significant participation that the upper rib cage, while the lower abdomen had a negative contribution to the total volume during tidal volume maneuvers. In the maximum volume maneuver, results demonstrate a similar contribution for the upper ribcage, lower ribcage and upper abdomen, while the lower abdomen, presented negative contribution. In the overall, results reveal correlated signals between the trunk volume variation and the ventilatory signal, and videogrammetry proved to be an efficient method for the analysis of compartment contribution for total trunk volume variation.

Lista de Figuras

Figura 1 - Esquema do laboratório com posicionamento das câmeras e voluntário.	14
Figura 2- Rastreamento dos marcadores durante o tracking das imagens.....	15
Figura 3 - Ilustração dos calibradores com e sistema de coordenada do laboratório.	16
Figura 4 - Marcador retrorefletivo de 5 mm de diâmetro.....	20
Figura 5 - Cadeira adaptada com regulagem de altura do assento e do apoio para membros superiores.....	20
Figura 6 - Localização dos marcadores presentes no tronco dos voluntários. A ordem numérica corresponde a utilizada na identificação dos marcadores na imagem.	21
Figura 7 - Modelo geométrico demonstrando os 8 dodecaedros, os vértices das figuras correspondem as coordenadas dos marcadores.	23
Figura 8 - Compartimentos do tronco. Na figura o TX-SD corresponde ao tórax superior direito, o TX-SE ao tórax superior esquerdo, TX-ID ao tórax inferior direito, TX-IE ao tórax inferior esquerdo, AB-SD ao abdômen superior direito, AB-SE ao abdômen superior esquerdo	24
Figura 9 – 6 tetraedros contidos em 1 dodecaedro. (a) Tetraedro com os vértices : 1, 4, 5, 21. (b) Tetraedro com os vértices : 1, 2, 5, 21. (c) Tetraedro com os vértices : 1, 2, 18, 21. (d) tetraedro com os vértices : 2, 17, 18, 21. (e) Tetraedro com os vértices : 2, 17, 20, 21. (f) Tetraedro com os vértices : 2, 5, 20, 21.....	25
Figura 10 - Dodecaedro mostrando um dos 6 tetraedros. Os vértices numerados do dodecaedro representam aos marcadores sobre o tronco, os vetores v e u correspondem ao lado do tetraedro e o vetor w corresponde a altura do tetraedro.	26
Figura 11 - Compartimentos do tronco. Na figura o TX-S representa o tórax superior, TX-I representa o tórax inferior, AB-S o abdômen superior, AB-I o abdômen inferior.....	27
Figura 12 - Curva de variação do volume do tronco durante a realização de manobra respiratória. O início da curva representa o volume inicial do tronco, as variações da curva correspondem a uma estimativa da troca gasosa entre o tronco e meio externo.....	28
Figura 13 - Curvas do volume nos compartimentos : Tórax superior (TX-S), Tórax inferior (TX-I), Abdômen superior (AB-S), Abdômen inferior (AB-I) durante a realização de manobra respiratória. O início de cada curva corresponde ao volume inicial de cada compartimento do tronco, as variações das curvas correspondem a troca gasosa entre cada compartimento e o meio externo. A linha tracejada delimita um ciclo respiratório. Dados referentes a manobra de Inspiração máxima em um voluntário.	29
Figura 14 - Representação dos dados brutos e filtrados com o filtro passa-baixa. Dados referentes ao volume total do tronco (VTr) em manobra de Inspiração máxima em um voluntário.	31
Figura 15 - Espectro de frequências superiores (entre 1 e 30 clicos/seg) onde encontra-se o ruído. No gráfico em cinza está o sinal da frequência dos dados brutos e em preto os dados após suavização. Figura ampliada, com corte na magnitude da frequência para melhor visualização do efeito do filtro.	32
Figura 16 – Imagem ampliada da sobreposição dos espectros de frequência do sinal do volume de ar no tronco (VTr). Para os dados brutos (linha com a marca *) e suavizados (linha contínua cinza)	32
Figura 17 - Resíduos do sinal do volume do tronco após a filtragem.	33
Figura 18 - Esquema para aquisição dos dados espirométricos.	36

Figura 19 – Sinal obtido no polígrafo para a calibração do volume realizado com a oferta de um volume conhecido de 3 litros através de uma seringa.	36
Figura 20 - Caracterização do voluntário para experimento simultâneo da videogrametria e espirometria.	38
Figura 21 - Variação do volume do tronco medido por videogrametria. Dados brutos	39
Figura 22 - Variação do volume do tronco medido por videogrametria, após subtração do volume médio do tronco . Dados filtrados.	39
Figura 23 - Dados brutos de volume obtidos com a espirometria, contendo drifts e resets em escala original.	40
Figura 24 - Sinal de volume do polígrafo após a remoção do reset, mostrando o drift e a equação da reta de regressão linear.	41
Figura 25 - Dados espirométricos com eliminação dos drifts e resets	41
Figura 26 - Comparação entre as variáveis volumétricas da espirometria e da videogrametria. ..	42
Figura 27 - Sinal obtido com a diferença entre o sinal da espirometria e videogrametria.	43
Figura 28- Regressão linear entre as variáveis do volume obtidas com a espirometria e videogrametria. Resíduos da regressão.	44
Figura 29 - Regressão linear entre as variáveis do volume obtidas com a espirometria e videogrametria durante a manobra de volume corrente (VC). Resíduos da regressão.....	44
Figura 30 - Regressão linear entre as variáveis do volume obtidas com a espirometria e videogrametria durante a manobra de volume máximo (VM). Resíduos da regressão.....	45
Figura 31 – Variação do volume do tronco em dois voluntários para teste do efeito do reposicionamento dos marcadores. Cada figura mostra 3 repetições de um mesmo voluntário com o tronco remarcado.	47
Figura 32 - Curvas do volume total do tronco (VTr) em função do tempo para os 6 voluntários do sexo feminino durante a manobra de VC.	53
Figura 33 -Curvas do volume total do tronco (VTr) em função do tempo para os 7 voluntários do sexo masculino durante a manobra de VC.	53
Figura 34 - Curvas do volume total do tronco (VTr) em função do tempo para os 6 voluntários do sexo feminino durante a manobra de VM. O voluntário nº 3 não realizou o 5º ciclo durante a coleta de dados.	54
Figura 35- Curvas do volume total do tronco (VTr) em função do tempo para os 7 voluntários do sexo masculino durante a manobra de VM.	54
Figura 36 – Boxplot com a distribuição dos valores médios do VTr dos 5 ciclos respiratórios durante a manobra de VC com separação de grupos por sexo.	56
Figura 37- Boxplot com a distribuição dos valores médios do VTr dos 5 ciclos respiratórios durante a manobra de VM com separação de grupos por sexo.	57
Figura 38 - Curvas dos volumes do tórax e abdômen em função do tempo durante a manobra de VC para 1 voluntário.	58
Figura 39 - Regressão linear entre as variáveis do volume do tórax e volume do abdômen durante a manobra de VC.	58
Figura 40 - Curvas dos volumes do tórax e abdômen em função do tempo durante a manobra de VM.....	59
Figura 41- Regressão entre as variáveis do volume do tórax e volume do abdômen durante a manobra de VM.....	59
Figura 42 – Boxplot com a distribuição do volume respiratório nos compartimentos do tórax e abdômen durante a manobra de volume corrente.	60

Figura 43 – Boxplot com a distribuição do volume respiratório nos compartimentos do tórax e abdômen durante a manobra de volumes máximo (VM) .	61
Figura 44 – Boxplot com a distribuição do volume respiratório nos compartimentos TX-S, TX-I, AB-S e AB-I durante a manobra de volume corrente (VC).	62
Figura 45 – Figura (A) -Volume nos compartimentos do tronco (TX-S, TX-I, AB-S E AB-I). Figura (B) – Volume total do tronco. A curva do volume do compartimento AB-I está em oposição de fase com os demais compartimentos do tronco e com a curva do volume total do tronco.	63
Figura 46 – Boxplot com a distribuição do volume respiratório nos compartimentos TX-S, TX-I, AB-S e AB-I durante a manobra de volume máximo (VM) .	64
Figura 47 - Boxplot com a distribuição percentual do volume nos compartimentos TX e AB na comparação entre a s manobras de volume corrente (VC) e Inspiração máxima (VM).	66
Figura 48 - - Boxplot com a distribuição percentual do volume nos compartimentos TX-S, TX-I, AB-S e AB-I na comparação entre a s manobras de volume corrente (VC) e Inspiração máxima (VM).	67

Lista de Tabelas

Tabela 1- Volumes trocados, obtidos com a espirometria e videogrmetria.	43
Tabela 2 - Idade e dados antropométricos dos voluntários do sexo feminino.....	49
Tabela 3 - Idade e dados antropométricos dos voluntários do sexo masculino.....	49
Tabela 4 - Volumes expiratórios máximos em litros nos 5 ciclos respiratórios e a média desses valores de cada voluntário durante a manobra de VC.	55
Tabela 5 - Volumes expiratórios máximos em litros nos 5 ciclos respiratórios e a média desses valores de cada voluntário durante a manobra de VM.	56
Tabela 6 - Coeficientes de correlação entre os compartimentos do tronco (TX-S, TX-I, AB-I e AB-I) durante a manobra de VC.....	65
Tabela 7 - Coeficientes de correlação entre os compartimentos do tronco durante a manobra de VM.....	65

Lista de Abreviaturas

AB	Abdômen
AB-I	Abdômen inferior
AB-ID	Abdômen inferior direito
AB-IE	Abdômen inferior esquerdo
AB-S	Abdômen superior
AB-SD	Abdômen superior direito
AB-SE	Abdômen superior esquerdo
CV	Capacidade vital
FR	Frequência respiratória
TX	Tórax
TX-I	Tórax inferior
TX-ID	Tórax inferior direito
TX-IE	Tórax inferior esquerdo
TX-S	Tórax superior
TX-SD	Tórax superior direito
TX-SE	Tórax superior esquerdo
VTr	Volume total do tronco
VC	Volume corrente
VM	Volume máximo

Sumário

1.	Introdução.....	1
2.	Objetivos.....	5
3.	Revisão da literatura	6
3.1	Principais metodologias para o estudo dos volumes respiratórios	7
3.1.1	Espirometria	7
3.1.2	Magnetometria.....	8
3.1.3	Pletismografia por indutância.....	8
3.1.4	Sistemas de análise por imagem.....	9
4.	Metodologia.....	12
4.1	Descrição do Sistema.....	13
4.1.1	Aquisição das imagens	13
4.1.2	Medidas das coordenadas - <i>Tracking</i>	14
4.1.3	Calibração das câmeras	15
4.1.4	Sincronização e reconstrução tridimensional das coordenadas	17
4.1.5	Testes de avaliação da calibração	18
4.1.6	Avaliação da acurácia do sistema.....	18
4.2	Preparação do Laboratório.....	18
4.3	Preparação dos voluntários.....	19
4.3.1	Representação do tronco.....	21
4.4	Variáveis experimentais	28
4.5	Tratamento dos dados.....	29
4.5.1	Suavização dos dados	30
5.	Resultados.....	34
5.1	Experimento 1 - Comparação entre a videogrametria e espirometria	34
5.1.1	Metodologia.....	35
5.1.2	Preparação do laboratório.....	37
5.1.3	Caracterização do voluntário.....	37
5.1.4	Procedimento experimental.....	38
5.1.5	Tratamento dos dados da videogrametria.....	38
5.1.6	Tratamento dos dados espirométricos	40
5.1.7	Resultados do experimento 1.....	42
5.2	Experimento 2 - Reprodutibilidade do método	46
5.2.1	Metodologia.....	46
5.2.2	Procedimento experimental.....	46
5.2.3	Variáveis experimentais	46
5.2.4	Resultados do experimento 2.....	47
5.3	Experimento 3 - Análise dos volumes parciais do tronco	48
5.3.1	Metodologia.....	48
5.3.2	Descrição dos voluntários.....	48
5.3.3	Procedimento Experimental	50
5.3.4	Variáveis experimentais	50
5.3.5	Testes estatísticos	50
5.3.6	Resultados do experimento 3.....	51

6.	Discussão	69
6.1	Modelo de representação do tronco.....	69
6.2	Discussão da Metodologia Proposta.....	70
6.3	Comparação entre as medidas de volume por videogrametria e espirometria	71
6.4	Reprodutibilidade do método	72
6.5	Volume total do tronco (VTr).....	72
6.6	Contribuições dos compartimentos TX e AB.....	72
6.7	Comportamento dos compartimentos TX-S, TX-I, AB-S e AB-I.....	73
7.	Conclusão	76
	Referências Bibliográficas.....	78
	Apêndice.....	83

1.Introdução

A respiração humana é um ato vital de extrema complexidade e importância, sendo alvo de interesses acadêmico e profissional. Por respiração entendem-se todos os processos que fornecem O₂ ao metabolismo intracelular, e que eliminam o CO₂, um dos produtos finais deste metabolismo, a fase da respiração que se trata da troca de ar entre o ambiente e o espaço intra-alveolar é definida como sendo a ventilação. As áreas comumente interessadas em estudos referentes à ventilação são a fisiologia, bioquímica, anatomia e biomecânica e têm o objetivo de entender cada vez mais os acontecimentos envolvidos na ventilação. Os conhecimentos dos aspectos funcionais e fisiológicos da respiração são fundamentais para o diagnóstico e controle evolutivo das doenças pulmonares como DPOC (doença pulmonar obstrutiva crônica), asma brônquica e processos restritivos pulmonares, assim como para a determinação do condicionamento físico e aptidões de pessoas interessadas em atividades esportivas.

Sabe-se que os movimentos de deformação do tórax e abdômen desenvolvidos durante a ventilação estão fortemente ligados a estes aspectos funcionais e fisiológicos, e são alvo de interesse para o conhecimento e caracterização de padrões durante a ventilação. Vários estudos desenvolvidos fizeram uma associação entre os movimentos do tórax e abdômen durante a ventilação e os volumes de ar trocado entre os pulmões e o meio externo (LEVINE et al., 1991; CALA et al., 1996), outros estudos vêm sendo desenvolvidos objetivando as diferenciações dos movimentos ventilatórios quanto ao sexo (VERSCHAKELEN e DEMEDTS, 1995), quanto à idade (ESTENNE; YERNAULT e DE TROYER, 1985; POULIN, 1994), quanto à posição adotada durante a respiração (BARNAS et al., 1993), durante a prática de atividades físicas (ALIVERTI et al., 1997) e também quanto a contribuição do tórax e abdômen para a ventilação (WARD; WARD e MACKLEM, 1992; CALA et al., 1996).

A ventilação é um ato dinâmico e dependente da ação da musculatura do tronco que, através da expansão e retração do gradil costal, gera variações volumétricas que produzem uma pressão interna menor que a externa, fazendo com que o ar atmosférico entre nos pulmões. No entanto, a distribuição desse ar dentro do pulmão gera a deformação e expansibilidade de regiões do tronco. As diversas formas como o tronco se deforma durante as inspirações e expirações caracterizam os padrões de comportamento ventilatório.

Sabe-se que a quantidade de ar trocada durante a ventilação depende da força dos músculos respiratórios e da intensidade da contração muscular. Numa inspiração de pequena amplitude, em repouso a principal ação muscular é a do diafragma, a expiração acontece por retração elástica do gradil costal e pulmão após o relaxamento deste músculo. As inspirações em grande amplitude envolvem uma ação muscular conjunta dos músculos inspiratórios, enquanto que a expiração torna-se ativa pela ação dos músculos abdominais, no entanto particularidades anatômicas e de condicionamento físico de cada indivíduo podem provocar variações quanto a forma de realização dos movimentos ventilatórios.

Apesar de os movimentos ventilatórios do tronco apresentarem particularidades, é possível identificar padrões de comportamentos comuns durante manobras respiratórias. Uma maneira de estudar padrões de comportamento respiratório é pela análise da participação dos compartimentos do tronco segundo suas variações volumétricas, constatando contribuições e diferentes interações entre eles.

Várias metodologias foram desenvolvidas e consagradas para esse fim; dentre elas a pletismografia por indutância, a magnetometria. Essas metodologias criaram formas de representação do tronco dividindo-o em compartimentos que acredita-se participarem de maneira distinta para a ventilação (KONNO e MEAD, 1967; GRIMBY; BUNN e MEAD, 1968; WARD; WARD e MACKLEM, 1992), outras metodologias utilizaram-se de modelos mais detalhados e técnicas mais sofisticados para representação do tronco, dentre elas estão os sistemas de análise por imagem que permite descrever com uma boa aproximação os movimentos realizados pelo tronco durante a ventilação (SAUMAREZ, 1986a; FERRIGNO et al., 1994; SCANO, 1999).

Uma metodologia promissora para estudo volumétrico do tronco é a videogrametria. Este método, aplicado a estudos biomecânicos, consiste na análise espacial de imagens de vídeo obtidas durante as atividades de interesse. Essas imagens são digitalizadas e, através de um

software especialmente desenvolvido para análises cinemáticas, são calculadas as coordenadas espaciais de pontos específicos da imagem, e realizada a reconstrução tridimensional do objeto de estudo a partir de imagens deste mesmo tópico por diversas câmeras, permitindo uma avaliação quantitativa dos dados obtidos, além da avaliação qualitativa das imagens. Esta metodologia permite medidas diretas dos volumes do tronco e a obtenção de volumes parciais, sendo possível o estudo dos padrões de movimentação relativa ou coordenação desses volumes parciais em diferentes populações ou situações. O avanço recente desta metodologia deve-se em parte ao grande desenvolvimento tecnológico na área de computação permitindo maior poder de processamento das imagens adquiridas. Neste trabalho a videogrametria é utilizada para análise de volumes parciais do tronco durante a ventilação em duas manobras distintas, volume corrente e volume máximo.

Apesar de os eventos ventilatórios terem sido bastante estudados, as pesquisas relacionadas à ventilação ainda são insuficientes para uma explicação completa sobre o comportamento do tronco durante o ato da ventilação. As metodologias utilizadas para a pesquisa nessa área, tais como a magnetometria e pletismografia, trouxeram avanços significativos para a compreensão dos mecanismos e mensurações do comportamento ventilatório. Outro método importante para o estudo dos volumes respiratórios é a espirometria, sendo um método amplamente utilizado para diagnósticos de doenças relacionadas ao sistema respiratório e bastante difundido em estudos comparativos do sistema respiratório, servindo de base para validação de outras metodologias. As informações obtidas por esses métodos tradicionais, no entanto, referem-se a volumes totais ou possuem limitações na compartimentação do tronco. Além disso, tais métodos baseiam-se em medidas indiretas ou em fluxo respiratório para estimar o volume do tronco e de seus compartimentos.

Para análise mais detalhada e ampliação das possibilidades de avaliação dos eventos ocorridos durante a ventilação, a videogrametria oferece um método não-invasivo para estudo apropriado do comportamento dos compartimentos do tronco em diversas manobras respiratórias, utilizando um modelo de representação do tronco que permite avaliar a contribuição de diversas regiões do tronco para o evento da ventilação.

O estudo dos movimentos ventilatórios e a identificação de seus padrões de movimentação permitem conhecer melhor a ação das diversas regiões do tronco durante a

realização de manobras respiratórias. Tal conhecimento possibilita entre outras coisas verificar possíveis alterações relativas a padrões normais de deformação do tronco durante a ventilação, diagnosticar e acompanhar a evolução de doenças pulmonares, e ainda, no caso de atletas e praticantes de atividades esportivas, otimizar a função da musculatura respiratória visando ao melhor desempenho nestas atividades.

2. Objetivos

Objetivo geral:

Este trabalho tem como objetivo propor e avaliar uma metodologia baseada em videogrametria para a análise da variação de volumes parciais do tronco durante a realização de manobras respiratórias.

Objetivos específicos:

1. Proposição e avaliação de um método baseado em videogrametria para determinação dos volumes parciais e total do tronco.
 - 1.1. Proposição de um modelo geométrico de representação do tronco que permita a determinação de volumes parciais e total do tronco.
 - 1.2. Comparação do método proposto com a espirometria visando avaliar a correlação existente entre os resultados obtidos entre os dois métodos. Avaliar a reprodutibilidade do modelo na obtenção das medidas volumétricas.
2. Aplicar o modelo proposto para mensurar a variação volumétrica nos compartimentos do tronco em indivíduos normais, durante a realização das manobras de volume corrente (**VC**) e inspirações e expirações máximas (**VM**).

3. Revisão da literatura

Devido à grande importância da respiração como um ato vital, uma grande quantidade de técnicas vem sendo desenvolvida e aprimorada para investigação de eventos referentes à ventilação. Uma tendência no desenvolvimento dessas metodologias é a busca por métodos que cada vez mais possam fornecer informações relevante para a compreensão da função pulmonar. Os movimentos tóraco-abdominal e a contribuição relativa das excursões da caixa torácica e do abdômen para o volume corrente vêm sendo empregados para acessar indiretamente a função dos músculos respiratórios, para tanto diferentes modelos do tronco e métodos de análise foram propostos.

A partir do modelo mecânico introduzido por Konno e Mead (1967), o qual dividiu o tronco em dois compartimentos distintos (caixa torácica e abdômen), os movimentos tóraco-abdominais durante a respiração passaram a ser estudados baseado na análise de regiões da superfície do tronco, vários sistemas indiretos e não invasivos passaram a ser usados, como os métodos da magnetometria e pletismografia respiratória por indutância e análise por imagem. Uma vantagem inerente a estes métodos é o fato de serem não invasivos, portanto não alteram o padrão normal da respiração, pois não oferecem resistência ao fluxo aéreo. Outro método utilizado para a avaliação da função pulmonar é a espirometria, sendo um método bastante difundido e de referência para a validação de pesquisas referentes ao sistema respiratório, trata-se também de um método não invasivo, porém, oferece resistência ao fluxo de ar.

Este capítulo tem por finalidade apresentar algumas das metodologias utilizadas como forma de investigação do volumes respiratórios e expor os principais trabalhos e suas contribuições para as áreas de interesse no assunto.

3.1 Principais metodologias para o estudo dos volumes respiratórios

Entre os métodos mais utilizados para o estudo do sistema respiratório estão a espirometria, a magnetometria, a pletismografia e os sistemas de análise por imagem.

3.1.1 Espirometria

Os primeiros trabalhos descritos na literatura visavam quantificar o volume de ar trocado nos pulmões durante a ventilação, atualmente a espirometria é o método de avaliação e diagnóstico mais amplamente utilizado em clínicas e consultórios e visam ao conhecimento da função pulmonar (PEREIRA et al., 1992).

A espirometria é uma prova funcional respiratória que avalia as propriedades mecânicas do sistema respiratório, trata-se de medidas dos fluxos gerados durante ciclos respiratórios basais ou forçados e medidas da capacidade volumétrica, débitos expiratórios e da observação das curvas volume-tempo, os valores obtidos devem ser comparados a valores previstos adequados para a população avaliada. É um método utilizado tanto no diagnóstico de alterações da função pulmonar, na avaliação da progressão de doenças respiratórias e sua resposta ao tratamento, como também na avaliação da função cárdio-respiratória em atletas.

Vale a pena lembrar que a espirometria mede os volumes de ar que entram e saem pelas vias aéreas e não aqueles que persistem nos pulmões após uma expiração máxima. Então a espirometria não mede volume residual, capacidade residual funcional e capacidade pulmonar total. O princípio de medição da espirometria não prevê a identificação das regiões do tronco do sujeito responsáveis pela geração dos volumes parciais que são totalizados na espirometria. Esta análise pode ser de interesse no estudo das alterações de padrões respiratórios devidos ao exercício (ANDREW et al., 1972), doença pulmonar obstrutiva crônica (SACKNER et al., 1984; LOVERIDGE et al., 1986) entre outras aplicações.

A espirometria, por ser um teste dependente do esforço, motivação e compreensão do sujeito, possui algumas especificidades que interferem nos seus resultados. Para obter resultados satisfatórios é necessária uma instrução cuidadosa e cooperação por parte do indivíduo testado, pessoas com incapacidade física, crianças menores de 5 anos e a falta de habilidade do sujeito

para realização das manobras espirométricas são fatores que impossibilitam a análise correta dos resultados.

3.1.2 Magnetometria

O interesse em quantificar os volumes parciais do tronco durante a ventilação, a possibilidade de se estudar padrões respiratórios e a possibilidade de correlacionar estes dados com a ação de grupos musculares específicos incitou o desenvolvimento de métodos de medição da movimentação do tronco. Konno e Mead (1967) podem ser considerados pioneiros nessa área. Os autores propuseram um modelo de dois compartimentos para representar o tronco, dividindo-o em tórax e abdômen. Eles utilizaram um sistema de transdutores que capta as alterações dos diâmetros antero-posteriores da parede torácica, os pares de sensores são responsáveis por geração e captação de campos magnéticos, colocados em posições diametralmente opostas na superfície da caixa torácica e abdômen, as alterações no diâmetro antero-posterior foram relacionadas e as modificações do diâmetro vertical desprezadas.

A magnetometria mensura a distância entre os sensores posicionados no tronco por meio das alterações no campo magnético gerado. Este método foi utilizado para calcular indiretamente o volume pulmonar ao final da expiração, utilizando para isto equações de regressão.

Levine et al. (1991) desenvolveram um magnetômetro triaxial utilizando quatro sensores posicionados na superfície anterior e posterior do tórax e abdômen. Por este método, compararam as diferenças entre as distâncias dos sensores do magnetômetro com o volume medido pela espirometria, obtendo um R^2 de 0.961. Os movimentos tridimensionais dos sensores foram medidos durante a Ventilação Voluntária Máxima (VVM) de quatro sujeitos e observaram que os movimentos céfalo-caudais excederam os movimentos ântero-posteriores durante a realização dessa manobra.

3.1.3 Pletismografia por indutância

Este método foi introduzido como dispositivo não invasivo de monitorização respiratória, sendo utilizado para avaliação dos movimentos do tórax e do abdômen. A pletismografia mede a área de secções transversais do tórax e abdômen por alterações na indutância gerada por cintos expansivos envoltos ao tórax e abdômen do sujeito. São utilizados dois cintos, elásticos, um ao redor da caixa torácica e outro ao redor do abdômen (WATSON; POOLE e SACKNER, 1988).

Durante a ventilação, as mudanças da área de secção transversal da parede torácica alteram a indutância dos sensores, e deste modo, as áreas de secção transversal do tórax e abdômen podem ser medidas (LOPATA; ORGANEK e ONAL, 1985). A pletismografia respiratória por indutância é calibrada através de um espirômetro, e assim os movimentos da caixa torácica e abdômen podem ser correlacionados às suas respectivas variações de volume (WATSON; POOLE e SACKNER, 1988).

Utilizando a pletismografia, Ward et al (1992) apresentaram um modelo de representação do tronco composto de três compartimentos: tórax pulmonar, que segundo os autores reflete a ação dos músculos escalenos e paraesternais; tórax abdominal, que reflete a ação do músculo diafragma em sua porção costal, e o abdômen, representando a área de aposição diafragmática.

A pletismografia tem a vantagem de incorporar os movimentos laterais do tronco, e não apenas os movimentos antero-posteriores, podendo refletir os deslocamentos de cada compartimento com maior acurácia (LOPATA; ORGANEK e ONAL, 1985). Tanto a pletismografia quanto a magnetometria não impõe resistência ao fluxo aéreo, porém, tem a desvantagem de não medirem diretamente as variações volumétricas, mas sim as variações da área da secção transversal do tronco (pletismografia), ou as variações nas distâncias entre os sensores (magnetometria) e correlacionam as medidas às variações volumétricas. Lopata et al (1985) compararam os métodos da pletismografia e a magnetometria durante a ventilação em volume corrente nas posições em pé e em supino e encontram os seguintes valores de correlação: $r=0.647$ e $r=0.654$ para o tórax e abdômen, respectivamente, entre as duas metodologias.

3.1.4 Sistemas de análise por imagem

O avanço na área da informática proporcionou a criação de novos sistemas com a intenção de ampliar as possibilidades de análises que não são possíveis de serem realizadas com os métodos anteriores. Saumarez (1986) utilizou três projetores e duas câmeras de vídeo para a reconstrução da superfície do tronco.

Outro sistema utilizado para reconstrução de coordenadas e avaliação tridimensional das mudanças volumétricas da parede do tronco é o ELITE (Elaboratore di Immagini Televisive). Em 1994, Ferrigno et al. utilizando este sistema para análise cinemática tridimensional baseado em luz infra-vermelha (ELITE), reconstruíram a posição espacial de marcadores sobre o tronco dos

sujeitos e, geometricamente, determinaram o volume total e os volumes parciais encerrados pelos pontos, segundo um modelo previamente estabelecido. Cala et al. (1996) analisaram o movimento tóraco-abdominal utilizando também um sistema óptico. Para tal estudo foram utilizados 86 marcadores reflexivos e hemisféricos, posicionados em referências anatômicas do tronco. Dessa forma calcularam o volume do tronco e compararam os volumes inspiratórios e expiratórios com os volumes obtidos na espirometria, encontrando um alto valor de correlação ($r = 0.995$) entre os resultados obtidos com os dois métodos.

O sistema Dvideow (BARROS et al., 1999; FIGUEROA; LEITE e BARROS, 2003), desenvolvido no Laboratório de Instrumentação para Biomecânica da Faculdade de Educação Física da Unicamp, foi utilizado anteriormente para o estudo dos padrões do movimento respiratório em mulheres praticantes de yoga comparado com mulheres sedentárias, os autores calcularam a variação da área das superfícies do tórax e abdômen e por correlação entre os movimentos realizados pelos dois compartimentos, verificaram diferenças significativas no padrão de movimentação da caixa torácica e do abdômen entre os dois grupos estudados (LEITE et al., 1999).

O mesmo sistema de análise cinemática foi empregado para análise da movimentação da caixa torácica durante a ventilação, sendo detectados os movimentos angulares das costelas durante a ventilação em manobras respiratórias de pequena e grande amplitude (SARRO, 2003).

Apesar das diversas pesquisas desenvolvidas para o estudo dos aspectos funcionais e fisiológicos da ventilação e sabendo que os movimentos do tronco durante as inspirações e expirações têm influência direta sobre o volume trocado entre o pulmão e o meio externo, a contribuição de cada área do tronco para o evento da ventilação ainda não foi completamente esclarecida. As pesquisas desenvolvidas na área como a magnetometria e a pletismografia dividem o tronco em um número limitado de compartimentos, devido à instrumentação, e seus resultados são dependentes do posicionamento dos sensores.

O modelo de representação do tronco proposto por Ferrigno et al. (1994) é o mais amplo no estudo dos volumes em compartimentos do tronco, dividindo o tronco em 3 compartimentos: tórax superior, tórax inferior e abdômen e fazem medidas direta do volume, porém esse modelo de representação do tronco descarta a influência dos movimentos do baixo ventre e pelve para a ventilação. Em resumo, a literatura pesquisada mostrou que diversas metodologias foram

utilizadas na investigação dos volumes do tórax e abdômen durante a ventilação e alguns modelos de representação foram propostos. Entretanto, nenhum trabalho foi encontrado que tenha proposto a análise de volumes parciais do tronco por videogrametria. Além disso, as relações entre as variações de volume do tronco medidas por métodos ópticos e de volume de ar, medido pela espirometria, carecem de compreensão mais ampla.

4. Metodologia

Neste trabalho foram realizados 3 experimentos distintos. No primeiro foi feita a comparação entre a variação do volume do tronco obtido por videogrametria e o volume de ar trocado obtido pela espirometria. No segundo experimento foi realizado um teste da reprodutibilidade do método a partir de remarcações do tronco visando analisar o efeito do reposicionamento dos marcadores. No último experimento foi feita a aplicação da metodologia para análise da participação de diversos compartimentos do tronco para a ventilação e diferentes interações entre esses compartimentos.

A metodologia a ser apresentada pode ser sintetizada nas seguintes etapas:

a) Aquisição de imagens de vídeo para análise cinemática dos movimentos do tronco durante a realização de manobras respiratórias. Para este fim foram utilizadas 5 câmeras de vídeo, cada uma conectada a um microcomputador e foi aplicado de um sistema para análise cinemática, processamento das imagens e reconstrução tridimensional destas.

b) Determinação de variáveis volumétricas a partir de um modelo geométrico de representação do tronco. Esta representação envolve 30 marcadores passivos, que encerram o volume do tronco. Este modelo permite a divisão do tronco em compartimentos menores, anatomicamente definidos para o estudo da participação de cada região individual.

c) Tratamento dos dados volumétricos. Os dados volumétricos brutos foram suavizados para eliminação de ruído proveniente da aquisição e processamento dos dados. Após esta etapa, foram quantificados os volumes inspiratórios e expiratórios a cada ciclo.

4.1 Descrição do Sistema

O sistema utilizado para análise cinemática foi o *Dvideow - Digital Vídeo for Biomechanics for Windows*, desenvolvido no Laboratório de Instrumentação para Biomecânica da faculdade de Educação Física da UNICAMP (FIGUEROA; LEITE e BARROS, 2003) Esse sistema consiste na utilização de equipamentos não dedicados e um programa de computador, sendo que o equipamento necessário para o seu funcionamento são: câmeras de vídeo, conversor analógico digital para o sinal de vídeo, microcomputador e tripés para câmera de vídeo (BARROS et al., 1999).

O sistema *Dvideow* obtém as coordenadas tridimensionais de marcadores passivos a partir de imagens obtidas por câmeras de vídeo, podendo ser utilizado amplamente na análise biomecânica do movimento humano, tanto na avaliação da performance nos esportes e de atividades da vida diária, como andar e correr, mas também para diagnósticos de anomalias do sistema locomotor e para avaliação da evolução clínica desta anomalia.

Neste trabalho o sistema é utilizado na análise dos movimentos do tronco durante a ventilação humana. Para tanto foi necessário o desenvolvimento metodológico específico para este fim, a aquisição de imagens de vídeo durante a realização de manobras respiratórias, o processamento das imagens e obtenção das coordenadas espaciais de marcadores fixados ao tronco e, posteriormente, a reconstrução tridimensional dos movimentos do tronco.

4.1.1 Aquisição das imagens

Foram utilizadas 5 câmeras de vídeo digitais padrão NTSC da marca JVC modelo GR-DVL 9500 conectadas a 5 microcomputadores. As câmeras foram ajustadas visando ao aumento da qualidade final da imagem registrada; parâmetros como a luminosidade, resolução espacial e temporal, assim como o foco foram ajustados e mantidos inalterados durante todo o procedimento de aquisição das imagens, garantindo os mesmos parâmetros da câmera para a calibração e aquisição de dados para todos voluntários. Quando necessária a realização de novos ajustes nesses parâmetros das câmeras todo o procedimento para calibração foi repetido.

As câmeras foram posicionadas na seguinte disposição: uma anteriormente ao voluntário, duas nas diagonais anteriores e duas nas diagonais posteriores (Figura 1), desta forma, cada ponto de interesse no tronco pode ser visualizado por no mínimo duas câmeras.

O procedimento de obtenção das imagens foi acionado por um pesquisador que, a partir de um computador denominado *master*, tinha o controle das cinco imagens captadas por cada computador. A coleta dos dados foi realizada de forma *on line* com frequência de amostragem de 60 *fields/s*. Os movimentos ventilatórios registrados foram armazenados como seqüências de imagens em arquivos de formato avi (*Audio Vídeo Interlaced*). Esses arquivos foram utilizados como dados para o processo de medição no *Dvideow*.

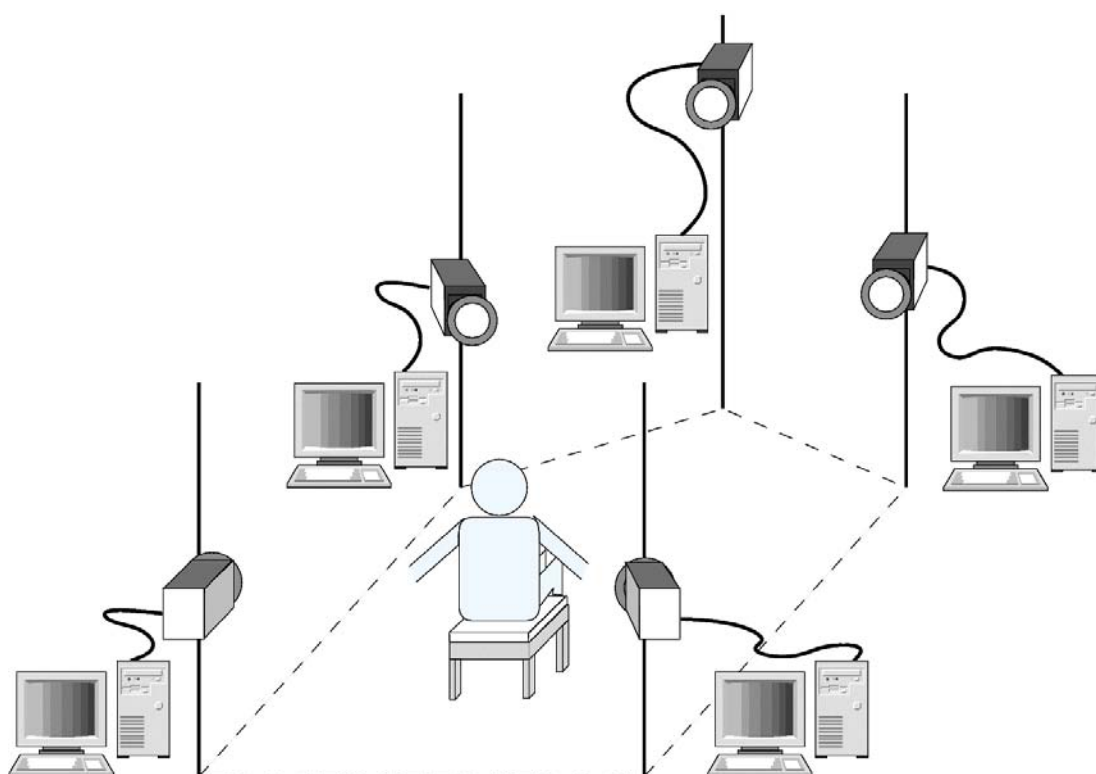


Figura 1 - Esquema do laboratório com posicionamento das câmeras e voluntário.

4.1.2 Medidas das coordenadas - *Tracking*

Tracking é o procedimento de rastreamento dos marcadores na seqüência de imagens, uma vez que a localização destes não é fixa, pois estão em movimento durante a ventilação. Neste processo, obtêm-se as coordenadas de tela de cada marcador, juntamente com sua identificação numérica. A identificação numérica inicial dos marcadores foi feita na tela do *Dvideow* em um primeiro quadro da imagem pelo usuário operador. Para as medidas aplicamos uma combinação de algoritmos matemáticos de rastreamento e aferição selecionados para esse

fim. Os algoritmos utilizados para o *tracking* foram inversão, erosão e *get markers*, realizando o procedimento de *tracking* descrito por Barros et al. (1999). Após a identificação inicial dos marcadores e a seleção dos algoritmos por um operador, as medidas de rastreamento podem ser realizadas automaticamente. O *tracking* pode ser visualizado na Figura 2 .



Figura 2- Rastreamento dos marcadores durante o tracking das imagens.

4.1.3 Calibração das câmeras

A descrição da localização tridimensional de um marcador presente em uma imagem é possível se for conhecida a transformação que faz a correspondência entre as coordenadas de tela do marcador e suas coordenadas tridimensionais dadas segundo um referencial. Para isso é necessário obter as matrizes de calibração de cada câmera, calculada a partir de pontos com coordenadas de tela e tridimensionais conhecidas, que são informadas ao sistema *Dvideow* para a reconstrução tridimensional dos marcadores.

O sistema de coordenadas do laboratório é feito com auxílio de fios de prumos, que demarcam o volume usado para enquadramento das câmeras e posicionamento do tronco dos

voluntários. Cada fio é constituído de cabo de aço, um pêndulo e esferas retrorefletivas de 15 mm de diâmetro, num total de 28 esferas por fio de aço, com distância de 10 cm entre as esferas.

O espaço a ser calibrado foi demarcado pelos fios de prumo fixados a um sistema de trilhos existentes no teto do laboratório. Para este trabalho foram colocados 4 fios de prumo fixados ao teto, de maneira a formar um retângulo de 40,5 cm de largura, 29 cm de comprimento (Figura 3).

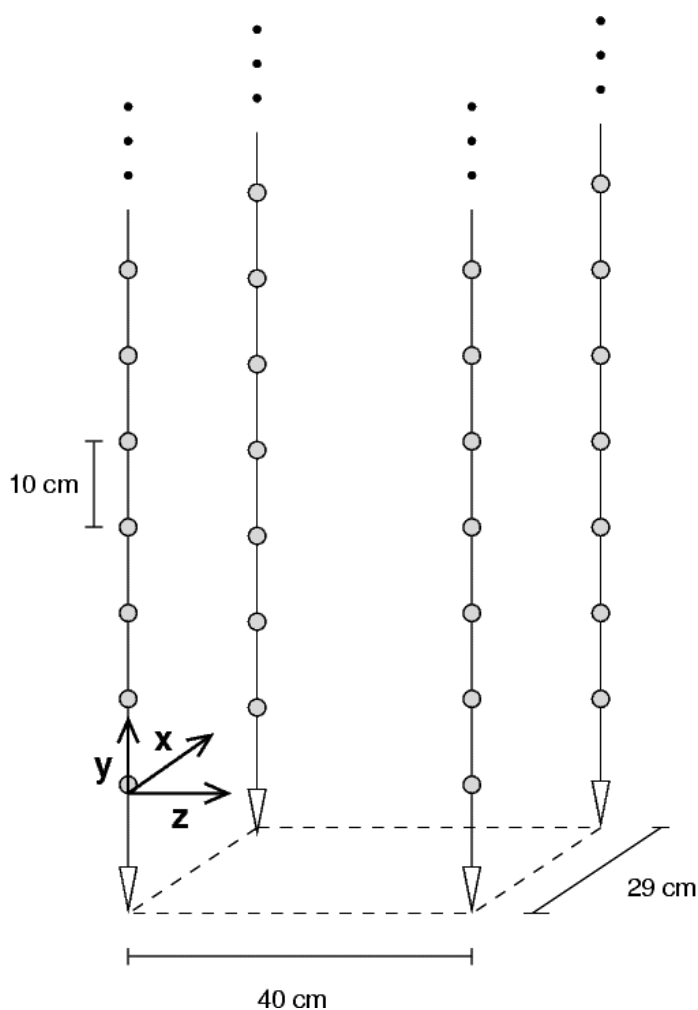


Figura 3 - Ilustração dos calibradores com e sistema de coordenada do laboratório.

As coordenadas tridimensionais de cada esfera foram feitas fixando a origem na primeira esfera de um dos prumos e conhecendo as distâncias entre as esferas, assim como as distâncias entre os prumos. Os eixos X, Y, Z foram definidos conforme demonstrado na Figura 3. Essas

medidas foram obtidas de forma direta e formam a matriz com os dados de referência do laboratório. O conjunto de medidas é então fornecidas ao sistema *Dvideow* para obtenção das matrizes de calibração.

Para obtenção dos dados necessários à calibração do sistema é necessário o registro de imagens dos fios de prumos, devidamente posicionados no laboratório, no momento da coleta de dados. Após esse registro, o posicionamento das câmeras e seu foco são mantidos para garantir os mesmos parâmetros durante a coleta dos dados nos voluntários.

Concluída a aquisição das imagens dos fios de prumo para calibração, estes são retirados e os registros das imagens do tronco durante manobras respiratórias são realizados. Esse procedimento deve ser repetido caso ocorra alteração no foco de qualquer câmera ou mudanças no posicionamento das mesmas.

A partir das imagens de cada câmera dos fios de prumos, os marcadores posicionados nos fios são selecionados e medidos nas imagens, obtendo-se as coordenadas de tela destes marcadores. Para cada câmera é determinada a matriz de calibração, pelo procedimento de calibração do método DLT (*Direct Linear Transformation*), proposto por Abdel-Aziz e Karara, (1971) e implementado no sistema *Dvideow*.

4.1.4 Sincronização e reconstrução tridimensional das coordenadas

O início dos registros de imagens pelas câmeras, não são necessariamente simultâneos e podem apresentar também diferenças no número total de quadros filmados. Devido a defasagem temporal entre as imagens registradas, é necessário sincronizar as imagens para garantir uma equivalência entre os registros.

Essa sincronização foi feita adicionando um sinal de áudio simultaneamente captado junto aos registros de vídeo das câmeras. O sinal de áudio foi gerado através de um CD e transmitido para rádio-receptores conectados à entrada de áudio de cada câmera (BARROS et al., *prelo*). Este sinal de áudio é identificado pelo sistema *Dvideow*, na sequência das imagens das diferentes câmeras, determinando-se a defasagem temporal entre os registros de cada câmera. Eliminando esta defasagem, os registros são reconstruídos obtendo a descrição tridimensional de cada marcador fixado ao tronco do voluntário durante a realização das manobras ventilatórias. Essa

reconstrução gerou arquivos em formato 3D, constituídos por uma matriz com as coordenadas X, Y e Z de cada marcador retrorrefletivo em função do tempo.

4.1.5 Testes de avaliação da calibração

A avaliação da calibração foi feita a partir do tracking de esferas dos prumos e reconstrução tridimensional das coordenadas espaciais dessas esferas. As coordenadas geradas por essa reconstrução (arquivo 3D) foram comparadas com as coordenadas reais obtidas por medida direta. A comparação foi feita através de uma rotina desenvolvida no software Matlab e quando encontrada uma diferença entre as coordenadas X,Y e Z , entre as medidas do arquivo reconstruído (medidas da imagem) e a matriz de calibração (medidas direta) a calibração do sistema era repetida.

4.1.6 Avaliação da acurácia do sistema

A acurácia do sistema na determinação de volumes no espaço foi descrita anteriormente por Sarro (2003). Para sua verificação foi realizado um experimento, no qual foi reconstruído o movimento de um corpo rígido com marcadores fixos sobre ele, sendo calculada a distância entre dois marcadores de maneira direta e a partir das coordenadas tridimensionais obtidas pelo sistema Dvideow. A acurácia (a) foi estimada pela seguinte expressão:

$$a^2 = b^2 + p^2$$

em que b é o erro sistemático, isto é, a diferença entre o valor médio observado e o valor esperado (*bias*), e p é a precisão, dada pelo desvio-padrão das medidas.

No teste de acurácia a análise da distância entre os dois marcadores teve valor esperado igual a 138,25 mm, o valor médio medido pelo sistema foi igual a 137,3 mm, e portanto um *bias* igual a 0,9 mm, com uma precisão de 2,5 mm, o que nos levou a uma acurácia de 2,4 mm.

4.2 Preparação do Laboratório

As coletas de dados foram realizadas no Laboratório de Instrumentação para Biomecânica da Faculdade de Educação Física da UNICAMP. O laboratório foi especialmente preparado para as coletas obtendo-se um ambiente o mais adequado à aquisição das imagens durante a realização das manobras ventilatórias.

Foram utilizadas 5 câmeras de vídeo, digitais, padrão NTSC da marca JVC modelo GR-DVL 9500 conectadas a 5 microcomputadores interligados por rede. As câmeras foram posicionadas sobre tripés e à frente e abaixo de cada uma delas foram acoplados iluminadores. Os iluminadores têm a finalidade de refletir os marcadores, tornando-os mais fáceis de serem identificados e rastreados pelo sistema Dvideow. As câmeras e iluminadores foram direcionados para o centro do laboratório de forma a enquadrar um volume de 40,5 cm de largura, 29 cm de comprimento e a altura ajustada individualmente para cada voluntário. Os voluntários foram preparados anteriormente à coleta de dados e posicionados no centro do laboratório, sentados em cadeira confeccionada para o experimento, permitindo a regulagem da altura do assento, e da altura e largura do apoio para os membros superiores. O posicionamento do voluntário e a disposição das câmeras garantiram a visualização de todos os pontos de interesse do tronco por no mínimo duas câmeras, para garantir a reconstrução tridimensional (Figura 1).

Outro cuidado necessário para filmagem foi evitar que o ambiente de coleta tivesse superfícies reflexivas, uma vez que, na imagem de vídeo, o brilho dessas superfícies dificulta a medição automática das coordenadas pelo sistema. Por este motivo as paredes, o chão, os computadores e objetos do laboratório foram recobertos por tecidos e carpetes pretos, protegendo a imagem das superfícies que poderiam refletir a luz. Desta forma a visualização dos marcadores na imagem de vídeo no momento do tracking fica facilitada.

4.3 Preparação dos voluntários

Os voluntários do sexo masculino tiveram o tórax despido, enquanto os do sexo feminino utilizaram a parte superior de um biquíni, deixando à mostra a área com os marcadores fixados. Todos os voluntários foram preparados pelo mesmo pesquisador, que por palpação, identificou as referências anatômicas e fixou os marcadores sobre pontos pré-definidos da pele seguindo um modelo de referência do tronco (Figura 6). Utilizaram-se 30 marcadores esféricos, de 5 mm de diâmetro, confeccionados manualmente, sendo recobertos com fita retrorefletiva e com uma base de tecido preto e fita aderente (Figura 4).

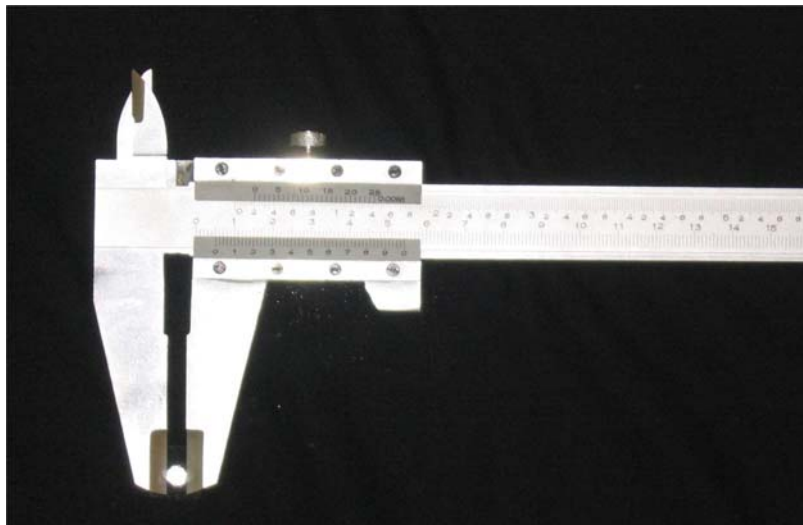


Figura 4 - Marcador retrorefletivo de 5 mm de diâmetro.

A filmagem foi realizada com agendamento prévio dos voluntários e realizada com um voluntário a cada vez. O voluntário foi posicionado no centro do laboratório, sentado em cadeira adaptada para o experimento, mantendo os membros superiores apoiados e com abdução de ombros próxima a 70° , para visualização dos marcadores laterais, os membros inferiores permaneceram com os quadris e joelhos em flexão próxima a 90° com os pés apoiados ao solo. A cadeira apresenta regulagem de altura do assento e da largura do apoio para os membros superiores (Figura 5).



Figura 5 - Cadeira adaptada com regulagem de altura do assento e do apoio para membros superiores

Os voluntários foram instruídos para a realização das manobras respiratórias (ventilação em volume corrente e ventilação em volumes máximos). Para manter a visualização contínua dos marcadores pelas câmeras, eles foram advertidos a não movimentarem os membros superiores e cabeça durante a realização das manobras respiratórias.

De acordo com a ética em pesquisa com seres humanos, todos os sujeitos foram esclarecidos previamente quanto aos procedimentos e objetivo da pesquisa a que foram submetidos, concedendo seu consentimento por escrito. As imagens obtidas foram destinadas exclusivamente à realização da pesquisa. Este projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética da Faculdade de Ciências Médicas da UNICAMP, conforme protocolo número 181/2003.

4.3.1 Representação do tronco

a) Modelo geométrico

Para este estudo foi desenvolvido um modelo de representação do tronco modelado por 30 marcadores retrorefletivos esféricos de 5 mm de diâmetro, posicionados em referências anatômicas conforme mostra a Figura 6, a numeração dos marcadores corresponde à identificação destes no momento do tracking.

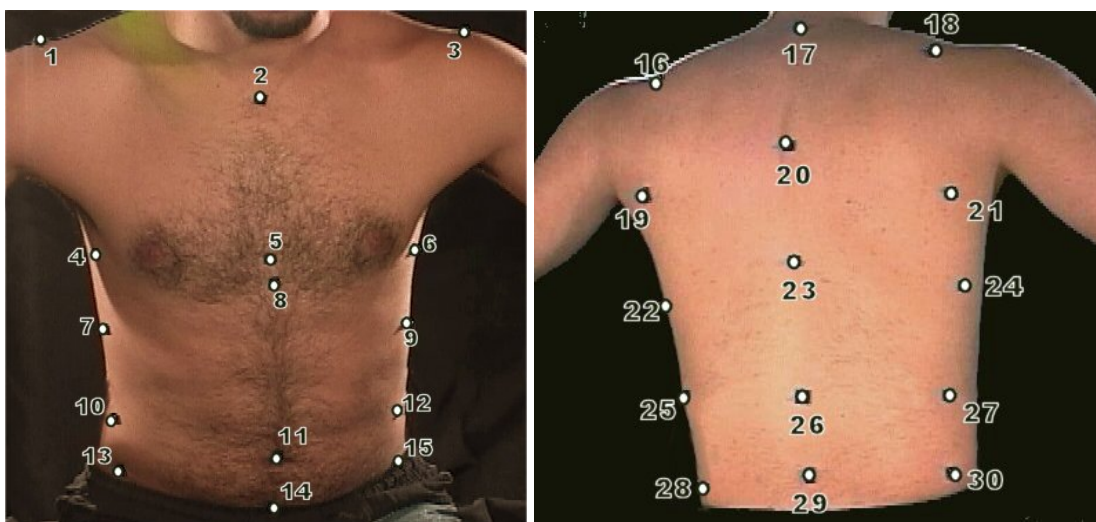


Figura 6 - Localização dos marcadores presentes no tronco dos voluntários. A ordem numérica corresponde a utilizada na identificação dos marcadores na imagem.

Referências Anatômicas:

1. Extremidade acromial da clavícula direita
2. Manúbrio do esterno
3. Extremidade acromial da clavícula esquerda
4. Região lateral da 7ª costela direita
5. Região do esterno correspondente a 5ª costela
6. Região lateral da 7ª costela esquerda
7. Região lateral da 10ª costela direita
8. Região do esterno correspondente a 6ª costela
9. Região lateral da 10ª costela esquerda
10. Intersecção do plano que passa por L3 com a linha axilar anterior direita
11. Intersecção da linha média do abdômen com o plano horizontal que passa pelos pontos 10 e 12
12. Intersecção do plano que passa por L3 com a linha axilar anterior esquerda
13. Intersecção do plano que passa por L5 com a linha axilar anterior direita
14. Ponto médio entre as espinhas ilíacas Antero superiores
15. Intersecção do plano que passa por L5 com a linha axilar anterior esquerda
16. Ângulo superior da escápula esquerda
17. Processo espinhoso de T1
18. Ângulo superior da escápula direita
19. Ângulo inferior da escápula esquerda
20. Processo espinhoso de T5
21. Ângulo inferior da escápula direita
22. Ponto mais lateral ao processo espinhoso de T11 à esquerda
23. Processo espinhoso de T10
24. Ponto mais lateral ao processo espinhoso de T11 à direita
25. Intersecção entre o ponto 22 e o processo espinhoso de L3.
26. Processo espinhoso de L3
27. Intersecção entre o ponto 24 e o processo espinhoso de L3.
28. Intersecção entre o ponto 25 e o processo espinhoso de L5.
29. Processo espinhoso de L5
30. Intersecção entre o ponto 27 e o processo espinhoso de L5.

A partir do modelo de marcação, elegeu-se um modelo geométrico que divide o tronco em figuras geométricas irregulares, tendo como vértices referências anatômicas do tronco definidas pelos marcadores. As figuras geométricas possuem 8 vértices e 12 arestas, sendo, portanto, um dodecaedro. O volume do tronco é aqui representado por 8 dodecaedros que equivale a regiões compartimentadas no tronco (Figura 7). O modelo geométrico foi adaptado do proposto por Ferrigno et al. (1994).

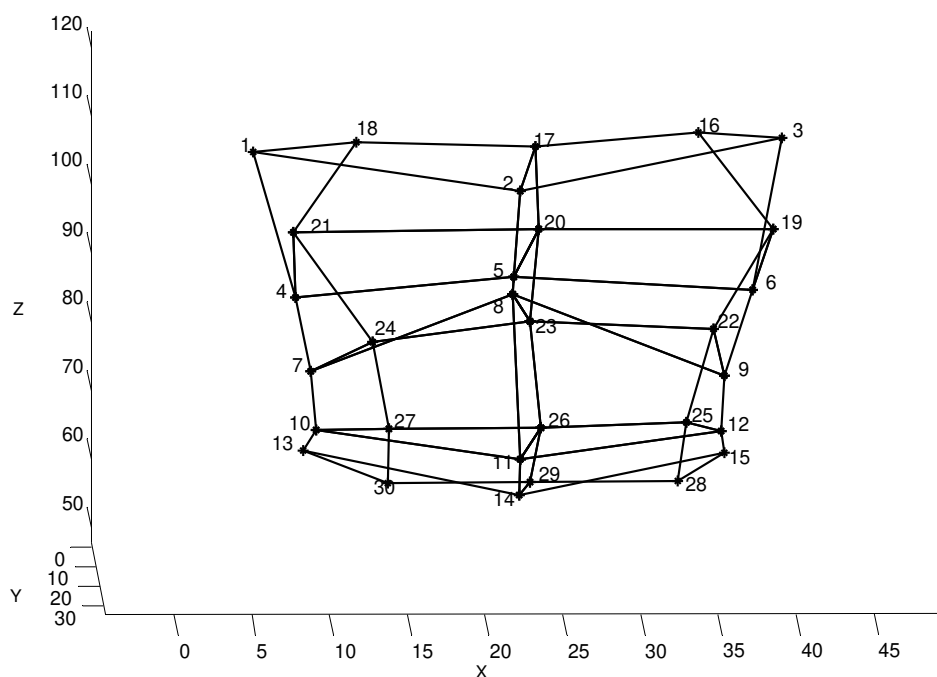


Figura 7 - Modelo geométrico demonstrando os 8 dodecaedros, os vértices das figuras correspondem as coordenadas dos marcadores.

b) Compartimentos do tronco

Os compartimentos foram definidos considerando a anatomia e fisiologia do sistema respiratório conforme descrição do capítulo anterior e representados na Figura 8, onde o **TX- SD** e **TX-SE**, tórax superior direito e tórax superior esquerdo, correspondem à área do ápice pulmonar direito e esquerdo, o **TX-ID** e **TX-IE**, tórax inferior direito e tórax inferior esquerdo, correspondem à área das bases pulmonares direito e esquerdo, **AB-SD** e **AB-SE**, abdômen superior direito e abdômen superior esquerdo, à área abdominal, e **AB-ID** e **AB-IE**, abdômen inferior direito e abdômen inferior esquerdo, que correspondem à área da pelve.

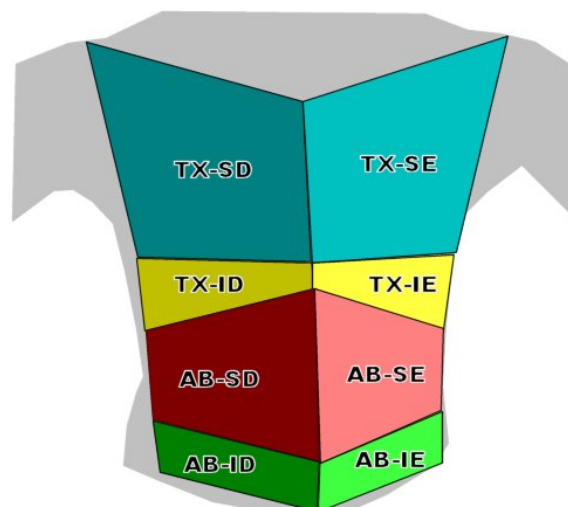
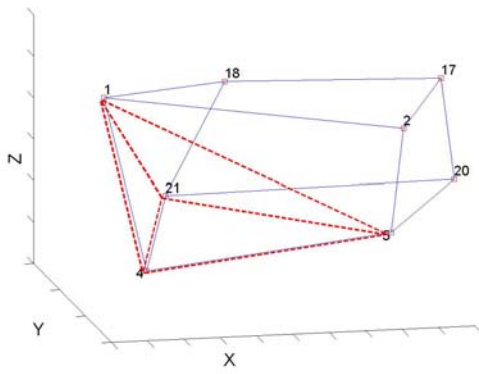


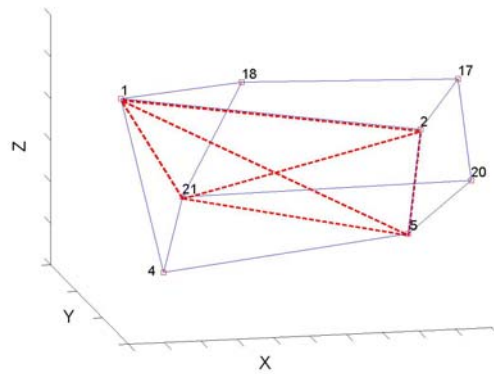
Figura 8 - Compartimentos do tronco. Na figura o TX-SD corresponde ao tórax superior direito, o TX-SE ao tórax superior esquerdo, TX-ID ao tórax inferior direito, TX-IE ao tórax inferior esquerdo, AB-SD ao abdômen superior direito, AB-SE ao abdômen superior esquerdo

c) Volume do dodecaedro

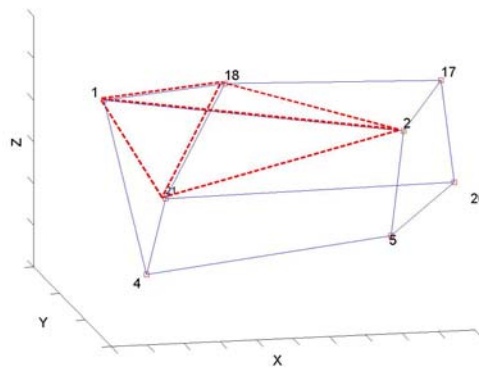
Cada compartimento é geometricamente definido como um dodecaedro irregular de 8 vértices; para calcular o volume de um compartimento, o dodecaedro correspondente foi subdividido em 06 tetraedros com volumes disjuntos. A Figura 9 representa cada um dos tetraedros contidos no dodecaedro. A partir desses tetraedros é possível obter o volume de cada compartimento, através da soma dos volumes dos 6 tetraedros contidos em um dodecaedro. O cálculo desse volume é feito a cada frame das imagens, pois os vértices dos tetraedros correspondem às posições reconstruídas dos marcadores, portanto as coordenadas espaciais dos vértices desses tetraedros são conhecidas, e dessa forma podemos obter o volume do compartimento em função do tempo.



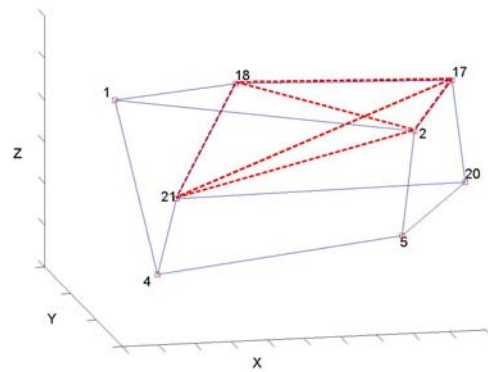
(a)



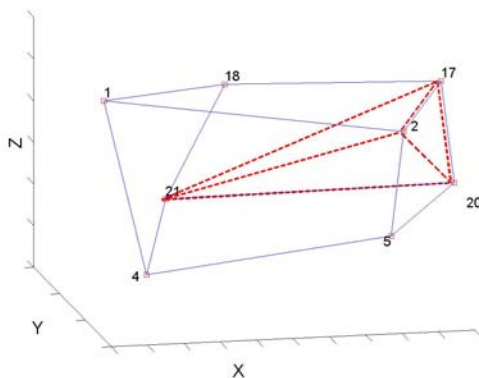
(b)



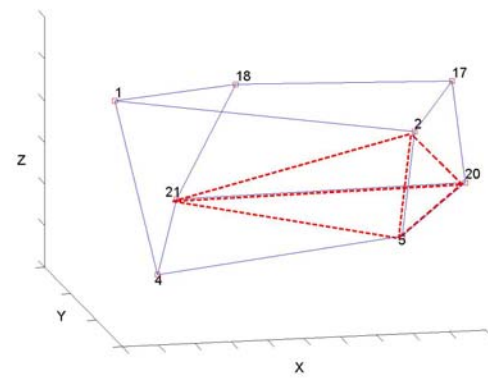
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 9 – 6 tetraedros contidos em 1 dodecaedro. (a) Tetraedro com os vértices : 1, 4, 5, 21. (b) Tetraedro com os vértices : 1, 2, 5, 21. (c) Tetraedro com os vértices : 1, 2, 18, 21. (d) tetraedro com os vértices : 2, 17, 18, 21. (e) Tetraedro com os vértices : 2, 17, 20, 21. (f) Tetraedro com os vértices : 2, 5, 20, 21.

A formação dos tetraedros é feita em uma seqüência previamente definida, de forma que a soma dos volumes dos tetraedros é igual ao volume do dodecaedro, garantindo a não sobreposição de áreas dentro do volume ou mesmo espaços sem serem medidos no dodecaedro. A seqüência dos tetraedros foi feita de acordo com Ferrigno et al. (1994).

O volume total de cada compartimento é dado pela Equação :

$$V_{compartimentos} = \sum_{n=1}^6 \frac{|\vec{W}_i \times \vec{U}_i \cdot \vec{V}_i|}{6}$$

em que, os vetores $\vec{w}$, $\vec{u}$ e $\vec{v}$ representam os lados do tetraedro. O volume do compartimento corresponde à somatória dos volumes dos 6 tetraedros contidos no dodecaedro. O sistema fornece os valores dos vetores em centímetros, tornando necessário a conversão do volume de centímetros cúbicos para litros mediante a divisão por 1000. A Figura 10 mostra a disposição dos vetores de um tetraedro no dodecaedro.

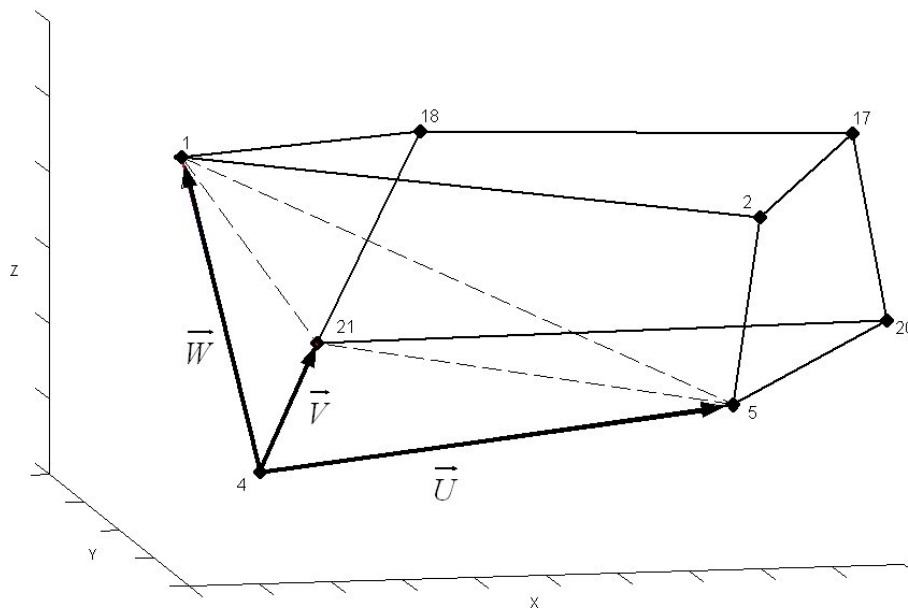


Figura 10 - Dodecaedro mostrando um dos 6 tetraedros. Os vértices numerados do dodecaedro representam aos marcadores sobre o tronco, os vetores v e u correspondem ao lado do tetraedro e o vetor w corresponde a altura do tetraedro.

d) Volumes do tronco

Os volumes do tronco estudados neste trabalho são definidos por combinações de somas entre os 8 compartimentos descritos anteriormente, esta soma entre os compartimentos permite a formação de compartimentos maiores, subdividindo o tronco em regiões de interesse para o estudo da ventilação humana. Definimos desta forma o volume total do tronco (**VTr**), o tórax superior e tórax inferior (**TX-S** e **TX-I**), o abdômen superior inferior (**AB-S** e **AB-I**), volume do tórax e abdômen (**TX** e **AB**).

A soma dos volumes dos oito compartimentos corresponde ao volume total do tronco (**VTR**). Com a soma dos compartimentos **TX-SD** e **TX-SE** obtém-se o volume do tórax superior (**TX-S**); a soma dos compartimentos **TX-ID** e **TX-IE**, o volume do tórax inferior (**TX-I**); somando o **AB-SD** e **AB-SE** determina-se o volume abdômen superior (**AB-S**); e com a soma do **AB-ID** e **AB-IE**, o volume do abdômen inferior (**AB-I**), (Figura 11). Os compartimentos do tórax e abdômen são calculados com a soma dos compartimentos **TX-S** e **TX-I** para o tórax (**TX**) e **AB-S** e **AB-I** para o abdômen (**AB**). É importante destacar que a variação desses volumes em função do tempo permite quantificar o volume de ar inspirado e expirado em cada compartimento em cada instante, determinando-se os valores de volume corrente e da inspiração máxima do sujeito.

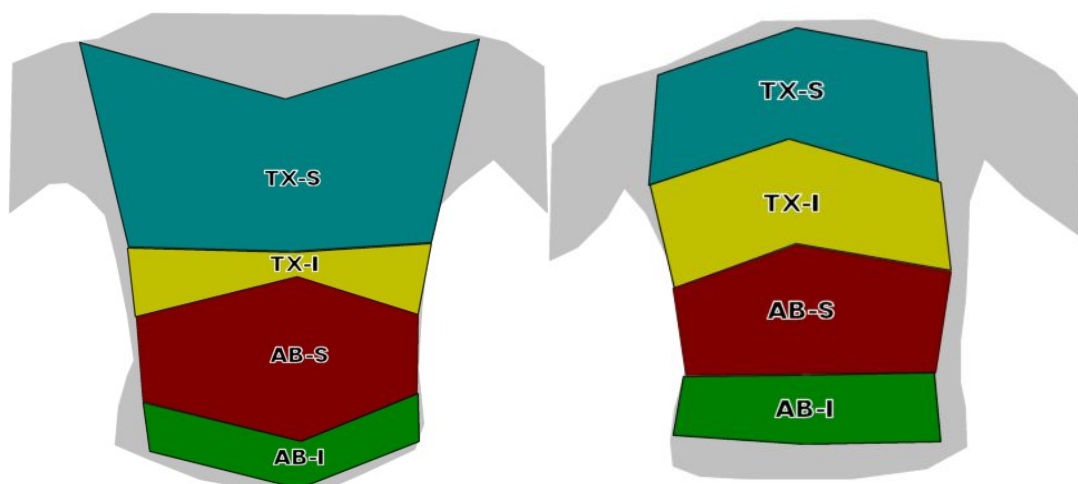


Figura 11 - Compartimentos do tronco. Na figura o TX-S representa o tórax superior, TX-I representa o tórax inferior, AB-S o abdômen superior, AB-I o abdômen inferior.

4.4 Variáveis experimentais

A soma dos volumes dos 8 compartimentos corresponde ao volume total do tronco. A variação do volume total do tronco será medida e confrontada com a espirometria. Essa variação no volume do tronco é calculada também para os volumes dos 4 compartimentos do tronco separadamente, sendo possível a análise dos volumes presentes em cada região do tronco durante a realização de manobras respiratórias, e dessa forma avaliar a participação de cada região do tronco para a ventilação.

O ciclo respiratório pode, então, ser definido a partir da figura de volume em função do tempo, obtida a partir do sinal gerado pelo arquivo 3d reconstruído pelo Dvideow. Na Figura 12 podem ser identificados os ciclos respiratórios que compreende a curva entre dois valores mínimos consecutivos (A-C), o início da curva demonstra o volume inicial do tronco durante a realização de manobra respiratória. Neste trabalho definimos a variação de volume como sendo os volumes expiratórios de cada ciclo, que corresponde à diferença entre o valor máximo da curva e o valor mínimo subsequente da curva.

Volume do tronco na inspiração máxima = $V_B - V_A$

Volume do tronco na expiração máxima = $V_B - V_C$

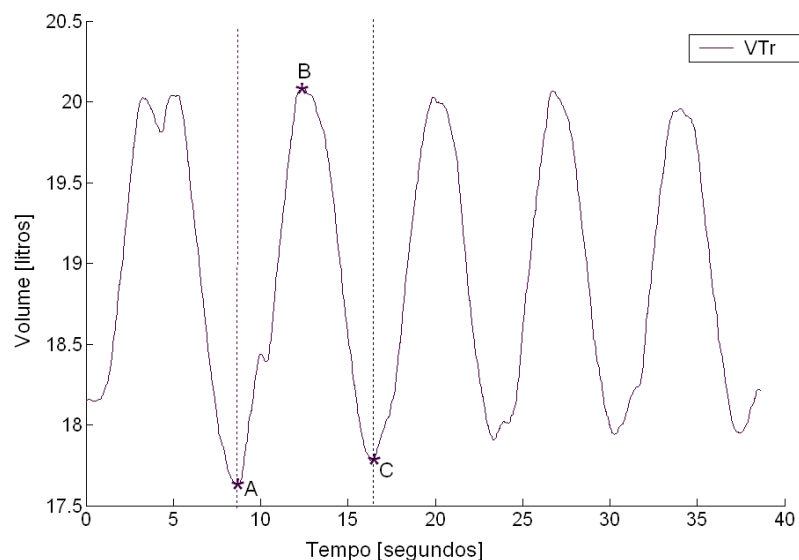


Figura 12 - Curva de variação do volume do tronco durante a realização de manobra respiratória. O início da curva representa o volume inicial do tronco, as variações da curva representam uma estimativa da troca gasosa entre o tronco e meio externo.

A Figura 13 mostra os ciclos respiratórios nos compartimentos do tronco (TX-S, TX-I, AB-S e AB-I), a linha pontilhada encerra um ciclo respiratório nesses compartimentos.

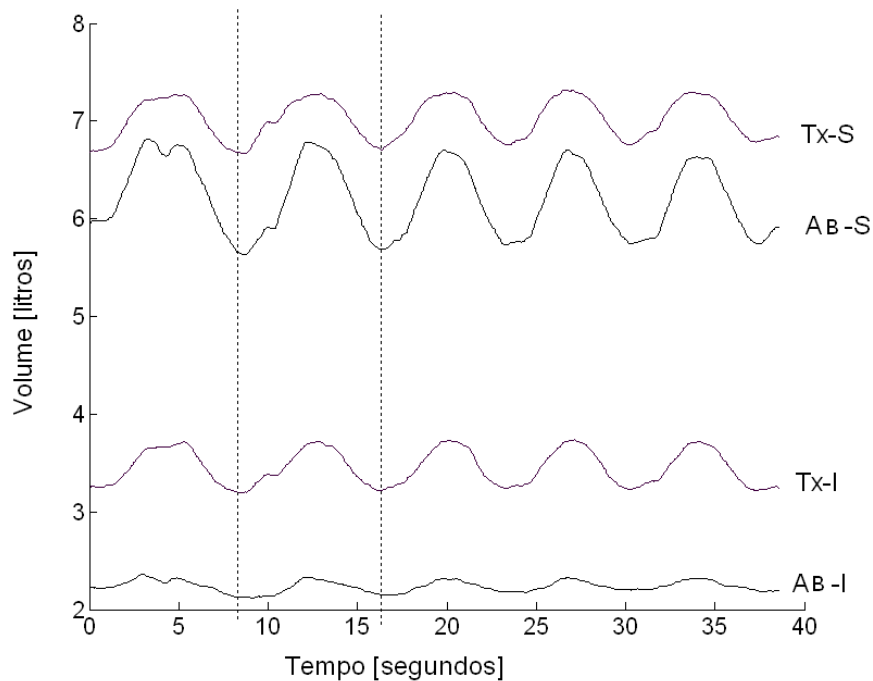


Figura 13 - Curvas do volume nos compartimentos : Tórax superior (TX-S), Tórax inferior (TX-I), Abdômen superior (AB-S), Abdômen inferior (AB-I) durante a realização de manobra respiratória. O início de cada curva corresponde ao volume inicial de cada compartimento do tronco, as variações das curvas correspondem a troca gasosa entre cada compartimento e o meio externo. O segmento da curva entre a linha tracejada delimita um ciclo respiratório. Dados referentes à manobra de inspiração máxima em um voluntário.

4.5 Tratamento dos dados

A partir das coordenadas tridimensionais dos marcadores obtidas pelo sistema Dvideow, foram desenvolvidas em ambiente Matlab® rotinas para a obtenção das variáveis para cálculo dos volumes do tronco. Estas rotinas permitiram quantificar o volume nos compartimentos torácicos (TX-S, TX-I, AB-S e AB-I), no tórax (TX) e abdômen (AB) e o volume total do tronco (VTr) durante a ventilação nas duas manobras propostas. Com os dados numéricos da participação de cada compartimento foi possível realizar uma avaliação quantitativa dos volumes, assim como analisar o comportamento dos compartimentos durante a ventilação. As imagens de

vídeo auxiliaram qualitativamente para o trabalho de análise dos dados, pela visualização dos movimentos realizados pelos voluntários.

4.5.1 Suavização dos dados

Como os dados volumétricos bruto obtidos apresentaram pequenas variações devido ao ruído do erro nas medições, tornou-se necessário minimizar estas perturbações. Para suavizar os dados utilizou-se um filtro passa-baixa, o *butterworth*, com a mínima ordem possível. Para calcular a ordem e a frequência da atenuação do filtro utilizou-se a ferramenta *Fiter Design & Analysis Tool* (a função *fdatool* do Matlab). A suavização dos dados foi feita com o *butterworth* de ordem 2, considerando a frequência de amostragem de 60 Hz e utilizando os parâmetros de frequência final da banda de passagem de 0.33 Hz, frequência inicial da banda de rejeição de 3 Hz e uma atenuação de 100 vezes para o sinal rejeitado. Para determinar o limite entre o sinal válido e o ruído, admitimos que os ruídos sejam de frequência mais elevada que os movimentos respiratórios.

Na aplicação do filtro ao sinal foi utilizada a função *filtfilt* do Matlab, para evitar alteração de fase do sinal. Para isso esta função realiza a filtragem primeiro no sentido direito do sinal e depois no sentido reverso.

O efeito da suavização sobre os dados brutos está representado graficamente na Figura 14.

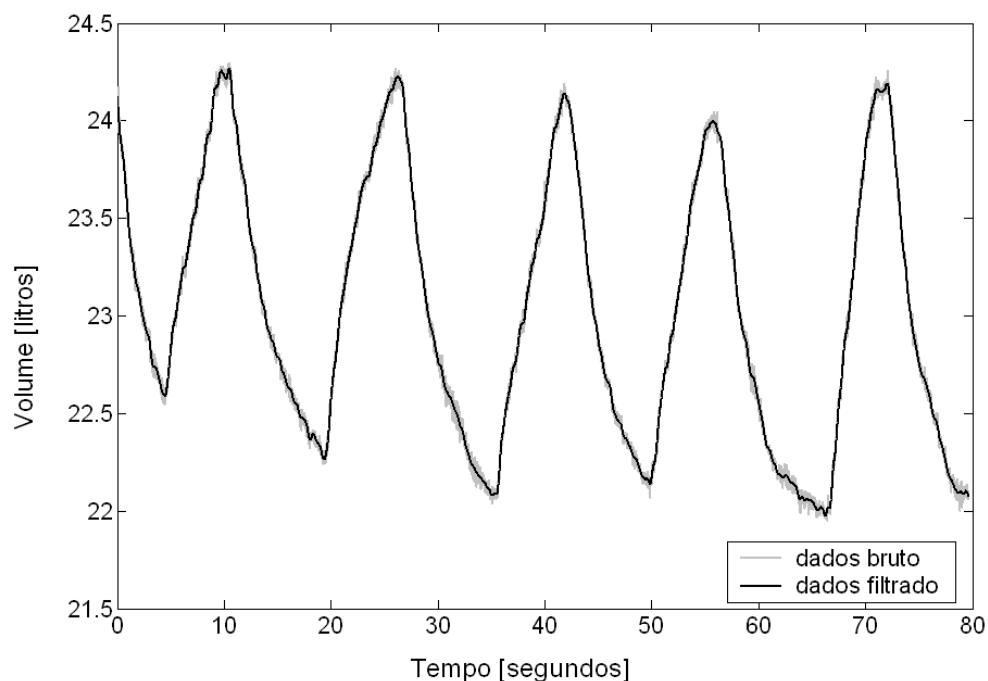


Figura 14 - Representação dos dados brutos e filtrados com o filtro passa-baixa. Dados referentes ao volume total do tronco (VTr) em manobra de Inspiração máxima em um voluntário.

Para testar o efeito do filtro sobre o sinal do **VTr**, realizou-se a análise espectral deste sinal com a realização da transformada rápida de Fourier. Para fins comparativos, foi calculada a frequência principal do sinal a partir do período de um ciclo no gráfico do **VTr** ao longo do tempo durante a realização da manobra de Inspiração máxima, obtendo-se um valor aproximado de 0,0625 ciclos/segundo. No espectro de frequência, verificou-se que o sinal respiratório aparece ao redor da frequência de 0,0625 ciclos/segundo, enquanto o sinal do ruído aparece em frequências bastante superiores a esta (Figura 15).

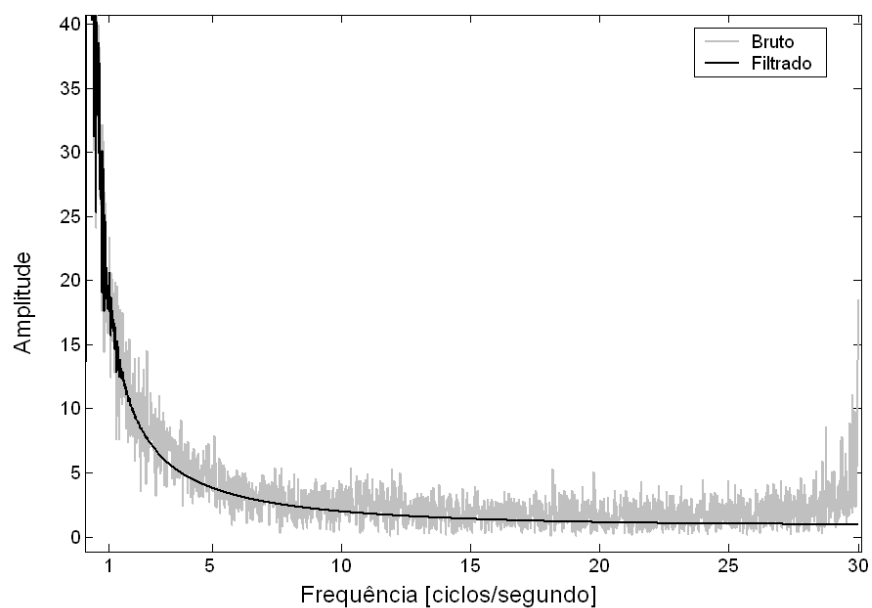


Figura 15 - Espectro de frequências superiores (entre 1 e 30 ciclos/seg) onde encontra-se o ruído. No gráfico em cinza está o sinal da frequência dos dados brutos e em preto os dados após suavização. Figura ampliada, com corte na amplitude para melhor visualização do efeito do filtro.

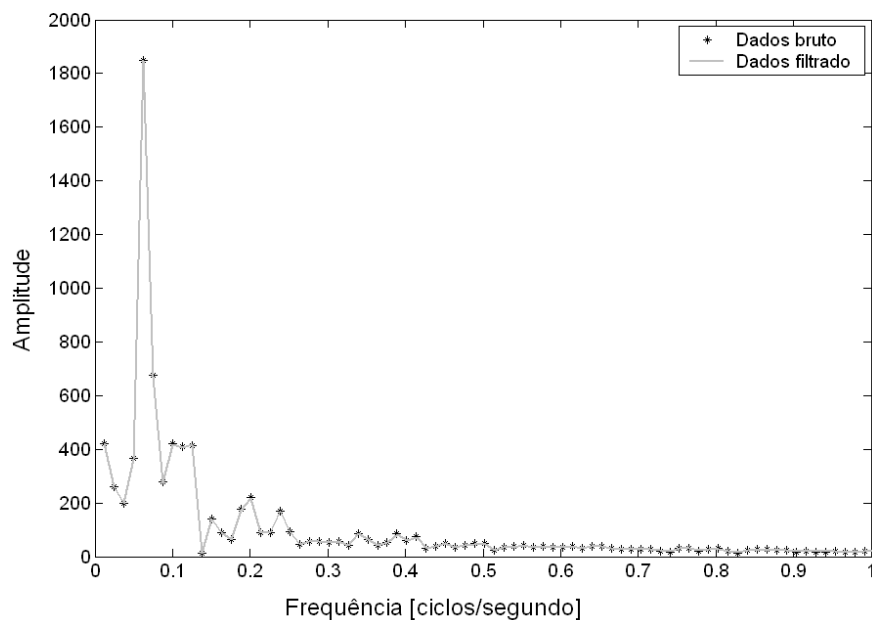


Figura 16 – Imagem ampliada da sobreposição dos espectros de frequência do sinal do volume de ar no tronco (VTr). Para os dados brutos (linha com a marca *) e suavizados (linha contínua cinza)

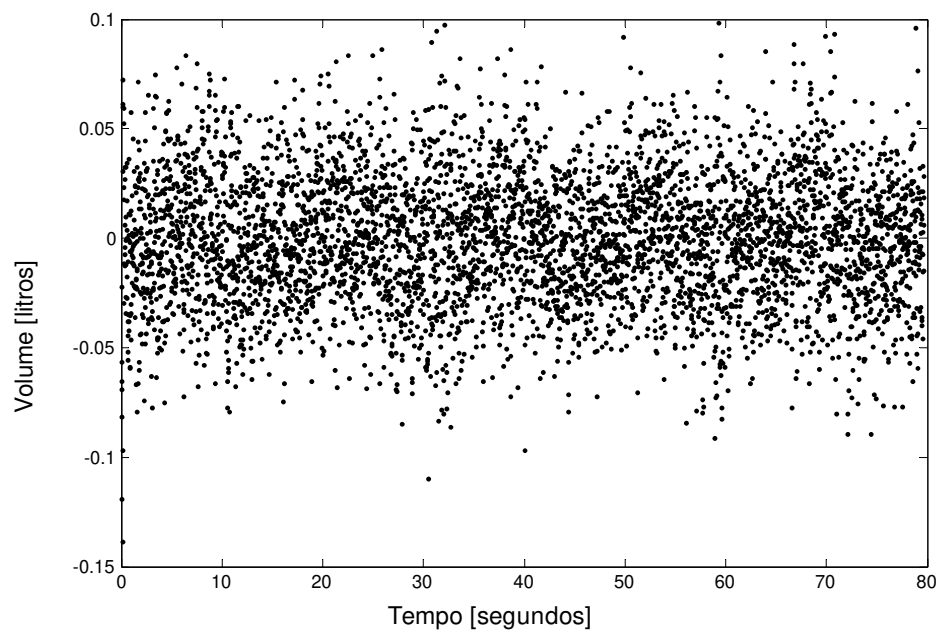


Figura 17 - Resíduos do sinal do volume do tronco após a filtragem.

A Figura 17 mostra os resíduos do sinal do volume total do tronco após a filtragem. Analisando o efeito do filtro passa-baixa na variável de volume, pode-se observar que a suavização reduziu as informações em alta frequência que estão fora da faixa da frequência respiratória enquanto em baixa frequência ou frequências do sinal respiratório, o filtro não afetou os valores obtidos com o sinal (Figura 15, Figura 16).

5. Resultados

Neste capítulo serão detalhados os procedimentos metodológicos específicos para a realização dos três experimentos propostos - comparação entre os resultados obtidos com a videogrametria e a espirometria, reprodutibilidade do método e aplicação da videogrametria para cálculo de volume do tronco em voluntários normais- e analisados os resultados obtidos nos três experimentos.

Primeiramente será descrita a metodologia e analisados os resultados referentes a comparação entre os métodos da videogrametria e espirometria; a seguir será detalhado o experimento da reprodutibilidade da metodologia proposta e mostrados o efeito do reposicionamento dos marcadores ao tronco do voluntário; por ultimo serão avaliados os volumes do tronco e nos seus compartimentos, em 13 voluntários normais.

5.1 Experimento 1 - Comparação entre a videogrametria e espirometria

A comparação entre os dois métodos busca avaliar a correlação existente entre a variação do volume do tronco e o volume de ar trocado durante a realização de manobras ventilatórias pelo voluntário. Buscando a relação existente entre os métodos, as medidas das variações do volume do tronco obtidas com a videogrametria, foram comparados com o volume de ar trocado pelos pulmões obtido com a espirometria. Para tanto foi realizada uma coleta de dados utilizando os dois métodos simultaneamente.

5.1.1 Metodologia

a) Sistemas de aquisição das medidas dos volumes

Videogrametria

O sistema de aquisição dos dados da videogrametria foi o mesmo descrito anteriormente no início do capítulo 4, com exceção de dois aspectos. Primeiro, as imagens foram registradas em fitas para posterior digitalização, sem prejuízo ao experimento. Segundo, o sistema de referência dos prumos utilizados para calibração foi diferente do sistema descrito anteriormente, pois este experimento de validação foi realizado em outro ambiente. A mudança no sistema de referência implica na mudança da matriz de calibração, mas não influencia as medidas obtidas no final do processo.

Espirometria

Os dados espirométricos foram registrados através de um pneumotacógrafo (Rudolph Linear Pneumotachs 3813 Series), acoplado a um transdutor de pressão com range de ± 0.56 cmH₂O (Validyne Wet-Wet Differential Pressure Transducer DP103). Os registros do diferencial de pressão foram amplificados e integrados de fluxo para volume por intermédio de um polígrafo (Gould 3000 Series Recorder) com interface (Gould 5900 Signal Conditioner Frame) para transmissão dos dados a um microcomputador.

A Figura 18 mostra o esquema utilizado para obter a informação espirométrica de volume trocado. O fluxo respiratório do voluntário provoca, no pneumotacógrafo, um diferencial de pressão que é medido pelo transdutor e é enviado um sinal elétrico proporcional ao fluxo para o polígrafo. Este sinal é integrado gerando um sinal elétrico relativo ao volume trocado. O polígrafo, então, através do condicionador de sinal envia os dados em forma digital para o computador, no qual são armazenados.

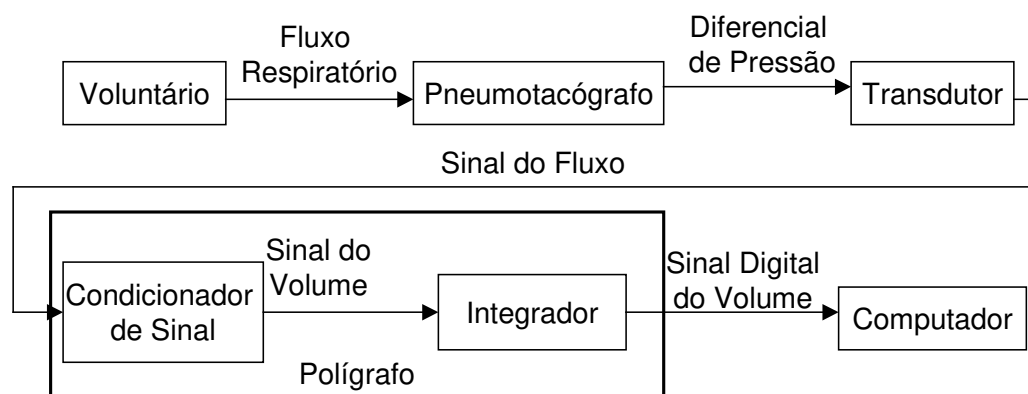


Figura 18 - Esquema para aquisição dos dados espirométricos.

Calibração

Os equipamentos utilizados no polígrafo, integrador e condicionador de sinal, foram ajustados durante a calibração, para obtenção dos sinais na faixa desejada.

A calibração dos sinais volumétricos foi realizada com medidas sucessivas de um volume conhecido, ofertado ao aparelho por uma seringa de 3 litros (Figura 19).

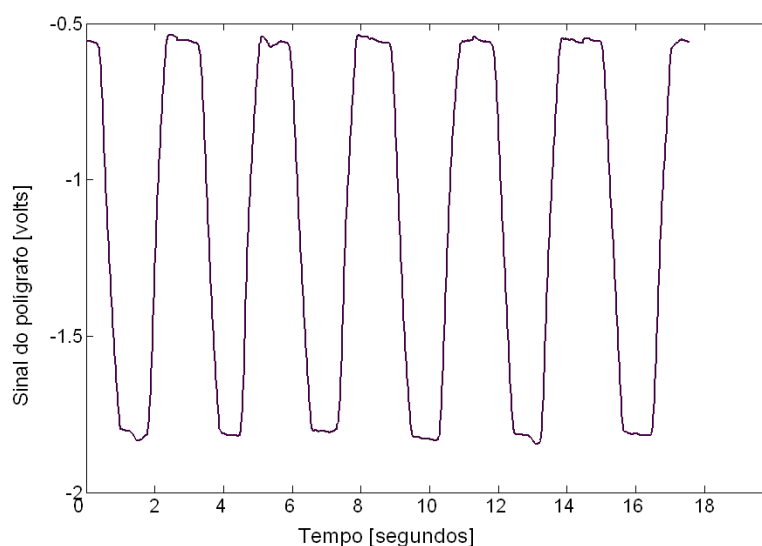


Figura 19 – Sinal obtido no polígrafo para a calibração do volume realizado com a oferta de um volume conhecido de 3 litros através de uma seringa.

A partir do gráfico obtido com a calibração da seringa foi calculado um fator de conversão de unidades entre a amplitude do sinal de calibração da seringa (sinal de saída do polígrafo em volts) e o volume correspondente esperado em litros. Para o cálculo do fator de conversão de unidades, foram considerados os valores médios de amplitude em todos os picos da extensão da curva, $F_c = 2.3255$. Esse valor foi multiplicado ao sinal obtido com a espirometria.

5.1.2 Preparação do laboratório

As coletas de dados em foram realizadas no Laboratório de fisiologia da Faculdade de Educação Física da UNICAMP. O laboratório foi preparado para a realização dos dois experimentos concomitantes; o posicionamento do polígrafo e das câmeras foi feito de forma a permitir uma boa execução dos dois procedimentos metodológicos. Foram utilizadas 6 câmeras digitais fixadas em tripés, 2 anteriores ao voluntário, 2 posteriores e 2 em cada lateral, garantindo a visualização de todos os pontos de interesse no tronco do voluntário; a cada câmera foi acoplado um iluminador e o sistema de áudio, para posterior sincronização das câmeras. Os equipamentos para coleta dos dados espirométricos, polígrafo e microcomputador, foram posicionados à frente do voluntário, os tubos conectados à boca do voluntário foram suspensos por um braço de metal para não obstruir o campo de visão das câmeras. Os demais procedimentos de preparo do laboratório foram realizados conformes descritos no início do capítulo 4.

5.1.3 Caracterização do voluntário

A coleta dos dados constou de um voluntário, sexo masculino, 20 anos, com 177 cm de altura e 76 kg, praticante regular de atividade física, sem relatos de doenças respiratórias, cardiovasculares ou desvios posturais diagnosticados e não fumante.

Para a aquisição dos dados referentes a videogrametria o voluntário teve o tronco desnudo e marcado com as esferas refletivas de acordo com a Figura 20, o modelo de representação do tronco utilizado para este experimento possui um número maior de marcadores, sendo utilizado um modelo que abrange outras aplicações da videogrametria para a avaliação do sistema ventilatório. A partir do modelo utilizado foram extraídas as marcas anatômicas necessárias para a obtenção do modelo geométrico necessário para as medidas de volume do tronco. Durante a coleta, o voluntário permaneceu sentado no centro do laboratório com os membros superiores

pendentes próximos ao tronco; para aquisição dos dados espirométricos o voluntário teve o nariz clipado e foi acoplado à sua boca um bocal, por onde o ar trocado foi conduzido até o sistema de medidas da espirometria através de um tubo.

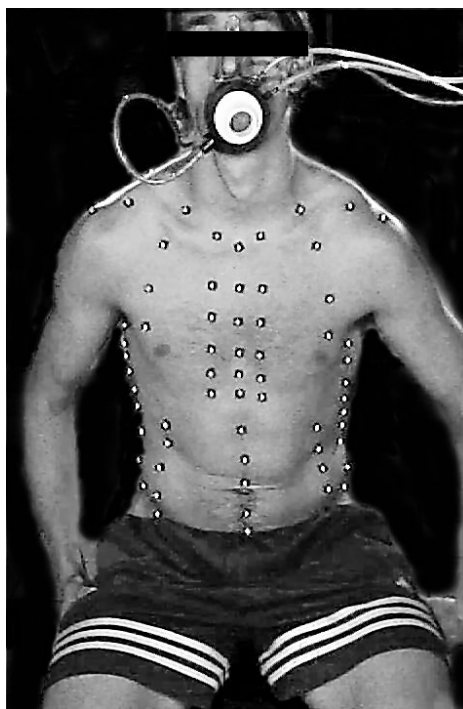


Figura 20 - Caracterização do voluntário para experimento simultâneo da videogrametria e espirometria.

5.1.4 Procedimento experimental

O voluntário foi instruído a respirar tranqüilamente e após alguns ciclos em volume corrente foi incentivado à realização de duas inspirações máximas consecutivas. Essa manobra foi repetida sem a interrupção das medidas e as informações foram obtidas pelos dois sistemas simultaneamente. A aquisição dos dados foi feita de forma ininterrupta, sendo analisados 3 ciclos em volume corrente seguidos de 2 ciclos em volume máximo.

5.1.5 Tratamento dos dados da videogrametria

A Figura 21 mostra a variação de volume do tronco obtido pelo método da videogrametria. Para se comparar a variação deste volume com o volume de ar medido pela espirometria, o valor médio da curva (18,961 l), correspondente ao volume médio do troco, foi

subtraído dos valores, e os resultados são mostrados na figura 22. O sinal de volume do tronco obtido foi filtrado como descrito no capítulo 5, subtítulo suavização dos dados.

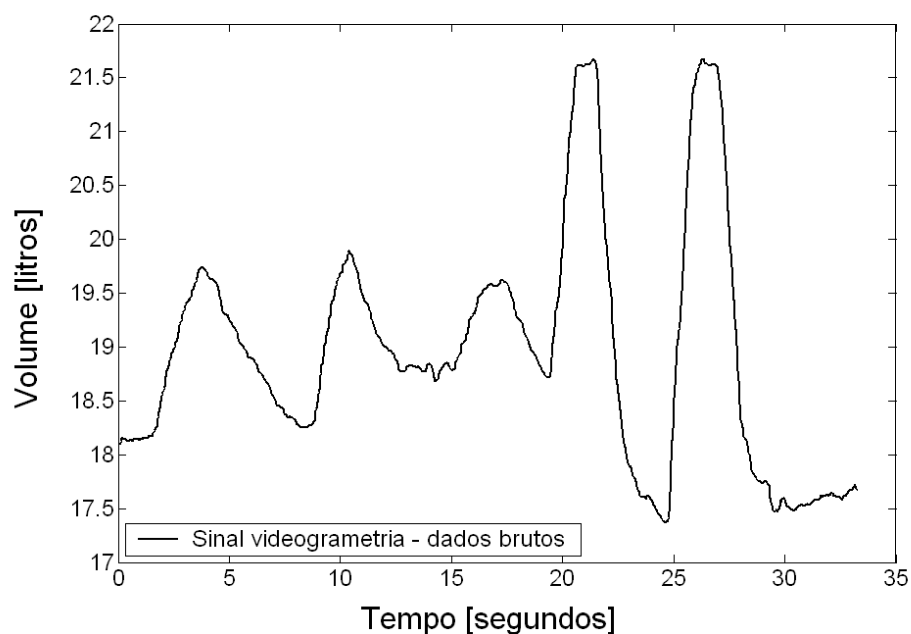


Figura 21 - Variação do volume do tronco medido por videogrametria. Dados brutos

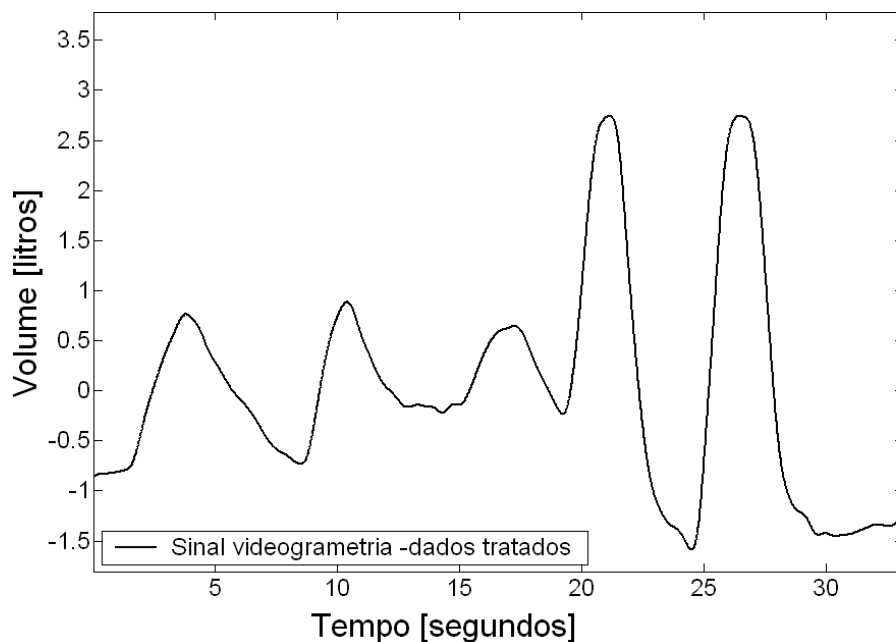


Figura 22 - Variação do volume do tronco medido por videogrametria, após subtração do volume médio do tronco . Dados filtrados.

5.1.6 Tratamento dos dados espirométricos

Como a medida espirométrica baseou-se em um sensor de fluxo, para se obter o sinal correspondente ao volume utilizou-se um integrador de sinais no polígrafo. Como as medidas de fluxo apresentam ruído, este ruído também foi integrado e somado às medidas volumétricas. O efeito a integração deste ruído é que o sinal resultante é uma soma do valor correspondente ao volume e valores que crescem a uma taxa de variação constante em relação à linha de base, denominado de *drift*. Além disso, nota-se a presença de um deslocamento abrupto e vertical do sinal, quando este se aproxima do limite de escala do polígrafo, denominado *resets* (Figura 23). Esses desvios foram eliminados através de rotinas desenvolvidas em ambiente Matlab®, para comparação com os dados volumétricos da videogrametria. O primeiro passo foi a detecção dos *resets* buscando derivadas negativas com valor alto, seguida da remoção deste efeito pela translação do sinal para sua posição esperada (Figura 24). Depois foi feita uma regressão linear do sinal resultante contendo somente o *drift*, e extraídos os valores da reta ajustada aos dados. O resultado pode ser observado na (Figura 25).

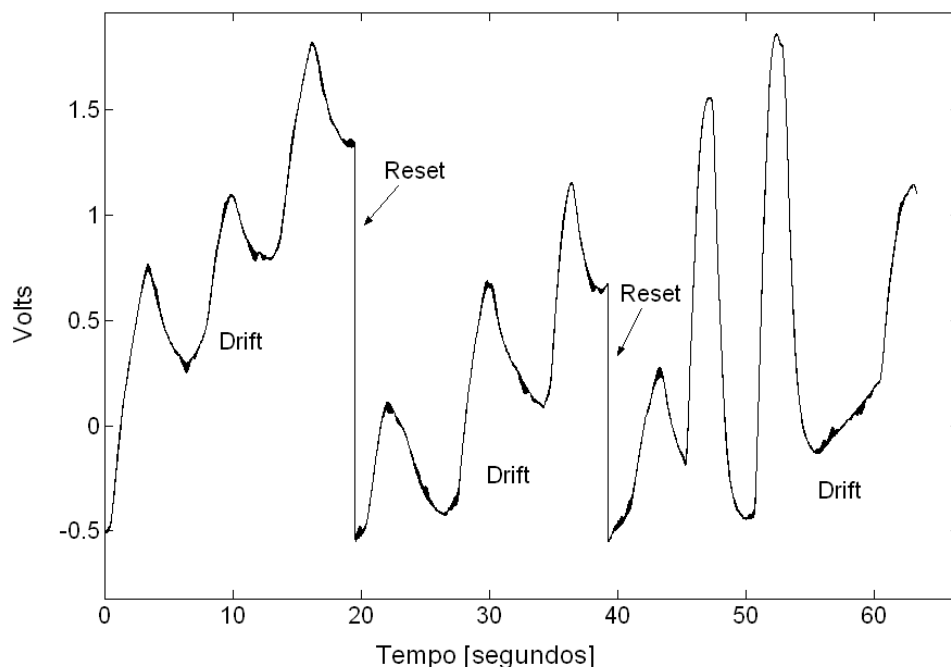


Figura 23 - Dados brutos de volume obtidos com a espirometria, contendo drifts e resets em escala original.

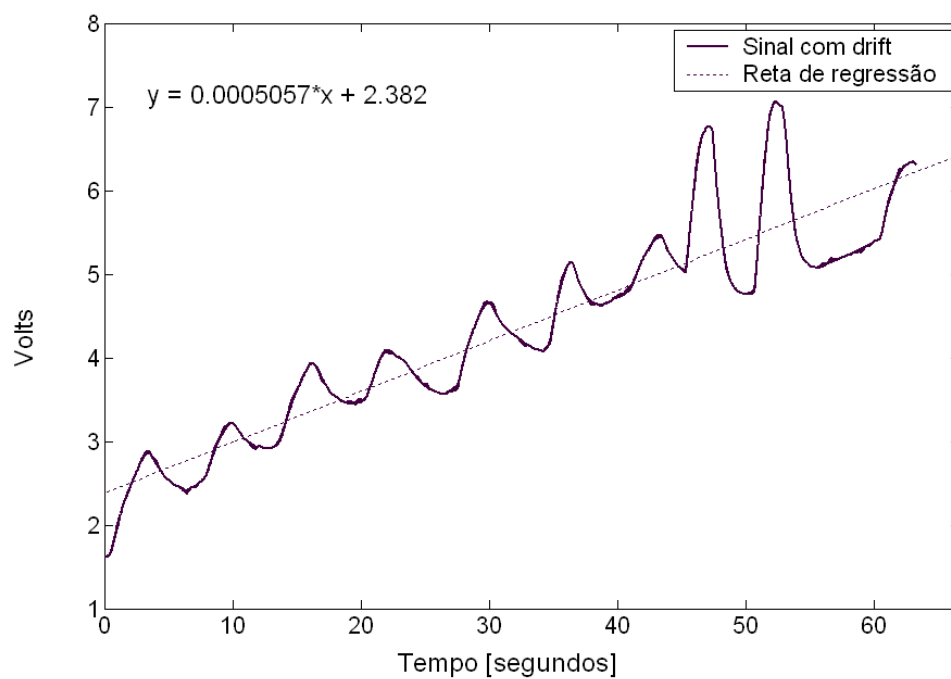


Figura 24 - Sinal de volume do polígrafo após a remoção do reset, mostrando o drift e a equação da reta de regressão linear.

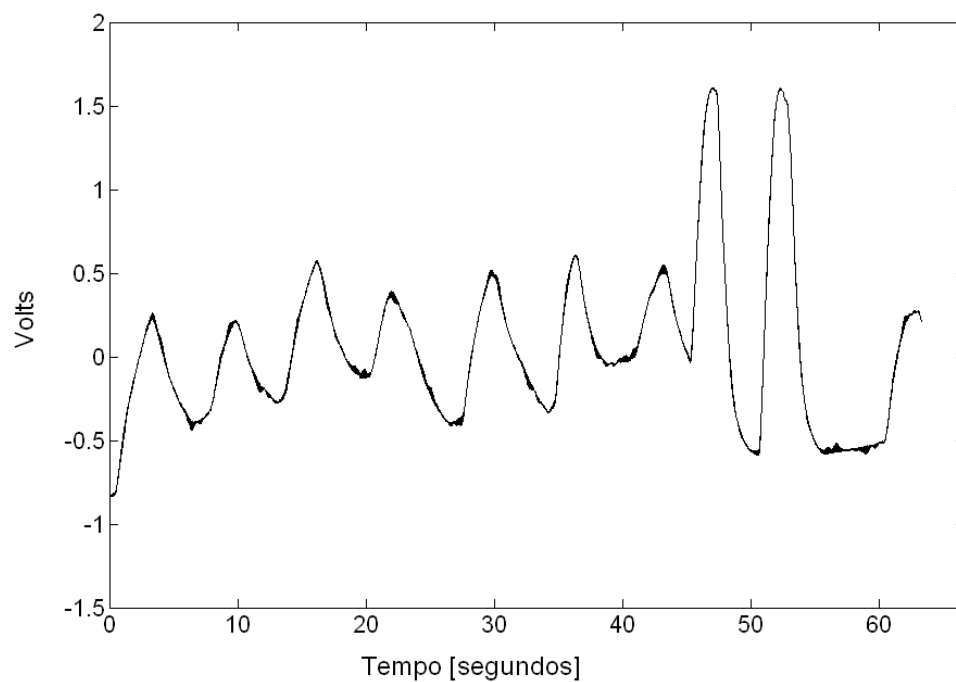


Figura 25 - Dados espirométricos com eliminação dos drifts e resets

5.1.7 Resultados do experimento 1

A Figura 26 mostra os sinais de volume na espirometria comparado com a videogrametria. No sinal da videogrametria, foi subtraído o volume médio do tronco. No sinal da espirometria foi considerada somente a parte do sinal original apresentado na metodologia correspondendo ao mesmo momento da realização da manobra na videogrametria. Os 3 primeiros ciclos correspondem à ventilação em manobra de **VC**, os 2 últimos ciclos correspondem à manobra de **VM**. A Tabela 1 mostra os valores desses volumes trocados em cada ciclo, nos dois métodos. A partir dos desses dados observa-se que foi encontrado um volume trocado maior em todos os ciclos da espirometria. Isto pode sugerir uma subestimação do modelo geométrico utilizado para representação do tronco na videogrametria. A diferença entre os sinais de espirometria e videogrametria pode ser visualizada na Figura 27.

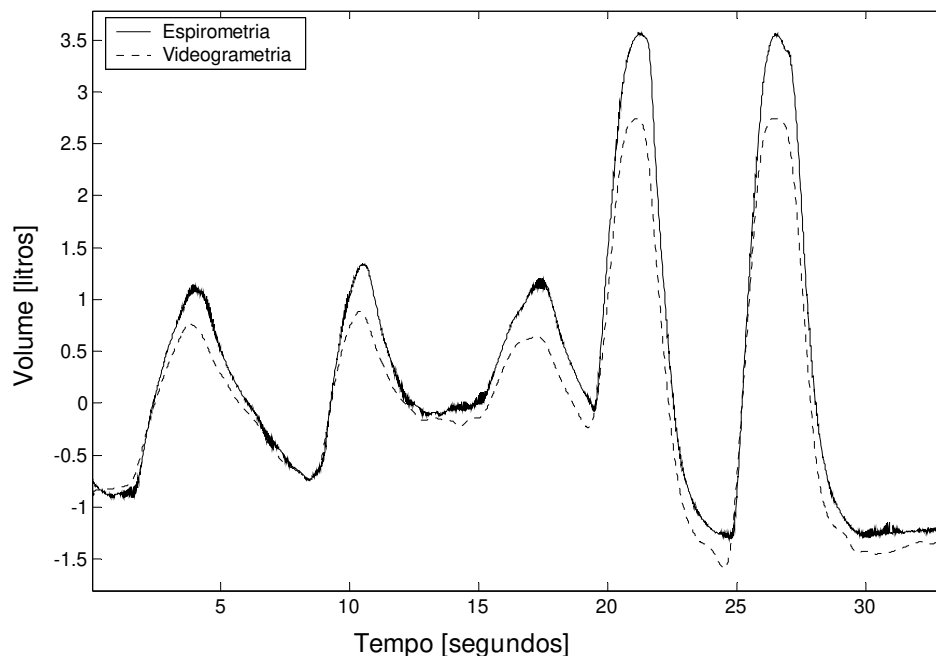


Figura 26 - Comparação entre as variáveis volumétricas da espirometria e da videogrametria.

Tabela 1- Volumes trocados, obtidos com a espirometria e videogrametria.

	Volume Espirometria (litros)	Volume Videogrametria (litros)
1 ° ciclo	1.820	1.485
2° ciclo	1.230	1.209
3° ciclo	1.174	0.911
1ª ins máxima	4.820	4.296
2ª insp máxima	4.792	4.208

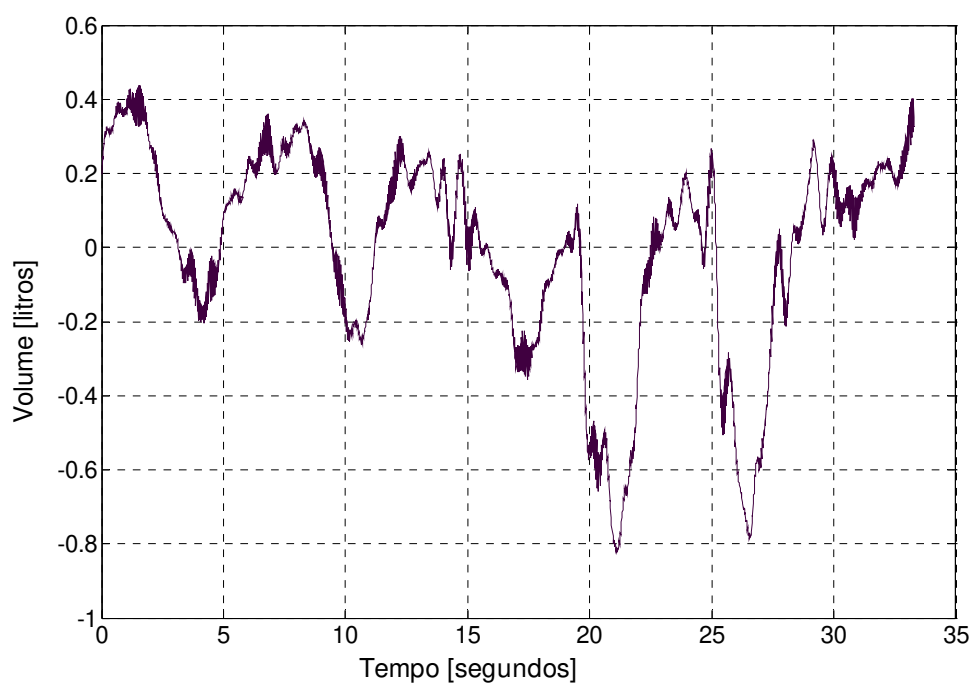


Figura 27 - Sinal obtido com a diferença entre o sinal da espirometria e videogrametria.

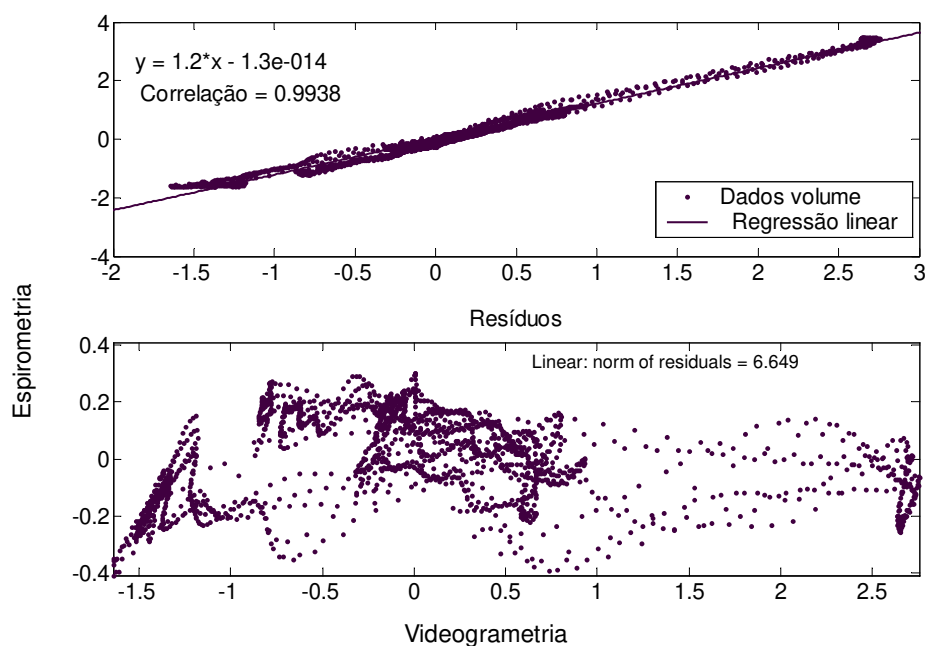


Figura 28- Regressão linear entre as variáveis do volume obtidas com a espirometria e videogrametria. Resíduos da regressão.

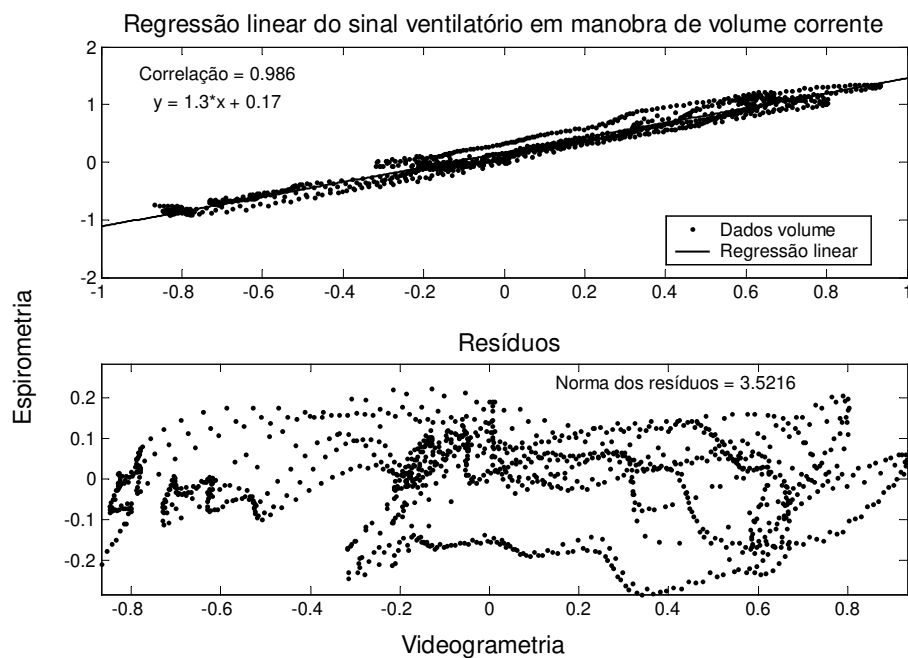


Figura 29 - Regressão linear entre as variáveis do volume obtidas com a espirometria e videogrametria durante a manobra de volume corrente (VC). Resíduos da regressão.

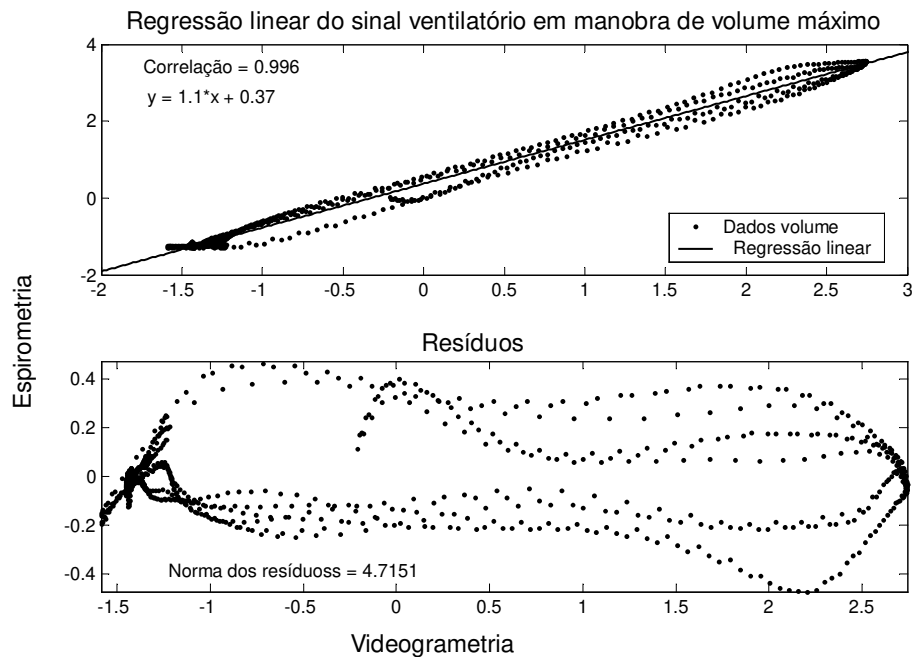


Figura 30 - Regressão linear entre as variáveis do volume obtidas com a espirometria e videogrametria durante a manobra de volume máximo (VM). Resíduos da regressão.

A Figura 28 mostra a análise de regressão linear entre as curvas dos métodos em questão, em que a equação da reta nesta regressão foi $y = 1.2*x - 1.3*10^{-14}$, com coeficiente de correlação entre os sinais de $r = 0.9938$. Está apresentado também gráfico dos resíduos da regressão. Na Figura 29 e na Figura 30 estão representadas as regressões lineares entre os sinais volumétricos da espirometria e videogrametria com separação das manobras de **VC** e **VM**. Na manobra de **VC** a correlação entre os métodos foi de $r=0.986$ enquanto que na manobra de **VM** foi de 0.996, A equações da reta na manobra de **VC** foi $y = 1.3*x + 0.17$ e na manobra de **VM** foi $y = 1.1*x + 0.37$.

Avaliando os resultados que comparam os dois métodos, podemos observar que os sinais de volume obtidos com a videogrametria estão em concordância de fase com os sinais obtidos com a espirometria, contudo os valores da variação do volume do tronco calculados pela videogrametria, são inferiores aos volumes obtidos com a espirometria.

5.2 Experimento 2 - Reprodutibilidade do método

A fim de verificar o efeito do reposicionamento dos marcadores para o cálculo de volume do tronco, foram realizadas medidas sucessivas do volume do tronco após este ser desmarcado e remarcado.

5.2.1 Metodologia

O processo metodológico para a aquisição das imagens de vídeo, medida das coordenadas, calibração e reconstrução tridimensional, foi o mesmo descrito no início do capítulo, porém para este teste foram realizadas imagens de vídeo de dois voluntários durante a realização de uma manobra de inspiração máxima (VM) durante repetidas vezes. Cada voluntário teve o tronco desnudo e por palpação, um examinador identificou as referências anatômicas e fixou os marcadores sobre pontos pré-definidos da pele seguindo o modelo de referência do tronco. Ao final da aquisição da imagem os marcadores foram retirados do tronco e após um tempo para descanso o mesmo voluntário teve o tronco remarcado, pelo mesmo examinador, para nova aquisição. Esse procedimento de remarcação foi repetido 3 vezes em cada voluntário.

5.2.2 Procedimento experimental

O procedimento experimental consta de aquisições de imagens de vídeo durante a realização de uma manobra com inspirações máximas (VM).

Durante o procedimento experimental foi pedido ao voluntário que expirasse o máximo volume de ar possível e iniciasse uma inspiração máxima com conseqüente expiração. A manobra foi estimulada durante toda a sua realização com a finalidade de incentivar ao voluntário a realização da expiração e inspiração máximas, sendo coletados os movimentos do tronco durante a realização de um único ciclo respiratório.

5.2.3 Variáveis experimentais

Para este teste foram analisadas as curvas de **VTr** em função do tempo considerando um único volume em cada curva para comparação, sendo analisado a média do volume do tronco, em função do tempo, em cada repetição de cada voluntário. As análises foram realizadas a partir das variações de volumes em torno destes valores médios. Os resultados foram explorados em média aritmética, desvio padrão e percentual do desvio padrão sobre a média.

5.2.4 Resultados do experimento 2

Os resultados referentes ao efeito do reposicionamento dos marcadores, obtidos com as medidas de volume dos dois voluntários podem ser visualizados na Figura 31, onde observa-se as curvas do **V_{Tr}** nas 3 marcações de cada voluntário, durante a manobra. O momento inicial de cada curva corresponde ao início de uma inspiração ao final de cada curva temos o final da expiração.

Para o teste da reprodutibilidade do método foram considerados os volumes médios da curva de volume do tronco nas 3 remarcações e a média entre esses 3 volumes obtidos. Estes valores sofrem a interferência da amplitude da curva, que pode ser variável nas repetições, pois corresponde à variação do volume do tronco durante a ventilação. Existem também variações devido às diferenças do reposicionamento dos marcadores, trata-se portanto de um erro sistemático.

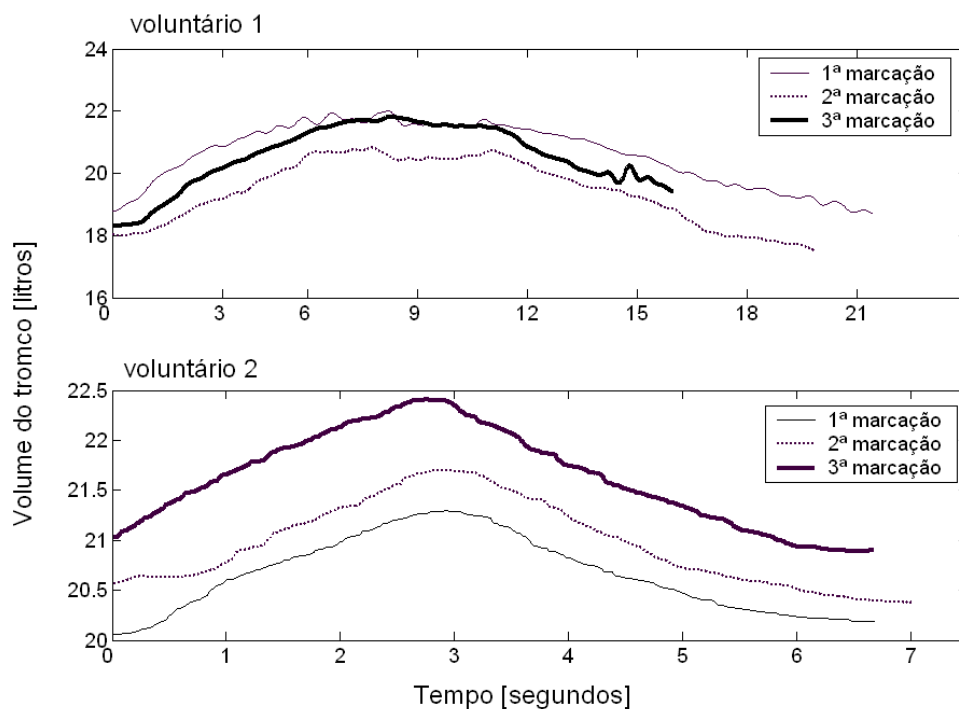


Figura 31 – Variação do volume do tronco em dois voluntários para teste do efeito do reposicionamento dos marcadores. Cada figura mostra 3 repetições de um mesmo voluntário com o tronco remarcado.

As 3 repetições, obtidas com as remarcações no 1º voluntário, apresentam diferenças no volume médio do tronco: a primeira marcação teve a média de volume no tronco de 20,627 litros, a segunda marcação apresentou um volume médio de 19,418 litros e na terceira o volume meio foi de 20,565 litros. O valor médio destas três medidas é de 20,203 litros, com desvio padrão de 0,681 litros, ou seja, o desvio representa 3,37% da média.

As 3 marcações, do 2º voluntário, apresentam as seguintes diferenças no volume médio do tronco: a primeira marcação teve o volume médio de 21,523 litros, a segunda marcação apresentou um volume médio de 20,853 litros e na terceira o volume foi de 20,594 litros. O valor médio destas três medidas é de 21,076 litros, com desvio padrão de 0,479 litros, ou seja, o desvio representa 2,28% da média. Estes cálculos foram feitos considerando o volume total do tronco, não podendo ser avaliada a variação de ar trocado com meio externo (**VTr**), devido às diferenças na execução da manobra ventilatória pelo voluntário.

Os resultados mostram que o efeito da remarcação do tronco produziu uma variabilidade pequena em torno do volume total do tronco **VTr**, representando em torno de 2-3% do volume médio do tronco.

5.3 Experimento 3 - Análise dos volumes parciais do tronco

Este experimento foi realizado com o intuito de aplicar o modelo proposto para mensurar a variação volumétrica e contribuição dos compartimentos do tronco em indivíduos normais, durante a realização das manobras de volume corrente (**VC**) e inspirações e expirações máximas, volumes máximos (**VM**).

5.3.1 Metodologia

A metodologia para este experimento foi descrita no capítulo 4.

5.3.2 Descrição dos voluntários

O estudo analisou de 13 voluntários, sendo 6 do sexo feminino e 7 do sexo masculino. Os voluntários apresentam média de idade de $23,5 \pm 1,8$ anos, massa média igual a $55,53 \pm 2,8$ kg e estatura média igual a 163 ± 4 cm para o sexo feminino e média de idade de $22,29 \pm 2,7$ anos, massa média de $67,65 \pm 9,8$ kg e estatura média de 174 ± 1 cm (Tabela 2 e Tabela 3). Como critério de inclusão à pesquisa foram analisados os sujeitos saudáveis, sem relatos de doenças

respiratórias, cardiovasculares ou desvios posturais diagnosticado, não fumantes. Através de uma avaliação, foram obtidos de cada sujeito os dados antropométricos como, massa corporal e estatura, os quais foram anotados em uma ficha juntamente com um questionário contendo informações sobre a possível ocorrência de patologias (apêndice 1).

Tabela 2 - Idade e dados antropométricos dos voluntários do sexo feminino.

	Gênero	Idade [anos]	Massa [kg]	Estatura [metros]
Voluntário 1	F	20	58	1,70
Voluntário 2	F	24	56,5	1,63
Voluntário 3	F	24	56	1,58
Voluntário 4	F	24	50	1,65
Voluntário 5	F	24	56,7	1,62
Voluntário 6	F	25	56	1,60
Médias	—	23,5 ± 1,8	55,53 ± 2,8	1,63 ± 0,04

Tabela 3 - Idade e dados antropométricos dos voluntários do sexo masculino.

	Gênero	Idade [anos]	Massa [kg]	Estatura [metros]
Voluntário 7	M	21	83	1,86
Voluntário 8	M	23	61,8	1,82
Voluntário 9	M	25	54	1,62
Voluntário 10	M	26	62	1,64
Voluntário 11	M	22	76	1,69
Voluntário 12	M	18	71,8	1,83
Voluntário 13	M	21	65	1,75
Médias	—	22,29 ± 2,7	67,65 ± 9,8	1,74 ± 0,1

5.3.3 Procedimento Experimental

O procedimento experimental consistiu do registro em vídeo de 2 manobras respiratórias: uma em ventilação com volume corrente de repouso (volume corrente, **VC**) e outra em inspirações e expirações máximas (volume máximo, **VM**). A manobra em volume corrente (**VC**) constou no registro dos movimentos ventilatórios do tronco durante aproximadamente 50 segundos, tendo o voluntário passado por um período de adaptação com a aquisição feita sem aviso ao voluntário, a fim de garantir a naturalidade da ventilação. A manobra em volumes máximos (**VM**) foi treinada previamente com o voluntário e este realizou a manobra sob o comando verbal de um pesquisador, que incentivou as inspirações e expirações máximas durante a aquisição das imagens. Foram registrados 5 ciclos respiratórios sucessivos com essa manobra. Durante a aquisição das imagens os voluntários foram orientados a não fazerem movimentos com os braços e pescoço e não flexionar o tronco.

5.3.4 Variáveis experimentais

Neste trabalho foram analisadas as curvas do volume de ar trocado (**VTr**), do tórax e abdômen e dos compartimentos (**TX-S**, **TX-I**, **AB-S**, **AB-I**) em função do tempo. A partir da diferença entre os valores máximos e mínimos da curva em cada ciclo foram obtidos os volumes expiratórios do tronco e de cada compartimento. Calculou-se, então, a média aritmética desses valores, nos cinco ciclos respiratórios, para cada voluntário em cada manobra. A partir dos valores médios dos compartimentos foram calculados os percentuais de participação de cada compartimento em relação ao volume de ar trocado no tronco (**VTr**). Os dados foram explorados em forma de tabelas e boxplot, sendo comparados os resultados entre os voluntários, identificando possíveis padrões para realização das manobras, formando subgrupos; entre os grupos de voluntários masculino e feminino e entre as duas manobras.

5.3.5 Testes estatísticos

Para a apresentação e comparação dos múltiplos resultados obtidos no estudo, entre as manobras de **VC** e **VM** e entre os compartimentos do tronco, utilizou-se a representação estatística dos dados por meio do *Box Plot*. Cada caixa desta representação é delimitada pelos valores correspondentes ao primeiro quartil e pelo terceiro quartil, tendo a indicação da mediana (segundo quartil) no seu interior. A distância entre a extremidade superior e inferior do *box*

representa a distância interquartílica. A partir da extremidade superior e inferior do *box* estendem-se linhas de comprimento 1,5 vez a distância interquartílica, mostrando a distribuição do restante dos valores. Valores extremos (*Outliers*) são valores maiores (ou menores) que 1,5 vez a distância interquartílica e são representados pelo sinal “+”, acima ou abaixo da caixa. Os chanfros em torno da mediana fornecem uma medida da significância robusta das diferenças entre os valores. Especificamente, se os chanfros (intervalos de confiança) em torno de duas medianas não se sobrepõem, as medianas são significativamente diferentes a um nível de 95% (MCGILL R, 1978). Esta técnica está implantada no software Matlab, ambiente no qual as análises foram realizadas.

Utilizando esta avaliação estatística, além de cálculos dos coeficientes de correlação e regressão linear, diversos dados volumétricos foram analisados. Primeiramente, foram comparados os volumes de ar trocado entre os voluntários do sexo feminino e do sexo masculino para as manobras **VC** e **VM**. Depois, foram estudadas as contribuições dos compartimentos **TX** e **AB** para o volume de ar trocado, em cada manobra de **VC** e **VM**, sem divisão por sexo. Em seguida o mesmo procedimento foi realizado para estudar as contribuições dos compartimentos **TX-S**, **TX-I**, **AB-S** e **AB-I**, em cada manobra. Os resultados de cada manobra também foram comparados entre si, segundo as contribuições dos compartimentos.

5.3.6 Resultados do experimento 3

Os volumes dos compartimentos foram analisados primeiramente na sua totalidade, volume total do tronco (**VTr**), procurando identificar diferenças entre os sexos na realização das manobras. Em seguida os volumes foram apresentados com subdivisões do tronco; primeiro em duas partes, Tórax e Abdômen (**TX** e **AB**) e em 4 partes, tórax superior (**TX-S**), tórax inferior (**TX-I**), abdômen superior (**AB-S**) e abdômen inferior (**AB-I**). Essas subdivisões permitiram uma análise detalhada da contribuição de cada área do tronco para o volume total trocado com meio durante a realização das manobras respiratórias.

Por fim foram comparados os comportamentos de cada subdivisão do tronco durante a realização da manobra de volume corrente (**VC**) e da manobra de Inspiração máxima (**VM**).

a) Volume total do tronco (VTr)

O volume total do tronco foi calculado para todos os voluntários nas manobras de volume corrente (**VC**) e volume máximo (**VM**). Os valores são apresentados para ambas as manobras, sendo calculado o valor da expiração em cada ciclo respiratório e avaliado o valor médio de 5 ciclos para cada voluntário. Mesmo o voluntário tendo executado mais de cinco ciclos da manobra de **VC**, foram descartados ciclos excedentes iniciais e finais, e considerados somente os 5 ciclos centrais.

As curvas de volume do tronco em função do tempo podem ser observadas na Figura 32 com a variação do volume durante a manobra de **VC** em voluntários feminino, na Figura 33 para voluntários masculinos, na Figura 34 com a variação do volume durante a manobra de **VM** em voluntários feminino e na Figura 35 para voluntários masculinos. As curvas dentro de cada gráfico são apresentadas na mesma escala numérica de volume e com mesmos limites de tempo. As diferenças de amplitude e duração do ciclo respiratório refletem as individualidades de cada voluntário para realização das manobras. Na Figura 34, manobra de **VM**, a curva de volume do voluntário 3 contém 4 ciclos respiratórios ao invés de 5, sendo considerados os valores desses 4 ciclos para as análises. As curvas de volume foram apresentadas separadas por sexo para melhor visualização por semelhanças de amplitudes entre indivíduos de um mesmo sexo e melhor organização da escala do gráfico.

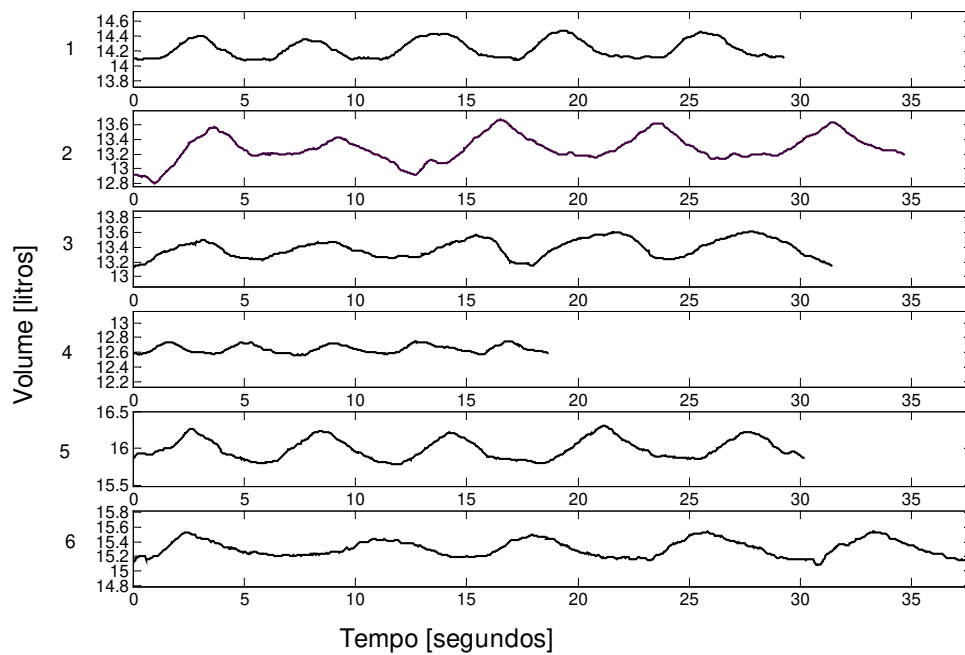


Figura 32 - Curvas do volume total do tronco (VTr) em função do tempo para os 6 voluntários do sexo feminino durante a manobra de VC.

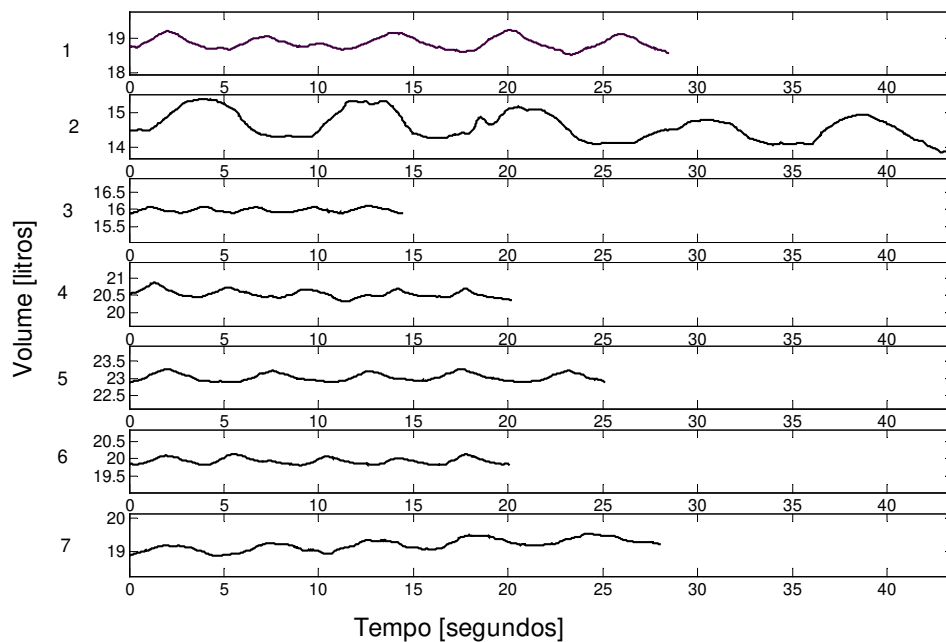


Figura 33 -Curvas do volume total do tronco (VTr) em função do tempo para os 7 voluntários do sexo masculino durante a manobra de VC.

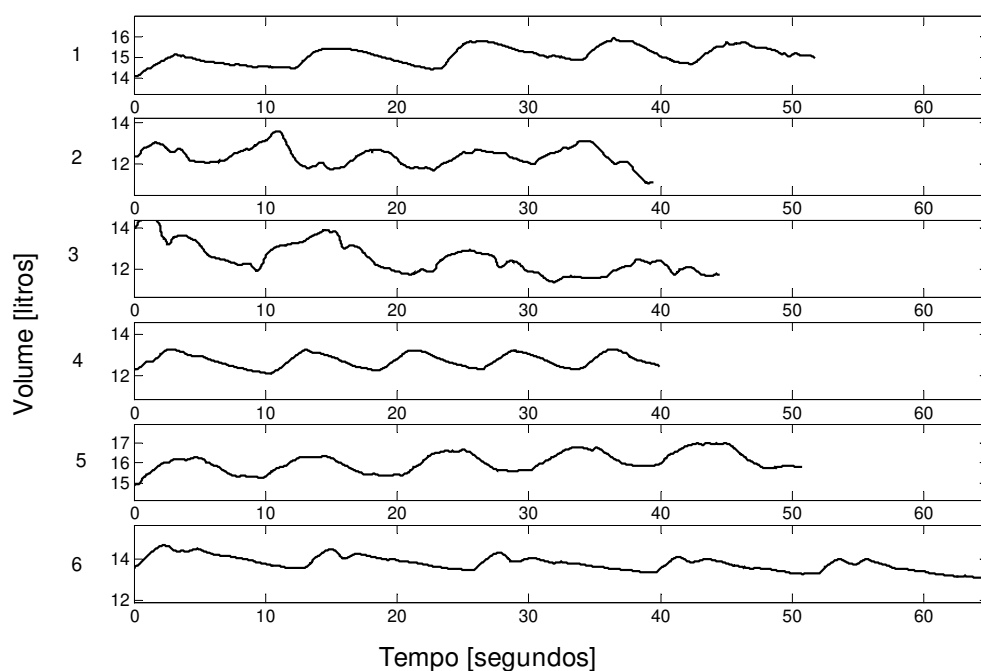


Figura 34 - Curvas do volume total do tronco (VTr) em função do tempo para os 6 voluntários do sexo feminino durante a manobra de VM. O voluntário nº 3 não realizou o 5º ciclo durante a coleta de dados.

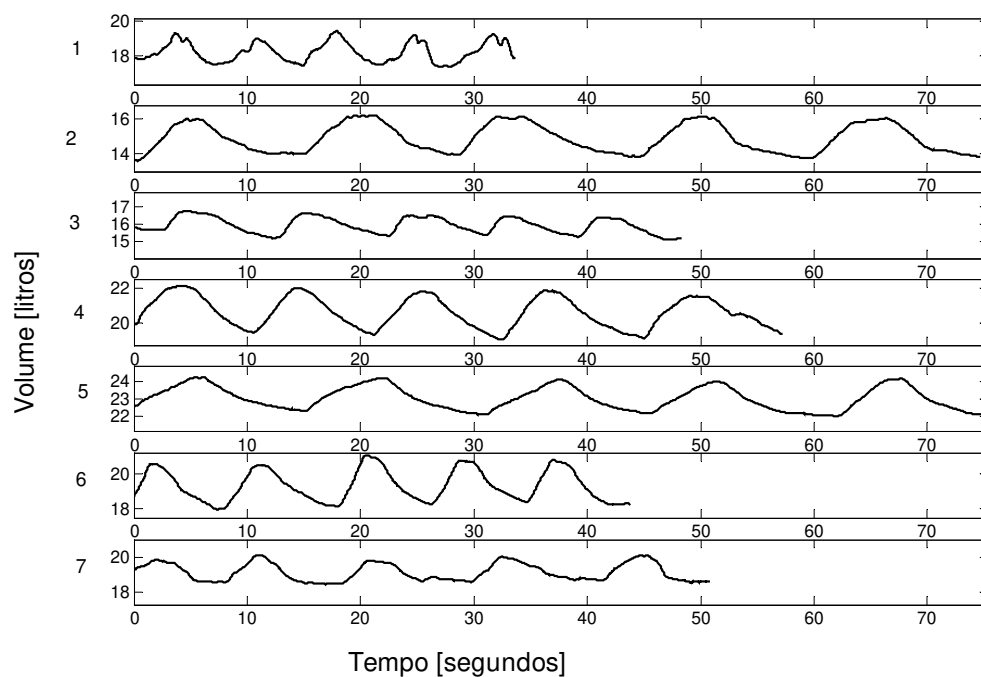


Figura 35- Curvas do volume total do tronco (VTr) em função do tempo para os 7 voluntários do sexo masculino durante a manobra de VM.

Os valores dos volumes expiratórios obtidos a partir das curvas do **VTr** podem ser conferidos nas Tabela 4 e Tabela 1Tabela 5, onde são apresentados para cada voluntário os valores em cada ciclo e a média entre estes ciclos. Os voluntários de números 1 a 6 são do sexo feminino e do número 7 a 13 são do sexo masculino. Para a manobra de **VC**, os valores médios de volume para voluntários do sexo feminino e do sexo masculino são aproximadamente iguais ($p = 0,4611$), mesmo observando que o voluntário 8 apresentou valores expiratórios bastante superiores aos demais (veja Figura 36). Já na manobra de **VM**, os valores de volume expirado foram significativamente maiores no sexo masculino ($p=0,0055$) sugerindo uma capacidade para realização da manobra maior em indivíduos desse sexo (veja Figura 37).

Tabela 4 - Volumes expiratórios máximos em litros nos 5 ciclos respiratórios e a média desses valores de cada voluntário durante a manobra de VC.

Vountários	1º ciclo	2º ciclo	3º ciclo	4º ciclo	5º ciclo	valor médio
1	0,340	0,297	0,341	0,360	0,328	0,333 ± 0,023
2	0,385	0,469	0,499	0,489	0,400	0,448 ± 0,052
3	0,259	0,193	0,366	0,357	0,429	0,321 ± 0,094
4	0,157	0,164	0,121	0,164	0,153	0,152 ± 0,018
5	0,461	0,436	0,350	0,426	0,303	0,396 ± 0,066
6	0,315	0,260	0,320	0,443	0,403	0,348 ± 0,074
7	0,519	0,373	0,534	0,712	0,493	0,526 ± 0,122
8	1,214	1,095	1,026	1,050	0,695	1,016 ± 0,193
9	0,176	0,149	0,140	0,155	0,201	0,164 ± 0,024
10	0,410	0,305	0,428	0,212	0,265	0,321 ± 0,093
11	0,355	0,304	0,267	0,342	0,253	0,304 ± 0,045
12	0,270	0,315	0,245	0,187	0,277	0,259 ± 0,047
13	0,282	0,315	0,253	0,302	0,270	0,284 ± 0,025

Tabela 5 - Volumes expiratórios máximos em litros nos 5 ciclos respiratórios e a média desses valores de cada voluntário durante a manobra de VM.

Vountários	1º ciclo	2º ciclo	3º ciclo	4º ciclo	5º ciclo	valor médio
1	0.632	0.947	0.899	1.097	0.612	0.837 ± 0.210
2	0.955	1.769	0.890	0.612	2.040	1.253 ± 0.620
3	2.528	2.107	1.541	2.107	*	2.070 ± 0.405
4	0.624	0.974	0.905	0.881	0.855	0.848 ± 0.133
5	0.888	0.916	0.996	0.910	1.226	0.987 ± 0.140
6	1.171	1.021	0.972	0.747	0.913	0.965 ± 0.155
7	2.297	1.870	2.264	2.211	2.169	2.162 ± 0.171
8	2.027	2.249	2.325	2.553	2.044	2.239 ± 0.217
9	1.538	1.290	1.118	1.144	1.273	1.273 ± 0.167
10	2.660	2.694	2.724	2.771	2.114	2.593 ± 0.271
11	1.974	2.137	1.928	1.668	2.061	1.954 ± 0.179
12	2.612	2.374	2.701	2.404	2.607	2.540 ± 0.143
13	1.305	1.643	1.126	1.124	1.400	1.320 ± 0.216

* O voluntário 3 não realizou o 5º ciclo durante a coleta de dados.

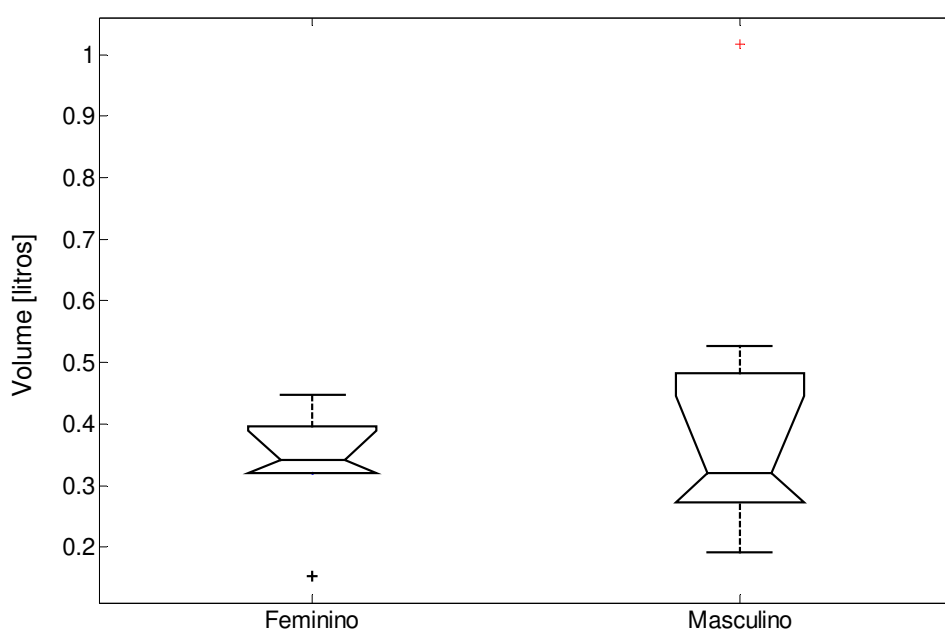


Figura 36 – Boxplot com a distribuição dos valores médios do VTr dos 5 ciclos respiratórios durante a manobra de VC com separação de grupos por sexo.

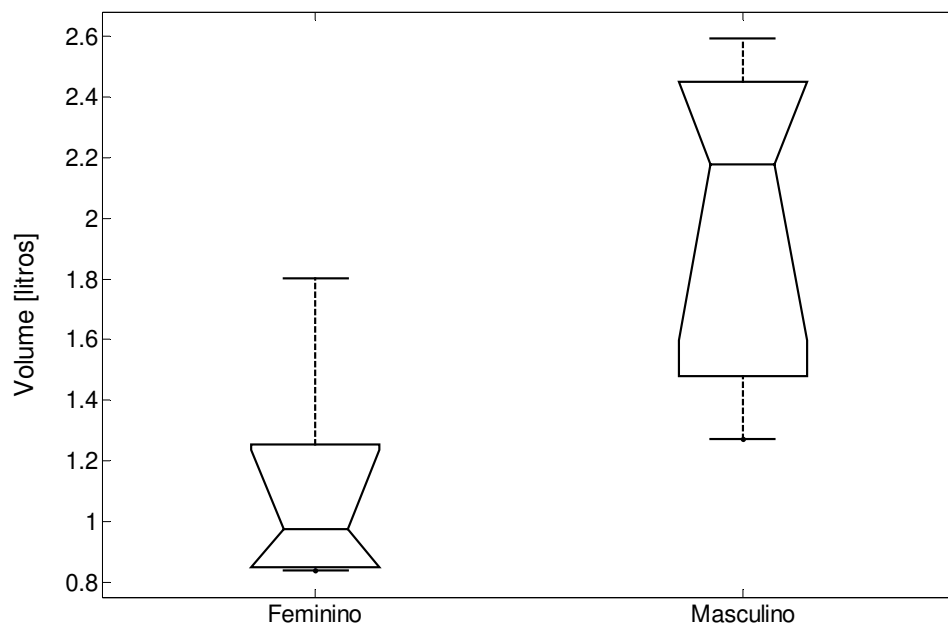


Figura 37- Boxplot com a distribuição dos valores médios do VTr dos 5 ciclos respiratórios durante a manobra de VM com separação de grupos por sexo.

b) Volume nos compartimentos TX e AB

Como descrito na metodologia, o modelo geométrico de representação do tronco permite a análise da distribuição do volume respiratório em vários compartimentos do tronco humano. As variáveis descritoras da variação do volume nos compartimentos do tórax (**TX**) e Abdômen (**AB**) permitiram a observação do comportamento desses compartimentos do tronco durante a realização das manobras de **VC** e **VM**. Os valores dos coeficientes de correlação entre estas variáveis foram calculados para cada sujeito em todo conjunto dos ciclos 5 ciclos respiratórios nas duas manobras. As Figura 38 e Figura 39 mostram a variação dos volumes em função do tempo e a regressão linear entre as variáveis **TX** e **AB** na manobra de **VC** para o voluntário 12. As Figura 40 e Figura 41 mostram a variação dos volumes em função do tempo e a correlação com regressão linear entre as variáveis **TX** e **AB** na manobra de **VM** para o mesmo voluntário. A razão da escolha deste voluntário para demonstração dos resultados referentes aos compartimentos **TX** e **AB** foi por ele apresentar um comportamento semelhante a maioria do grupo. Os altos valores positivos de correlação indicaram que os volumes do **TX** e **AB** variam em

concordância de fase, sugerindo, assim inspirações e expirações simultâneas entre o **TX** e **AB**. Um voluntário (V2) obteve valor mais baixo para manobra de **VC** e três voluntários (V2, V7, V13) apresentaram valores mais baixos de correlação na manobra **VM**.

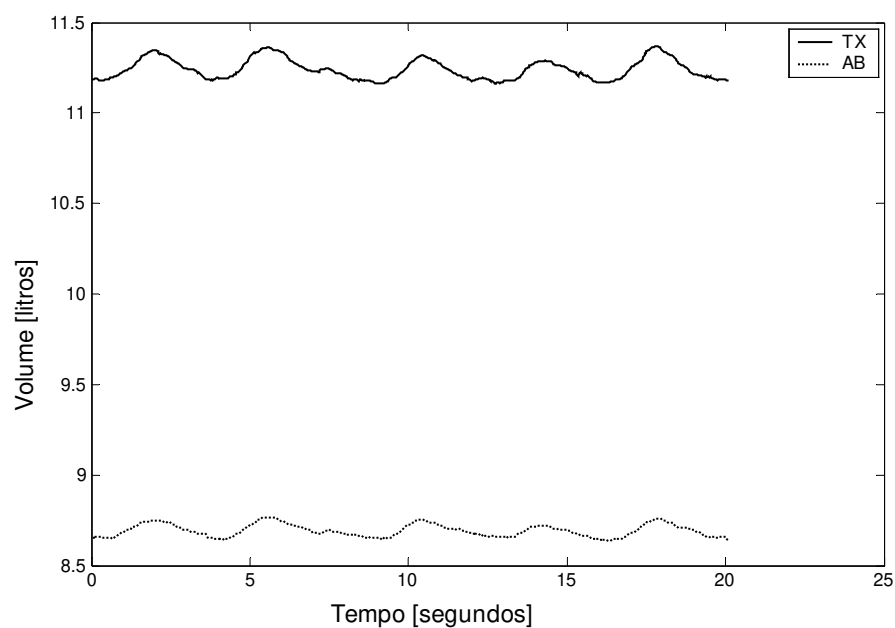


Figura 38 - Curvas dos volumes do tórax e abdômen em função do tempo durante a manobra de VC para 1 voluntário.

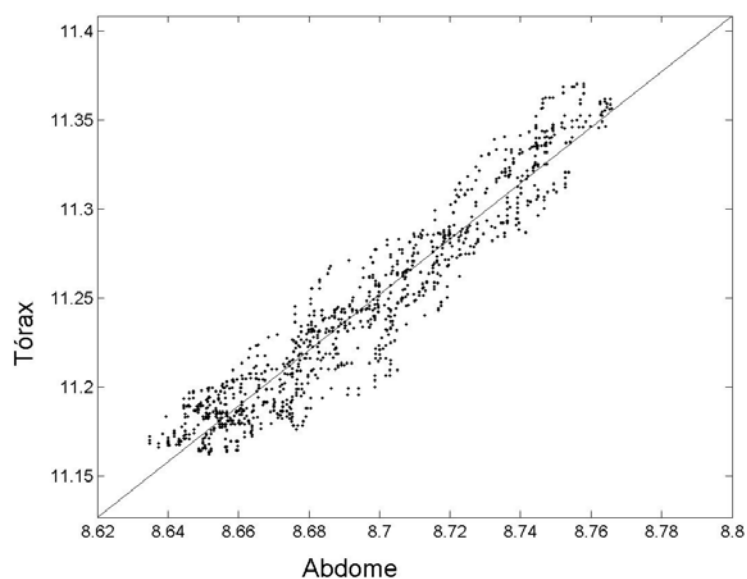


Figura 39 - Regressão linear entre as variáveis do volume do tórax e volume do abdômen durante a manobra de VC.

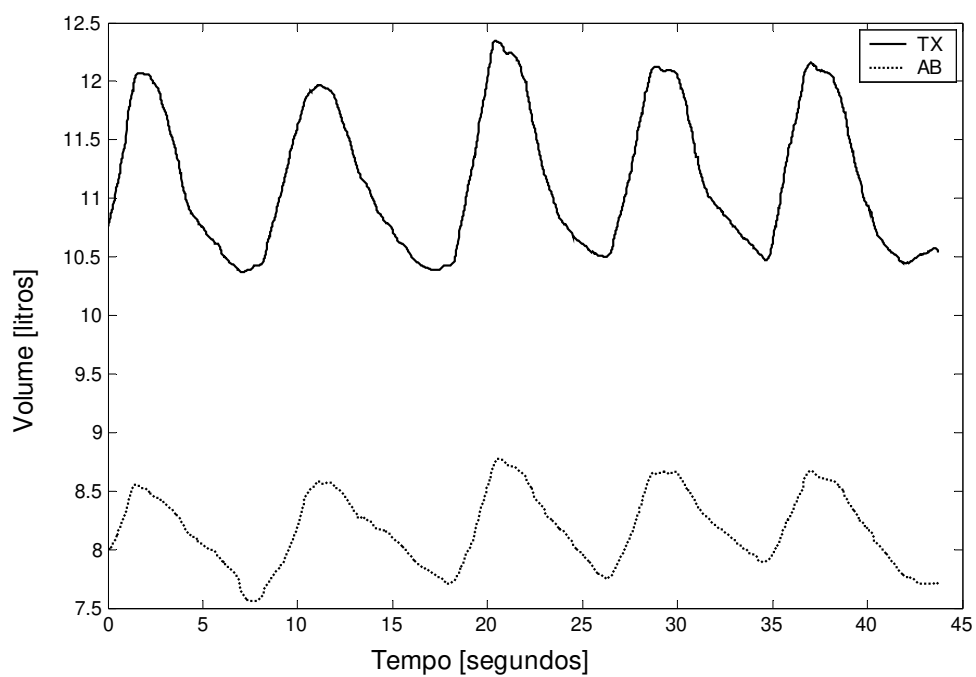


Figura 40 - Curvas dos volumes do tórax e abdômen em função do tempo durante a manobra de VM.

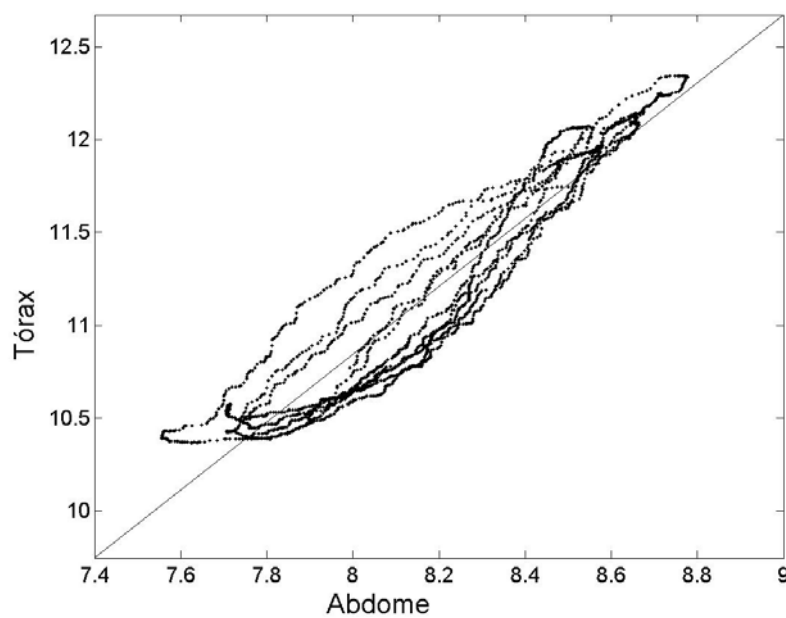


Figura 41- Regressão entre as variáveis do volume do tórax e volume do abdômen durante a manobra de VM.

As distribuições dos volumes expiratórios, nos dois compartimentos (**TX** e **AB**) podem ser analisadas nas Figura 42 e Figura 43. Para esta análise foram calculados os valores percentuais dos volumes do compartimento do tórax e do abdômen em cada um dos 5 ciclos respiratórios dos voluntários nas manobras de **VC** e **VM**. A Figura 42 mostra que em geral os valores percentuais de **TX** foram maiores que os valores percentuais de **AB** o que demonstra uma maior participação do tórax para a ventilação em **VC**, embora alguns voluntários em alguns ciclos respiratórios tenham apresentados comportamento oposto.

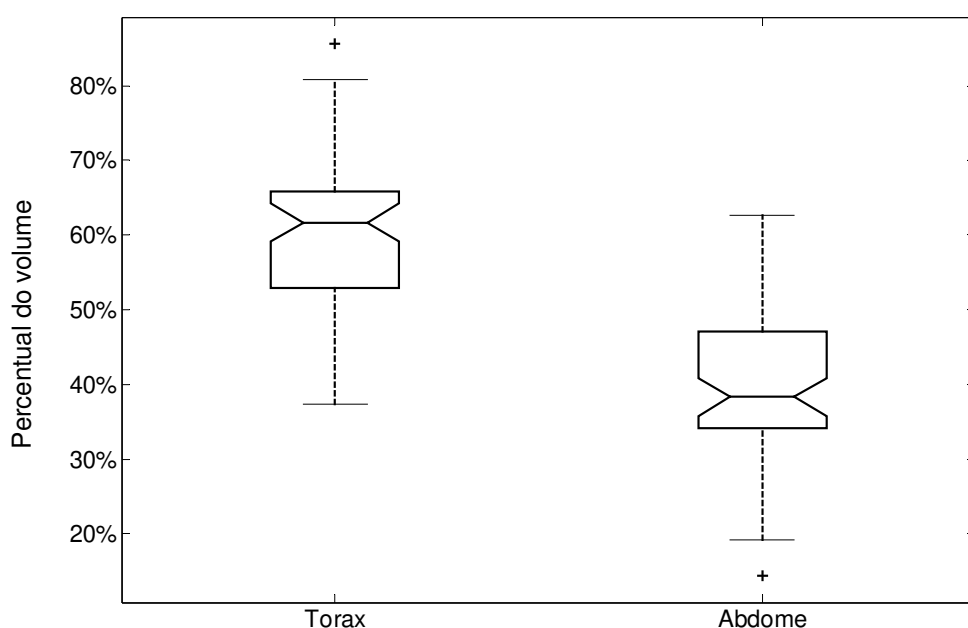


Figura 42 – Boxplot com a distribuição do volume respiratório nos compartimentos do tórax e abdômen durante a manobra de volume corrente.

A Figura 43 mostra a distribuição dos valores percentuais do volume durante a manobra de **VM**, em que foi observada uma contribuição significativamente maior no compartimento **TX** em relação a **AB**, embora a distribuição mostre uma variabilidade grande para essas contribuições.

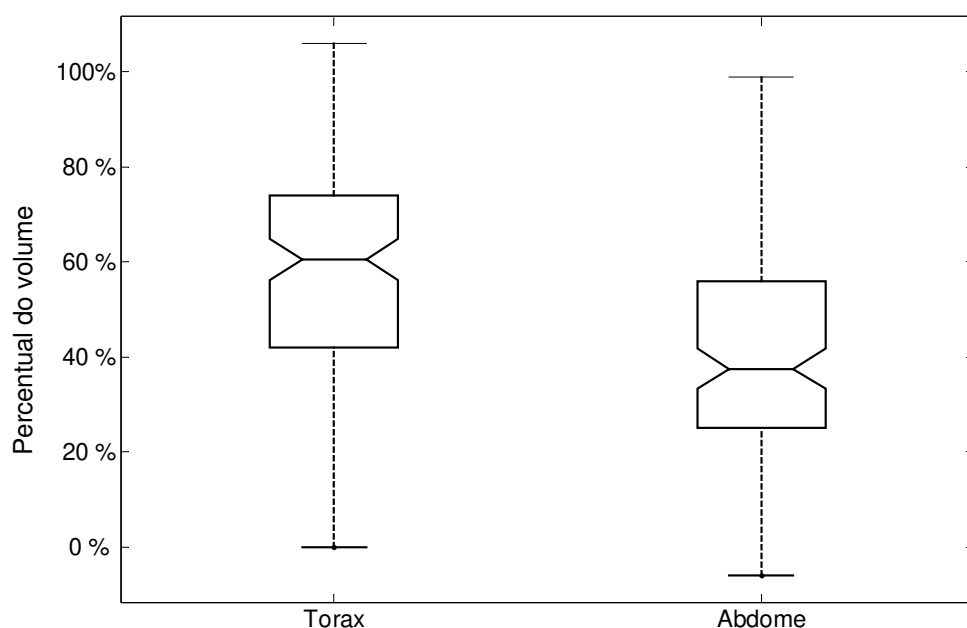


Figura 43 – Boxplot com a distribuição do volume respiratório nos compartimentos do tórax e abdômen durante a manobra de volumes máximo (VM) .

c) Análise do volume nos compartimentos TX-S, TX-I, AB-S e AB-I

O modelo geométrico proposto permite ainda uma avaliação mais específica das áreas do tronco dos voluntários, podendo dividir o tronco em 4 compartimentos. Isto possibilita uma melhor identificação da distribuição do ar trocado com o meio externo durante a ventilação pela contribuição de cada parte para o volume total.

Para análise das distribuições dos volumes expiratórios, nos 4 compartimentos (**TX-S**, **TX-I**, **AB-S** e **AB-I**) foram calculados os percentuais dos volumes expiratórios nesses compartimentos do tronco em cada um dos 5 ciclos respiratórios, esse percentual da contribuição dos compartimentos para o volume total do tronco (**VTr**) foi calculado para os 13 voluntários nas duas manobras.

A Figura 44 mostra que os valores percentuais de **AB-S** foram os maiores, seguidos de **TX-I** e **TX-S**, o que demonstra uma maior participação de **AB-S** para a ventilação em VC, apesar de **AB-S** ter tido uma grande variabilidade com valores desde de 10% a 60%. . **TX-S** e **TX-I** tiveram comportamento semelhante, embora **TX-I** tenha uma menor variabilidade na sua

contribuição. Além disso, nota-se que o **AB-I** tem uma participação pequena para alguns voluntários e uma participação próxima de zero ou negativa para outros voluntários, com pequena variabilidade destes valores.

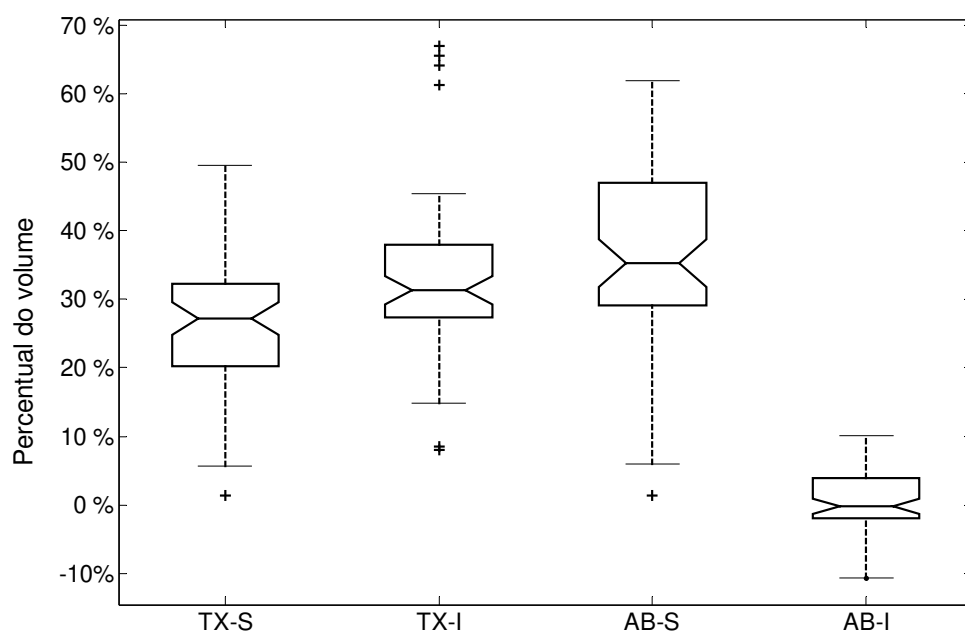


Figura 44 – Boxplot com a distribuição do volume respiratório nos compartimentos TX-S, TX-I, AB-S e AB-I durante a manobra de volume corrente (VC).

Na Figura 44, observa-se a existência de valores de participações percentuais negativos, indicando que o compartimento em questão apresentou inversão de fase em relação ao volume total. Esta inversão de fase evidencia que a variação do volume neste compartimento é oposta à variação do volume total, isto é, enquanto o volume total aumenta o volume deste compartimento diminui e enquanto o volume total diminui o volume deste compartimento aumenta, contribuindo portanto de forma negativa para o total. Um exemplo de resultado com uma inversão de fase do compartimento AB-I em relação aos demais compartimentos do tronco pode ser observado na Figura 45.

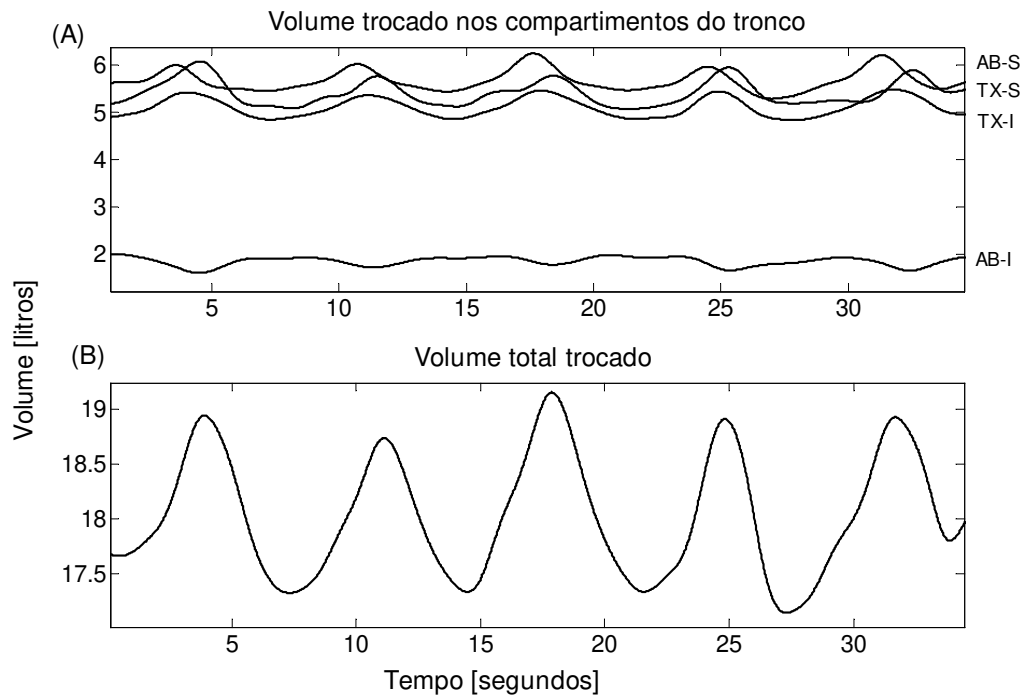


Figura 45 – Figura (A) -Volume nos compartimentos do tronco (TX-S, TX-I, AB-S E AB-I). Figura (B) – Volume total do tronco. A curva do volume do compartimento AB-I está em oposição de fase com os demais compartimentos do tronco e com a curva do volume total do tronco.

A Figura 46 também mostra que os valores percentuais dos volumes foram distribuídos de modo semelhante nos compartimentos **TX-S**, **TX-I** e **AB-S** com valores da mediana próximos. A variabilidade de **TX-S** e **AB-S** foram maiores que em **TX-I**. Já o compartimento **AB-I** teve uma participação pequena, sendo negativa para a maioria dos voluntários.

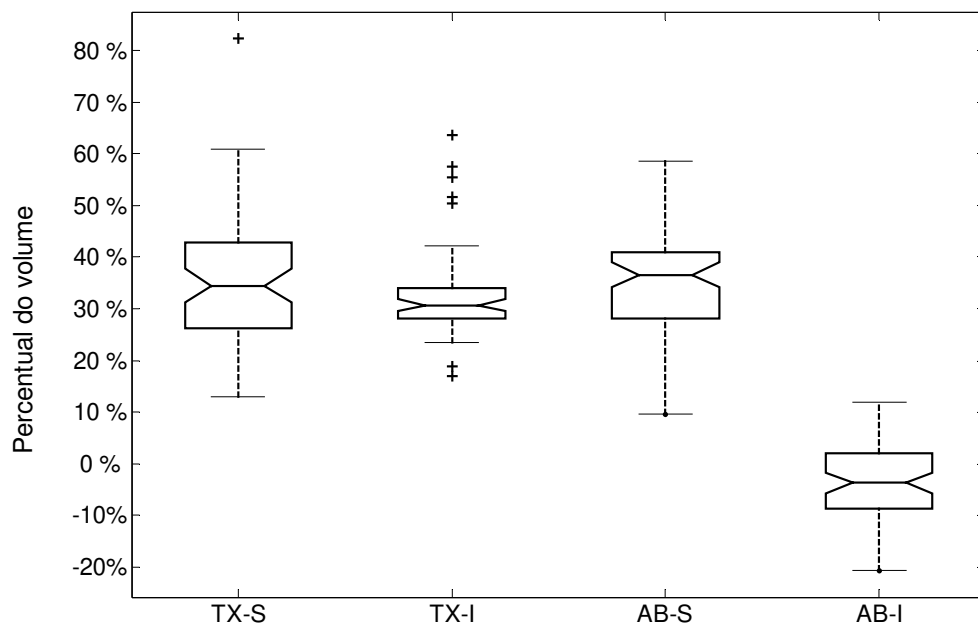


Figura 46 – Boxplot com a distribuição do volume respiratório nos compartimentos TX-S, TX-I, AB-S e AB-I durante a manobra de volume máximo (VM) .

Da mesma forma realizada na análise do **TX** e **AB**, os valores dos coeficientes de correlação entre as variáveis do **TX-S**, **TX-I**, **AB-S** e **AB-I** foram calculados para cada sujeito em todo conjunto dos ciclos 5 ciclos respiratórios nas duas manobras. e apresentados nas Tabela 6 e Tabela 7. Os altos valores positivos de correlação indicaram que os volumes dos compartimentos correlacionados variam em concordância de fase, sugerindo, assim inspirações e expirações simultâneas entre estes compartimentos. Os valores negativos indicaram uma inversão de fase entre os compartimentos correlacionados.

Tabela 6 - Coeficientes de correlação entre os compartimentos do tronco (TX-S, TX-I, AB-I e AB-I) durante a manobra de VC.

	TX-S/TX-I	TX-S/AB-S	TX-S/AB-I	TX-I/AB-S	TX-I/AB-I	AB-S/AB-I
V1	0.9687	0.9476	-0.1567	0.9559	-0.1996	-0.1815
V2	0.5088	0.2394	-0.2915	0.8927	0.5540	0.8176
V3	0.7525	0.8868	0.3763	0.8207	0.4838	0.5110
V4	0.9010	0.8991	0.5160	0.9301	0.6048	0.6315
V5	0.8552	0.8375	0.0173	0.9796	0.0030	-0.0524
V6	0.8697	0.7413	-0.3497	0.9102	-0.3844	-0.3624
V7	0.9468	0.9094	0.0669	0.9654	0.1699	0.3005
V8	0.8225	0.8715	0.7947	0.9797	0.8934	0.9319
V9	0.8920	0.8804	0.4511	0.9467	0.3869	0.3279
V10	0.6846	0.4577	-0.5546	0.9139	-0.3834	-0.3809
V11	0.9321	0.9211	-0.5984	0.9712	-0.6013	-0.5898
V12	0.9428	0.9263	-0.5509	0.9617	-0.6592	-0.6942
V13	0.9536	0.9324	0.6503	0.9654	0.7614	0.7310

Tabela 7 - Coeficientes de correlação entre os compartimentos do tronco durante a manobra de VM.

	TX-S/TX-I	TX-S/AB-S	TX-S/AB-I	TX-I/AB-S	TX-I/AB-I	AB-S/AB-I
V1	0.9388	0.8876	-0.1754	0.9098	-0.2194	0.0397
V2	0.7897	0.4640	-0.3627	0.6678	-0.2453	0.4981
V3	0.8325	0.7633	0.3835	0.9678	0.6566	0.7017
V4	0.9414	0.8701	-0.7461	0.9374	-0.5794	-0.4308
V5	0.7904	0.9266	-0.6969	0.8829	-0.9273	-0.7610
V6	0.8130	0.8831	-0.2339	0.8195	-0.6742	-0.2621
V7	0.8260	0.4332	-0.8437	0.7998	-0.6846	-0.2122
V8	0.9420	0.9378	0.6499	0.9943	0.7967	0.8093
V9	0.9663	0.9572	-0.0667	0.9638	-0.2395	-0.1451
V10	0.5493	0.5447	0.5780	0.9801	0.2198	0.2840
V11	0.9810	0.8736	-0.6126	0.9114	-0.6343	-0.8235
V12	0.9772	0.9532	-0.7362	0.9544	-0.7650	-0.7502
V13	0.7984	0.3880	0.0990	0.5604	0.2099	0.7586

d) Comparação entre a manobra de Volume Corrente (VC) e a manobra de Volume Máximo (VM)

A análise comparativa entre as manobras estudadas no trabalho permitiu o conhecimento da contribuição de cada compartimento para a ventilação durante uma ventilação tranqüila e as

inspirações e expirações máximas, próximas da capacidade vital. Para esta análise foram utilizados os valores percentuais dos volumes (nos 5 ciclos) de cada voluntário e comparadas as manobras nos compartimentos **TX** e **AB** e nos compartimentos **TX-S**, **TX-I**, **AB-S** e **AB-I**.

Contribuição dos compartimentos TX e AB nas manobras de VC e VM

A Figura 47 mostra o comportamento dos compartimentos **TX** e **AB** nas duas manobras. Foi observada a maior participação do **TX** tanto na manobra de **VC** quanto em **VM**, sendo que a contribuição deste compartimento é crescente na manobra de **VM**. O **AB**, conseqüente, tem comportamento inverso, com menor contribuição nas duas manobras, sendo sua contribuição decrescente na manobra de **VM**.

A análise estatística foi realizada separadamente para o compartimento **TX** nas manobras de **VC** e **VM** e para o compartimento **AB** nas mesmas manobras. Tanto o compartimento **TX** quanto o **AB** mostraram uma diferença significativa entre as distribuições dos percentuais do volume. O **TX** apresentou um $p=0.0083$ quando comparada sua participação durante a manobra de **VC** e **VM**, demonstrando que esse compartimento tem participações diferentes nas manobras. O mesmo foi observado para o compartimento **AB** com um $p=0.0014$.

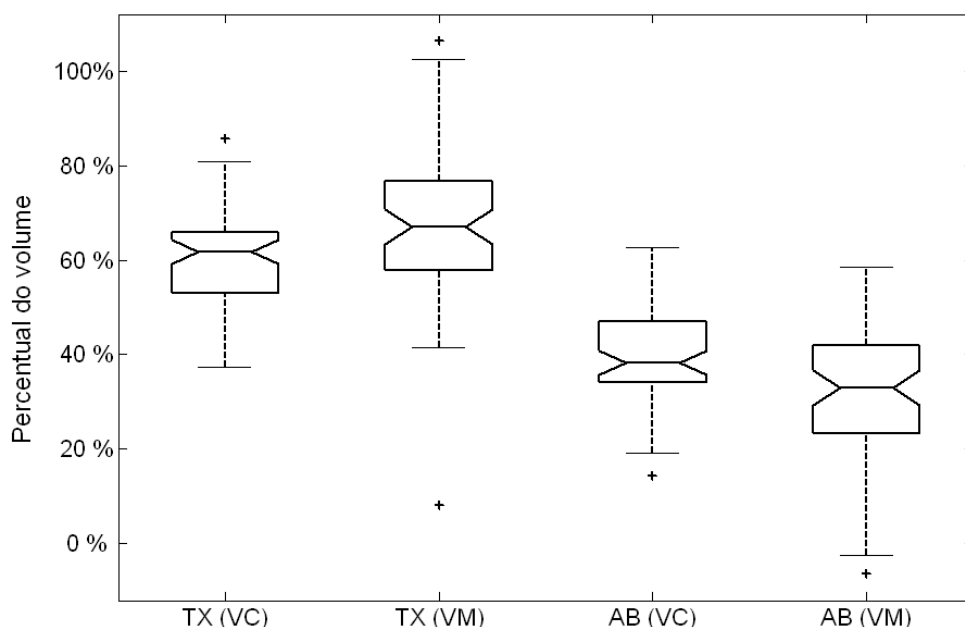


Figura 47 - Boxplot com a distribuição percentual do volume nos compartimentos TX e AB na comparação entre as manobras de volume corrente (VC) e Inspiração máxima (VM).

Contribuição dos compartimentos TX-S, TX-I, AB-S e AB-I nas manobras de VC e VM

A análise desses 4 compartimentos permitiu uma apreciação detalhada do comportamento das subdivisões específicas do tronco durante a ventilação. A Figura 48 mostra o comportamento dos compartimentos **TX-S**, **TX-I**, **AB-S** e **AB-I** nas duas manobras. Da mesma maneira que na análise do **TX** e **AB**, a análise estatística foi realizada separadamente para cada compartimento nas duas manobras. Dessa forma foi observado que o compartimento **TX-S** desenvolveu um comportamento diferente nas duas manobras, tendo uma maior participação na manobra de **VM** ($p= 2.1445e-005$). O **TX-I** e **AB-S** apresentaram um comportamento semelhante nas duas manobras com um $p = 0.8742$ e $p= 0.7179$ respectivamente. O **AB-I** foi o compartimento com participação mais diferenciada em ambas manobras, apresentando valores percentuais pequenos ou negativos, tendo um comportamento diferente quando comparadas as duas manobras ($p= 1.0917e-004$).

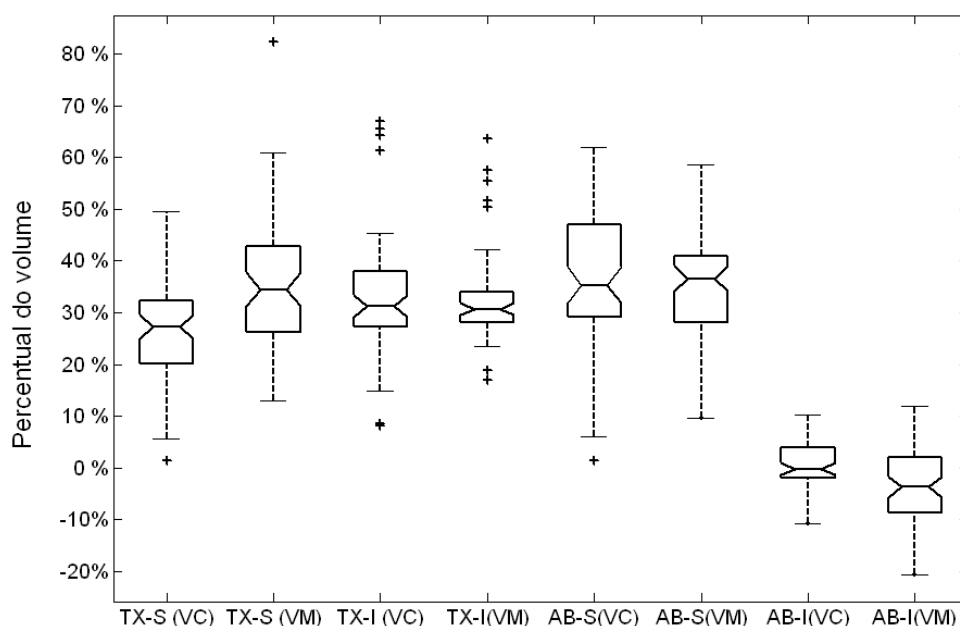


Figura 48 - - Boxplot com a distribuição percentual do volume nos compartimentos TX-S, TX-I, AB-S e AB-I na comparação entre as manobras de volume corrente (VC) e Inspiração máxima (VM).

Nos resultados apresentados para a aplicação da metodologia, esta mostrou várias possibilidades de análises: cálculo do **VTr** e sua variação no tempo obtendo valores volumétricos inferiores aos valores de referência encontrados na literatura; os resultados dos compartimentos **TX** e **AB** com uma maior contribuição do **TX** para a ventilação; na divisão do tronco em quatro compartimentos, constatação de uma maior contribuição do **TX- I** e **AB-S** na manobra de **VC** e contribuições parecidas entre os compartimentos **TX-S**, **TX-I** e **AB-S** na manobra de **VM**; e, confrontando as duas manobras estudadas, a verificação de semelhanças no comportamento dos compartimentos para realização das manobras.

6. Discussão

6.1 Modelo de representação do tronco

O modelo utilizado neste trabalho para a representação do tronco partiu de modificações feitas no modelo anteriormente apresentado por Ferrigno et al. (1994), cujo modelo dividia o tronco em 3 compartimentos – tórax superior, tórax inferior e abdômen – enquanto o modelo proposto aqui apresenta 4 compartimentos, incluindo o abdômen inferior ao modelo original. Os resultados obtidos com a análise do volume trocado neste novo compartimento mostraram resultados significativos para alguns voluntários, principalmente na realização da manobra de volume máximo, com alteração de fase em alguns casos, embora em outros voluntários a análise do volume trocado neste compartimento não demonstrou ser significativo, no entanto a inclusão deste compartimento é um ponto vantajoso para o modelo, principalmente quando este apresentou participações com alternância de fase com os demais compartimentos o que demonstra que os movimentos da pelve produzem efeito no volume ventilatório. Outra modificação realizada foi quanto ao posicionamento dos marcadores; o modelo proposto neste trabalho ajustou os marcadores para obtenção de diferentes variáveis volumétricas, que não foram tratadas na pesquisa; como por exemplo a avaliação da simetria direita esquerda, essa possibilidade de análise não pode ser implementada no modelo anterior proposto por Ferrigno e Pedotti (1985).

O modelo mostrou-se eficiente para a finalidade proposta, porém deve-se destacar algumas características. A primeira delas é relativa ao posicionamento do voluntário, não sendo possível uma análise do voluntário em qualquer decúbito, sem que adaptações sejam feitas na metodologia; pois os marcadores posteriores não estariam visíveis em um decúbito dorsal, da mesma forma que os marcadores laterais estariam ocluídos em um decúbito lateral. Outra característica é quanto ao posicionamento do voluntário dentro do espaço de calibração, pois é

necessário solicitar ao voluntário pouca movimentação do tronco durante a realização das manobras, o que pode dificultar, em algumas manobras de inspiração máxima, a naturalidade e intensidade de realização da mesma, porém esta limitação pode ser eliminada se aumentado o volume da calibração. Por fim existe a possibilidade do modelo de representação do tronco não abranger todo o volume deste, pois os poliedros que propiciam o cálculo dos volumes no tronco, são formados por retas, enquanto que a superfície do tronco é mais complexa.

6.2 Discussão da Metodologia Proposta

A videogrametria, como toda metodologia proposta, possui limitações; estas são possíveis de serem resolvidas com algumas alterações no modelo de representação do tronco e melhorias no equipamento utilizado.

Dentre as desvantagens do método está o tempo gasto para processamento das imagens que foi de aproximadamente 3:30 horas para uma manobra de cada voluntário, podendo variar com a depender do número de quadros a serem processados, isto é, da duração da manobra ventilatória e da velocidade do computador.

Outra desvantagem é referente ao espaço em disco para armazenamento das imagens a serem processadas. No entanto o armazenamento de imagens permite uma avaliação visual e qualitativa dos movimentos realizados pelo voluntário durante a manobra ventilatória. Isto é uma vantagem do sistema Dvideow em relação aos outros sistemas disponíveis no mercado.

Dentre as vantagens da metodologia está a possibilidade de medir diretamente o volume do tronco e suas variações no espaço, eliminando a necessidade de procedimentos de calibração contra volumes conhecidos em toda coleta, como ocorre na pletismografia e magnetometria. Porém vale ressaltar que a metodologia não mede o volume de entrada e saída de ar nos pulmões, mas sim a variação de volume no tronco durante a ventilação; embora a correlação entre os dois volumes seja bastante alta.

Ainda comparando a videogrametria com a pletismografia e magnetometria, que medem o diâmetro antero-posterior ou a áreas de secções transversais do tórax e abdômen, estes limitam o tronco em dois compartimentos (tórax e abdômen). Obviamente os movimentos do tronco referente à ventilação humana são complexos e uma análise com maior detalhamento das variações de volume no tronco abre novas oportunidades para uma melhor compreensão da

fisiologia da ventilação, bem como identificação de padrões de movimentos ventilatórios de grupos específicos como nadadores, praticantes de ioga e em pessoas com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC).

Comparando o método proposto com outros métodos de análise ótica, como o que utiliza o sistema de luz infravermelha, a videogrametria utiliza câmeras de vídeo que são muito mais difundidas e de menor custo e ainda armazena as imagens o que facilita a observação dos eventos ventilatórios e do sinal encontrado com a variável experimental.

6.3 Comparação entre as medidas de volume por videogrametria e espirometria

O resultado comparativo entre a videogrametria e a espirometria mostrou que existe uma alta correlação entre os sinais obtidos com os dois métodos, embora a análise tenha mostrado diferenças entre os valores absolutos da variação do volume do tronco e do volume de ar trocado.

Devido às variações de pressão interna ao tronco, a complacência dos pulmões e possíveis alterações de volume dos órgãos abdominais durante a ventilação, os volumes medidos por essas duas metodologias diferem, embora sejam altamente correlacionados. Isto foi verificado no trabalho realizado por Iandelli et al. (2002) no qual ele comparou, em 6 homens, medidas de volume do tronco através da pletismografia e do fluxo de ar trocado através de um pneumotacógrafo preso à boca, durante a realização de manobras ventilatórias. As pressões internas, pleural e abdominal, foram também mensuradas, através de um sistema com um cateter e um balão na extremidade, inseridos no esôfago e estômago dos voluntários, conectados a um transdutor de pressão. Ele observou através das medidas de pressão que o volume expirado e a alteração de volume do tronco possuem uma diferença que pode ser atribuída ao volume de ar comprimido e ao deslocamento de líquido do tronco para as extremidades.

Outros fatores que podem ter influenciado nas diferenças entre os volumes encontrados nos dois métodos são, o modelo de representação que pode não abranger todo o volume do tronco, como também a possibilidade de haver imprecisões no procedimento experimental da espirometria, provindo de erros na calibração do polígrafo ou durante o cálculo do fator de conversão.

Outros trabalhos que utilizaram sistemas de análise por imagem para medidas de volume do tronco durante a ventilação, também correlacionaram seus resultados com a espirometria. As correlações encontradas entre as duas metodologias foram altas, indicando que os sinais da espirometria e da análise por imagens estão em fase e variam de forma aproximadamente igual (FERRIGNO et al., 1994; CALA et al., 1996; CARNEVALI et al., 1996), resultado confirmado neste trabalho.

6.4 Reprodutibilidade do método

Em relação ao efeito do reposicionamento dos marcadores no tronco dos voluntários, os resultados demonstram uma variação de volume de 3,37% do volume médio do tronco, para as remarcações feitas no voluntário 1 e 2,28% para o voluntário 2, considerando essas variações sobre o volume de ar trocado. Este erro de medida deve ser atribuído principalmente à pequenas imprecisões na marcação, embora a acurácia do sistema também possa afetar. É importante, portanto, a experiência dos pesquisadores em palpação e o conhecimento da anatomia do tronco necessários à identificação dos pontos de interesse do modelo de representação.

6.5 Volume total do tronco (VTr)

Os valores da variação do volume do tronco não podem ser comparados com os valores de referência da espirometria, pois, apesar da alta correlação entre os sinais de volume obtido com a videogrametria e espirometria, a videogrametria faz uma estimativa do volume de ar trocado, de acordo com Iandelli et al. (2002) este volume sofre influências da compressão de ar dentro do tronco. Contudo os resultados demonstram uma coerência entre os valores da variação do **VTr** encontrado, tendo valores maiores para o sexo masculino nas duas manobras e valores maiores na manobra de **VM** para os dois sexos.

6.6 Contribuições dos compartimentos TX e AB

Observando os resultados referentes à contribuição dos compartimentos **TX** e **AB**, verifica-se uma maior participação do **TX** em relação ao **AB** nas duas manobras ventilatórias, sendo que este resultado é mais evidente na manobra de **VC**. Dentre os voluntários apenas 1 apresentou um maior contribuição abdominal durante as duas manobra (**V 10**). Outros trabalhos utilizando a magnetometria (GRIMBY; BUNN e MEAD, 1968), pletismografia (TOBIN et al.,

1983); (VERSCHAKELEN e DEMEDTS, 1995) e sistema de análise por imagem (CARNEVALI et al., 1996) analisaram a participação do tórax e abdômen durante a realização de manobras respiratórias e obtiveram resultados semelhantes, nos quais o tórax teve maior participação que o abdômen .

Apesar de inúmeros trabalhos cujo objetivo foram avaliar o comportamento desses dois compartimentos do tronco; estes não podem estimar qual porção do tórax e do abdômen é responsável por maior deslocamento de ar. Portanto a necessidade de uma compartimentação do tronco em subdivisões do **TX** e **AB** para melhor análise dos resultados.

6.7 Comportamento dos compartimentos TX-S, TX-I, AB-S e AB-I

Na avaliação das correlações entre os compartimentos **TX-S**, **TX-I**, **AB-S** e **AB-I** durante a manobra de **VC** o comportamento da maioria dos voluntários foi semelhante, com altas correlações positivas entre os compartimentos **TX-S**, **TX-I** e **AB-S**, o que indica uma concordância de fase entre as curvas e conseqüentemente uma simultaneidade entre as inspirações e expirações nestes compartimentos. As correlações que envolvem o compartimento **AB-I**, no entanto, apresentaram resultados diferentes, com correlações variadas, altas e baixas, positivas e negativas. Os voluntários que apresentaram as correlações negativas altas tiveram uma inversão nas fases das curvas, de modo que o compartimento **AB-I** participa negativamente diminuindo de volume durante a inspiração e aumentando durante a expiração, durante a realização dos ciclos respiratórios em **VC**. Alguns voluntários apresentam valores absolutos baixos o que indica uma falta de sincronia do compartimento **AB-I** em relação aos outros compartimentos. Os voluntários 8 e 13 apresentaram altas correlações positivas indicando uma sincronia em fase do compartimento **AB-I** com os demais. O comportamento geral foi destacadamente diferente em apenas um voluntário do grupo, o V2, que apresentou correlações baixas entre os compartimentos do tórax (**TX-S** e **TX-I**), uma inversão de fase entre o **TX-S** e **AB-S** e altas correlações positivas entre o **AB-I** e demais compartimentos.

A avaliação das correlações dos 4 compartimentos durante a realização da manobra de **VM** apresentou resultados ainda mais variados, no entanto foi possível identificar uma homogeneidade nas correlações entre os compartimentos **TX-S**, **TX-I** e **AB-S** para a maioria dos voluntários com altos valores positivos de correlação, com exceção dos voluntários 2, 7, 10 e 13 que apresentaram correlações médias a baixas entre esses compartimentos. Da mesma forma que

na manobra de **VC**, na manobra de **VM** as correlações que envolvem o compartimento **AB-I** apresentaram resultados mais discrepantes; os voluntários 5, 11 e 12 apresentaram altos valores negativos de correlação sugerindo uma inversão de fase entre o compartimento **AB-I** e os demais compartimentos do tronco. Os voluntários 4 e 7 da mesma forma apresentaram correlações negativa altas ou média entre o compartimento **AB-I** e os compartimentos **TX-S** e **TX-I**, porém apresentaram correlações negativas baixas entre o compartimento **AB-I** e o **AB-S**. Os voluntários 1 e 9 apresentaram baixos valores negativos entre o **AB-I** e demais compartimentos do tronco, sendo que o voluntário 1 apresentou valor de correlação positiva próxima à zero entre o compartimento **AB-I** e **AB-S**. Esses resultados com os valores absolutos baixos sugerem uma falta de sincronia entre as curvas dos compartimentos correlacionados. Os voluntários 3, 8 e 13 apresentaram altos valores positivos para o **AB-I** e **AB-S** o que indica sincronia de fase e uma contribuição positiva do **AB-I** para a variação do volume abdominal durante a manobra de **VM**. Note que o mesmo resultado foi encontrado na manobra de **VC** para os voluntários 8 e 13. Os voluntários 2 e 10 apresentaram resultados únicos, com padrões que não se assemelham a nenhum dos outros voluntários, o voluntário 2 apresentou valor positivo alto entre os compartimentos do tórax (**TX-S** e **TX-I**), um valor positivo médio entre o **TX-I** e **AB-S**, baixos valores absolutos para o **AB-S** e **AB-I**, e entre o **AB-I** e demais compartimentos, o voluntário 10 apresentou valores positivos médios entre os compartimentos do tórax e entre o **TX-S** e **AB-I**, alta correlação entre os compartimentos **TX-I** e **AB-S**, e uma baixa correlação entre o **AB-I** com o **TX-I** e **AB-S**.

Comparando a distribuição do ar nos 4 compartimentos observa-se na manobra de **VC**, que o **AB-S** apresentou maiores valores percentuais de participação, embora isto não tenha ocorrido com todos os voluntários, visto que existe uma grande variabilidade entre esses valores. Na manobra de **VM**, os compartimentos **TX-S** e **AB-S** tiveram participações parecidas, sendo os compartimentos com maiores contribuições. O **AB-I**, no entanto, teve sua participação negativa, mais evidente nesta manobra que em **VM**, o que sugere uma contribuição da pelve como região de apoio para as inspirações em grande volume.

Ao comparar a contribuição dos compartimentos durante a ventilação em **VC** e **VM** observa-se um padrão comum às duas manobras estudadas. O que demonstra que apesar da maior solicitação da musculatura para realização das inspirações e expirações máximas durante a manobra de **VM** e maiores deslocamentos de ar para dentro dos pulmões, a distribuição deste nos

compartimentos do tronco não sofreram alterações significativas. No entanto é conveniente considerar que os voluntários utilizados para pesquisa não apresentavam desvios posturais ou doenças respiratórias diagnosticadas, se tratando de pessoas saudáveis e jovens, dentre eles a maioria são praticantes regular de atividades físicas.

7. Conclusão

A metodologia proposta no trabalho mostrou ser promissora na análise da variação de volume do tronco e contribuição dos compartimentos do tronco para a ventilação, tendo em vista a acurácia das medidas, a coerência do sinal encontrado com o sinal respiratório e as possibilidades de aplicação. Em relação aos outros métodos de análise ótica, a videogrametria revelou-se vantajosa, pois permite uma avaliação qualitativa dos movimentos do tronco durante a ventilação.

O modelo de representação do tronco mostrou ser apropriado para o estudo do volume do tronco e a variação deste no tempo e avaliação dos volumes parciais do tronco, sendo um modelo de fácil identificação das marcas anatômicas para posicionamento dos marcadores, o que possibilita uma boa reprodutibilidade das medidas volumétricas.

Os sinais respiratórios obtidos com o método proposto tiveram uma boa correlação com os sinais espirométricos o que reforça a confiança nas medidas de volume realizadas. No entanto vale a pena ressaltar que esses dois métodos medem volumes diferentes e seus valores absolutos podem diferir em situações específicas.

Na análise da contribuição dos compartimentos do tronco tórax e abdômen os resultados foram os mesmos encontrados na literatura, os quais mostram que o tórax desloca maior volume de ar nas duas manobras estudadas. Na análise dos 4 compartimentos do tronco (**TX-S**, **TX-I**, **AB-S** e **AB-I**), os compartimentos do tórax (**TX-S** e **TX-I**) e os do abdômen (**AB-S** e **AB-I**) tiveram participações distintas entre os voluntários, sendo possível avaliar a contribuição de cada região do tronco nos 13 voluntários estudados individualmente.

Na análise comparativa entre as duas manobras estudadas, os resultados encontrados não demonstraram diferenças nas contribuições dos compartimentos entre as manobras, apesar da manobra com volumes máximos ter uma maior solicitação muscular para sua realização a contribuição dos compartimentos foi similar, esse resultado provavelmente seria diferente se a

amostra constasse de sujeitos com déficits musculares, ou doenças que interferissem no sistema ventilatório.

Considerando que existem outras metodologias bastante difundidas na análise dos volumes ventilatórios, algumas dispondo de recursos semelhantes aos utilizados pela videogrametria, este trabalho traz contribuições importantes quanto ao desenvolvimento de uma metodologia de baixo custo operacional, avaliação qualitativa e quantitativa da ventilação humana e principalmente devido à utilização de um modelo de representação do tronco com amplas possibilidades de análise.

Apesar de ter alcançado os objetivos propostos, a realização deste trabalho levantou questões importantes referentes à biomecânica da ventilação e deixa como sugestão para continuidade em trabalhos futuros a ampliação da amostra de dados para identificar possíveis padrões de comportamento entre grupos distintos como obesos e atletas e entre doenças respiratórias crônicas como DPOC e doenças restritivas. Outra possibilidade de aplicação desta metodologia é a realização de estudos que aprofundem a relação entre variação de volume do tronco e volume de ar, visando encontrar modelos de correção que permitam o uso da videogrametria com finalidade de avaliação da função respiratória, agregando a capacidade de análise de volumes parciais e conseqüentemente identificando a contribuição efetiva de cada área do tronco e grupos musculares para a ventilação.

Referências Bibliográficas

ABDEL-AZIZ, Y. I. e H. M. KARARA. *Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry*. In: Proceedings of the Symposium on Close-Range Photogrammetry, Falls Church, VA: *Anais*. American Society of Photogrammetry, 1971. p. 1-18.

ALIVERTI, A.; S. J. CALA; R. DURANTI et al. Human respiratory muscle actions and control during exercise. *J Appl Physiol*, v.83, n.4, p.1256-69. 1997.

ANDREW, G. M.; M. R. BECKLAKE; J. S. GULERIA et al. Heart and lung functions in swimmers and nonathletes during growth. *J Appl Physiol*, v.32, n.2, p.245-51. 1972.

BARNAS, G. M.; M. D. GREEN; C. F. MACKENZIE et al. Effect of posture on lung and regional chest wall mechanics. *Anesthesiology*, v.78, n.2, p.251-9. 1993.

BARROS, R. M. L.; R. BRENZIKOFER; N. J. LEITE et al. Desenvolvimento e avaliação de um sistema para análise cinemática tridimensional de movimentos humanos. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, v.15, n.1-2, p.79-86. 1999.

BARROS, R. M. L.; T. G. RUSSOMANO; P. J. FIGUEROA et al. A method to synchronise video cameras using the audio band. *JOURNAL OF BIOMECHANICS*. prelo.

CALA, S. J.; C. M. KENYON; G. FERRIGNO et al. Chest wall and lung volume estimation by optical reflectance motion analysis. *J Appl Physiol*, v.81, n.6, p.2680-9. 1996.

CARNEVALI, P.; G. FERRIGNO; A. ALIVERTI et al. A new method for 3D optical analysis of chest wall motion. *Technol Health Care*, v.4, n.1, p.43-65. 1996.

ESTENNE, M.; J. C. YERNAULT e A. DE TROYER. Rib cage and diaphragm-abdomen compliance in humans: effects of age and posture. *J Appl Physiol*, v.59, n.6, p.1842-8. 1985.

FERRIGNO, G.; P. CARNEVALI; A. ALIVERTI et al. Three-dimensional optical analysis of chest wall motion. *J Appl Physiol*, v.77, n.3, p.1224-31. 1994.

FERRIGNO, G. e A. PEDOTTI. ELITE: a digital dedicated hardware system for movement analysis via real-time TV signal processing. *IEEE Trans Biomed Eng*, v.32, n.11, p.943-50. 1985.

FIGUEROA, P. J.; N. J. LEITE e R. M. L. BARROS. A flexible software for tracking of markers used in human motion analysis. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, v.72, n.2, p.155-65. 2003.

GRIMBY, G.; J. BUNN e J. MEAD. Relative contribution of rib cage and abdomen to ventilation during exercise. *J Appl Physiol*, v.24, n.2, february 1968, p.159-166. 1968.

IANDELLI, I.; A. ALIVERTI; B. KAYSER et al. Determinants of exercise performance in normal men with externally imposed expiratory flow-limitation. *J Appl Physiol*, v.92, n.5, p.1943-1952. 2002.

KONNO, K. e J. MEAD. Measurement of the separate volume changes of rib cage and abdomen during breathing. *J Appl Physiol*, v.22, n.3, p.407-22. 1967.

LEITE, M. R. R.; R. BRENZIKOFER; E. C. LIMA FILHO et al. *Metodologia para análise de padrões respiratórios baseada nos movimentos da superfície do tronco*. In: VIII Congresso Brasileiro de Biomecânica, Florianópolis, SC: *Anais*. 1999. p. 281-285.

LEVINE, S.; D. SILAGE; D. HENSON et al. Use of a triaxial magnetometer for respiratory measurements. *J Appl Physiol*, v.70, n.5, p.2311-21. 1991.

LOPATA, M.; H. ORGANEK e E. ONAL. Comparison of magnetometer and inductance plethysmography derived Konno- Mead diagrams during CO₂ rebreathing. *Bull Eur Physiopathol Respir*, v.21, n.2, p.159-63. 1985.

LOVERIDGE, B.; P. WEST; M. H. KRYGER et al. Alteration in breathing pattern with progression of chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis*, v.134, n.5, p.930-4. 1986.

MCGILL R, T. J., LARSEN WA. Variations of box plots. *The American Statistician*, v.32(1), p.12-16. 1978.

PEREIRA, C. A. D. C.; S. D. P. BARRETO; J. G. SIMÕES et al. Valores de referência para espirometria em uma amostra da população brasileira adulta. *Jornal de Pneumologia*, v.18(1), março de 1992, p.10-22. 1992.

POULIN, M. J. C., D.A.; PATERSON, D.; RECHNITZER, P.A.; ECCLESTONE, N. A.; KOVAL, J.J. Ventilatory response to exercise in men and women 55 to 86 age. *Am. J. Critical Care Med.*, p.408-415. 1994.

SACKNER, M. A.; H. F. GONZALEZ; G. JENOURI et al. Effects of abdominal and thoracic breathing on breathing pattern components in normal subjects and in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis*, v.130, n.4, p.584-7. 1984.

SARRO, K. J. *Metodologia para análise da movimentação da caixa torácica durante a respiração*. (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003. 118 p.

SAUMAREZ, R. C. An analysis of possible movements of human upper rib cage. *J Appl Physiol*, v.60, n.2, p.678-89. 1986a.

_____. Automated optical measurements of human torso surface movements during breathing. *J Appl Physiol*, v.60, n.2, p.702-9. 1986b.

SCANO, G. Normal thoracoabdominal motion. *Monaldi Arch Chest Dis*, v.54, n.3, p.287-8. 1999.

TOBIN, M. J.; T. S. CHADHA; G. JENOURI et al. Breathing patterns. 1. Normal subjects. *Chest*, v.84, n.2, p.202-5. 1983.

VERSCHAKELEN, J. A. e M. G. DEMEDTS. Normal thoracoabdominal motions. Influence of sex, age, posture, and breath size. *Am J Respir Crit Care Med*, v.151, n.2 Pt 1, p.399-405. 1995.

WARD, M. E.; J. W. WARD e P. T. MACKLEM. Analysis of human chest wall motion using a two-compartment rib cage model. *J Appl Physiol*, v.72, n.4, p.1338-47. 1992.

WATSON, H. L.; D. A. POOLE e M. A. SACKNER. Accuracy of respiratory inductive plethysmographic cross-sectional areas. *J Appl Physiol*, v.65, n.1, p.306-8. 1988.

Apêndice

Questionário apresentado para avaliação antropométrica e do estado de saúde geral dos sujeitos.

Nome/profissão: _____

Data de nascimento/idade: _____ **RG:** _____

Endereço: _____

Telefone: _____

Medidas antropométricas

Peso: _____ Altura: _____

Histórico

Tem ou já teve alguma doença pulmonar e/ou cardíaca?

Não: _____ Sim: _____

Tem ou já teve alguma doença neurológica e/ou muscular?

Não: _____ Sim: _____

Tem ou já teve alguma outra patologia importante?

Não: _____ Sim: _____

Sente-se cansado com frequência?

Não: _____ Sim: _____

Tem algum tipo de alergia respiratória?

Não: _____ Sim: _____

Já sofreu algum tipo de cirurgia?

Não: _____ Sim: _____

Tabagista (quantidade/tempo)?

Não: _____ Sim: _____