

**ALTERAÇÕES DA VENTILAÇÃO VOLUNTÁRIA MÁXIMA ATRAVÉS DA ESTIMULAÇÃO DIAFRAGMÁTICA ELÉTRICA TRANSCUTÂNEA EM INDIVÍDUO SAUDÁVEL. UM ESTUDO DE CASO**

**ALTERATIONS ON THE MAXIMUM VOLUNTARY VENTILATION THROUGH THE TRANSCUTANEOUS ELECTRICAL DIAPHRAGMATIC STIMULATION ON HEALTHY INDIVIDUALS. CASE STUDY**

**Jefferson Luis Barros<sup>1</sup>**  
**Aldenice Magalhães Capeletti<sup>2</sup>**

**Resumo:** A estimulação diafragmática elétrica transcutânea constitui uma técnica na fisioterapia respiratória que começou a ser estudada em 1857 por Ziemmsem. Uma das funções pulmonares é garantir a troca gasosa adequada. Para tanto, há necessidade de integridade do controle neurológico respiratório e força dos músculos respiratórios principalmente do músculo diafragma. A ventilação voluntária máxima é um teste que requer esforço muscular e motivação consideráveis. A limitação da ventilação voluntária máxima é causada freqüentemente pelo esforço deficiente do paciente. Se o teste for executado adequadamente e os resultados da ventilação voluntária máxima forem reduzidos em comparação aos valores previstos, o indivíduo pode ter uma musculatura respiratória fraca ou uma desordem neuromuscular. O presente estudo verificou alterações nas pressões inspiratória máxima e pressão expiratória refletindo também na ventilação voluntária máxima, após a aplicação de um protocolo de estimulação diafragmática elétrica transcutânea. O estudo descritivo teve abordagem qualitativa realizado com uma voluntária saudável que utilizou um referencial metodológico estudo de caso. Após aplicação de questionário inicial, foram realizadas medidas de espirometria e manovacuômetria antes e após a aplicação do protocolo de estimulação diafragmática elétrica transcutânea. Os resultados evidenciaram aumento nas pressões máximas inspiratória e expiratória que refletiu em aumento da ventilação voluntária máxima. Após a aplicação do protocolo de estimulação diafragmática elétrica transcutânea observou-se aumento da força muscular respiratória (Pimax e Pemax) e aumento dos valores de ventilação voluntária máxima.

**Palavras-chave:** estimulação diafragma, elétrica, transcutânea, ventilação, voluntária.

**Abstract:** The transcutaneous electrical diaphragmatic stimulation is a technique on respiratory physiotherapy with the diaphragmatic objective that began to be studied in 1857 by Ziemmsem. One of the pulmonary functions is to guarantee the adequate gas exchange, for that it is necessary the integrity of the neurological respiratory control and forced respiratory muscles mainly the diaphragm muscle. The maximum voluntary ventilation requires muscular strain and considerable motivation. The limitation of the maximum voluntary ventilation is caused frequently by the deficient strain of the patient. If the test is performed correctly and results of the maximum voluntary ventilation are reduced in

---

<sup>1</sup> Fisioterapeuta, formado pela Faculdade Marechal Rondon (FMR)

<sup>2</sup> Fisioterapeuta, professora da Faculdade Marechal Rondon (FMR) e UNINOVE. e-mail: aldenicemagalhaes@fmr.edu.br

relation to the values predicted, the individual may have a weak respiratory musculature or a neuromuscular disorder. The present study has as its objective to verify the alterations on both maximum inspiratory and expiratory pressures reflecting also on the maximum voluntary ventilation, after the application of a protocol of transcutaneous electrical diaphragmatic stimulation. This descriptive study had a qualitative approach performed with a healthy voluntary that used a methodological referential case study, after the application of an initial questionnaire, manovacuometry and spirometry measures before and after the application of the protocol of transcutaneous electrical diaphragmatic stimulation. The results showed an increase on both maximum inspiratory and expiratory pressures and reflected in increase of the maximum voluntary ventilation.. After the application of the protocol of transcutaneous electrical diaphragmatic stimulation application has been done, the authors observed an increase on the respiratory muscular strength (Pimax e Pemax). This fact represents increasing of the values of maximum voluntary ventilation.

Keywords: diaphragmatic stimulation, transcutaneous, voluntary, ventilation

## 1. Introdução

A Estimulação Diafragmática Elétrica Transcutânea (EDET) leva ao fortalecimento do músculo diafragma em pacientes que apresentam fraqueza deste músculo, sobretudo pacientes submetidos à ventilação mecânica prolongada (FORTI, 2005).

Clinicamente, a EDET é utilizada em pacientes submetidos à ventilação mecânica, onde a função respiratória permanece muitas vezes sob controle de uma “máquina”, ou em casos onde haja contra-indicação para exercícios dinâmicos, sendo estes, estágios iniciais de reabilitação após lesão ou cirurgia. Estudos realizados por Scott, (2003) mostram que é possível o ganho de força em músculos saudáveis e enfraquecidos usando a estimulação elétrica em curto prazo.

Segundo Costa, (2007) pacientes com no mínimo três dias de ventilação mecânica já apresentam perda de força do músculo diafragma e cerca de 20% destes casos apresentam desmame difícil.

Powers (2005) *apud* Costa (2007) demonstrou que após dezoito horas em ventilação mecânica, observa-se perda de força muscular diafragmatica e Shanely (2005) *apud* Costa (2007) demonstrou que em menos de doze horas houve diminuição importante na geração de força do músculo diafragma.

Em situações onde o músculo diafragma ou músculos intercostais estiverem paralisados, por exemplo, a respiração, ainda será possível mediante ao aumento da utilização dos músculos acessórios associado a varias técnicas e dispositivos mecânicos, sendo assim a EDET pode ser utilizada para a reativação desses músculos (KENDALL, 2007).

Um dos métodos de avaliação da força dos músculos respiratórios é a manovacuômetria, um método não invasivo que avalia as forças, tanto dos músculos inspiratórios (intercostais externos e diafragma) quanto dos músculos expiratórios (reto do abdome, transverso e oblíquos). Essa medida é dada por meio das pressões chamadas de pressão inspiratória máxima e pressão expiratória máxima, sendo está uma importante ferramenta na pratica da fisioterapia (ALMEIDA, BERTUCCI E LIMA, 2008).

Segundo Almeida, Bertucci e Lima, (2008) os valores pressóricos apresentam grande importância para quantificar a progressão da fadiga muscular em pacientes que apresentam doenças neuromusculares e também quando o individuo é submetido à ventilação mecânica auxiliando desta forma, no desmame de cada paciente.

Para a avaliação da função pulmonar utiliza-se a espirometria, que permite medir o volume de ar inspirado e expirado e os fluxos respiratórios, sendo especialmente útil à análise dos dados derivados da manobra expiratória forçada (PEREIRA, 1996).

A análise da Ventilação Voluntária Máxima é essencial para avaliar a capacidade dos músculos respiratórios avaliando o volume máximo de ar ventilado em um período de 12 segundos por repetidas manobras respiratórias forçadas (PEREIRA, 1996).

O presente estudo verificou alterações na Ventilação Voluntária Máxima e nas pressões inspiratória máxima e expiratória máxima através da Estimulação Diafragmática Elétrica Transcutânea e verificou a existência de alterações na ventilação voluntária máxima, através da Estimulação Diafragmatica Elétrica Transcutânea.

## **2. Método**

Este estudo foi desenvolvido nas dependências da Faculdade Marechal Rondon (FMR) em São Manuel-SP. Este estudo teve natureza descritiva com abordagem metodológica qualitativa onde, através da pesquisa experimental pode-se manipular as variáveis relacionadas com o objeto do estudo. Foi realizado com uma voluntária do sexo feminino, 27 anos, Professora de Educação Física, natural e procedente de Botucatu (SP).

O projeto desta pesquisa foi submetido à aceitação do Comitê de Ética e Bioética (COEBE) da Faculdade Marechal Rondon.

O procedimento de coleta constou de um questionário que continha as diretrizes do consenso de espirometria para excluir possíveis doenças. A paciente respondeu que não apresentava doenças respiratórias, cardíacas, não era tabagista e nem gestante.

Após o questionário, a voluntária foi submetida a um teste espirométrico, utilizando um espirômetro computadorizado, com sensor de turbina e a fluxo, da marca Microquark, Cosmed® (Figura 1).



**Figura 1** - Espirômetro Microquark, Cosmed®.



**Figura 2** – Seringa

As manobras realizadas segundo o consenso de espirometria de 1996 foram: Capacidade Vital Lenta (CVL): solicita-se ao indivíduo que, após expirar até o volume residual, inspire até a capacidade pulmonar total e depois expire novamente até o volume residual.

Capacidade Vital Forçada (FVC): solicita-se ao indivíduo que, após inspirar até a capacidade pulmonar total, expire tão rápida e intensamente quanto possível durante 6 segundos no mínimo.

Ventilação Voluntária Máxima (MVV): Solicita-se ao indivíduo que inspire e expire sucessivamente tão rápido e profundamente quanto possível de 10 a 12 segundos, todas as manobras foram realizadas três vezes.

Para a realização das manobras espirométricas a voluntária permaneceu sentada com a coluna ereta e apoiada de forma confortável em uma cadeira com os pés apoiados no chão e com o uso de um clipe nasal (Figura 3).



**Figura 3** - Voluntária posicionada para a realização do teste espirométrico.

As variáveis dadas pelo aparelho espirométrico são: Capacidade Vital Forçada (FVC); Volume Expiratório Forçado no 1º segundo (VEF1); Índice de Tiffeneau (VEF1/FVC); Pico de Fluxo Expiratório (PEF); Capacidade inspiratória (IVC); Volume de reserva expiratória (ERV); e Ventilação voluntária Máxima (MVV), depois da espirometria foi avaliada a força dos músculos respiratórios obtidos por meio de manovacuômetro da marca comercial médica (figura 4), com intervalo operacional de 0 a 120 cmH<sub>2</sub>O para pressão inspiratória máxima (P<sub>imáx</sub>) e pressão expiratória máxima (P<sub>emáx</sub>) contendo um mínimo orifício de 1 milímetro no bucal para alívio da pressão da cavidade oral provocada pelo fechamento da glote. Estes testes foram realizados antes e após a aplicação da Estimulação Diafragmática Elétrica transcutânea.



**Figura 4** - Clipe nasal e o Manovacúômetro comercial médica com intervalo operacional de 0 a 120 cmH<sub>2</sub>O.

As medidas de P<sub>imáx</sub> e P<sub>emáx</sub> foram realizadas com a voluntária sentada em uma cadeira com a coluna ereta e com os pés apoiados no chão e um clipe nasal (figura 5).



**Figura 5** - Avaliação da Pressão Inspiratória Máxima e Pressão Expiratória Máxima com o manovacúômetro.

Foram realizadas 10 sessões de Estimulação Diafrágica Elétrica Transcutânea 2 vezes por semana, cada sessão teve um tempo de aplicação de trinta minutos, ao início de todas as sessões foi aferida a Pressão Arterial, frequência cardíaca e frequência respiratória para o controle da terapia (FORTI et al.,2005).

Para a aplicação da eletroestimulação foi utilizado o equipamento Phrenics Dualpex 994 (Figura 6). Os parâmetros selecionados no aparelho regularam frequência de pulso de 30 Hz, frequência respiratória de 12 rpm, tempo de subida (rampa) de 0,7s, largura de pulso de 1,2 ms e a intensidade foi de acordo com a sensibilidade da voluntária.



**Figura 6** - Equipamento de Eletroestimulação Phrenics Dualpex 994.

A voluntária foi posicionada sentada para a colocação de dois eletrodos na região lombar na altura de L3, L4 e em decúbito dorsal, para o posicionamento de mais dois eletrodos nas inserções diafragmática nos 6° ou 7° espaços intercostais na linha axilar bilateral (Figura 7).



**Figura 7** - Posicionamento dos eletrodos em região lombar na altura de L5 e L4 e entre 6 ou 7 espaço intercostais.

Os quatro eletrodos são de carbono e utilizam gel para melhor condução da corrente e foram presos com fita crepe, antes da colocação dos eletrodos a pele foi higienizada com álcool 70%. Ao final das 10 sessões foram avaliados a Pimáx e Pemáx e o teste espirométrico e feito uma análise descritiva do resultado.

### **3. Resultados e discussão**

Os resultados obtidos pelo estudo demonstram que ocorreram alterações em todas as variáveis espirométricas, a capacidade vital forçada (FVC) que é a primeira manobra realizada obteve os valores de volume expiratório forçado no 1º segundo (VEF1), pico de fluxo expiratório (PEF) e índice de tiffeneau (FEV1/FVC), dessas variáveis observa-se que todas estão acima do valor predito que é de 80% demonstrados na tabela 1.

**Tabela 1** - Resultados da manobra de Capacidade vital Forçada antes e depois a Estimulação Diafragmática Elétrica Transcutânea.

Parâmetros	%Pred	%Pred
	Pré	Pós
FVC	81.0	87.6
FEV1	81.2	83.1
PEF	86.2	112.6
VEF1/FVC%	99.8	94.4

O índice de tiffeneau (VEF1/FVC) abaixo de 70% é um índice de diagnóstico de (DPOC) quando há presença de história e fatores de risco compatíveis, mas em pacientes saudáveis pode nos mostrar um provável grau de obstrução.

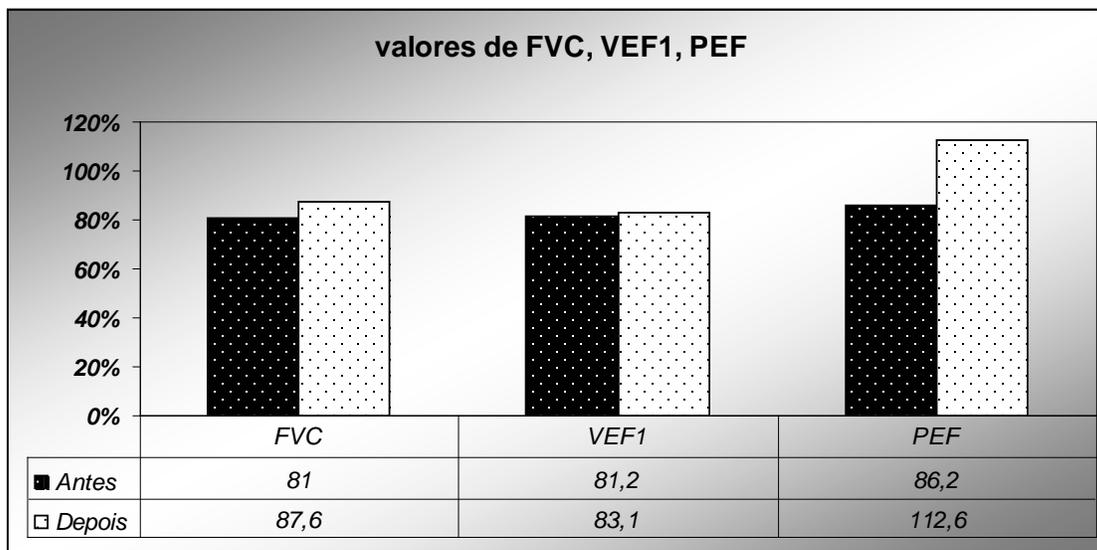
Um estudo realizado por Lundgren et al, (2007) sobre a eficiência de VEF6 como substituta da Capacidade Vital Forçada, realizou 134 espirometrias e mostrou que as duas variáveis são eficazes para diagnóstico de (DPOC) se os valores estiverem abaixo de 70%.

O presente estudo mostra que mesmo a espirometria sendo normal tanto a inicial quanto a final, ocorreram alterações demonstrando que três variáveis obtiveram um aumento (gráfico 1), e o índice de tiffeneau obteve uma diminuição, mas dentro do valor predito isso pode ter ocorrido por alguma obstrução devido a resfriados, sem nenhum grau de interferência na espirometria demonstrado no gráfico 2.

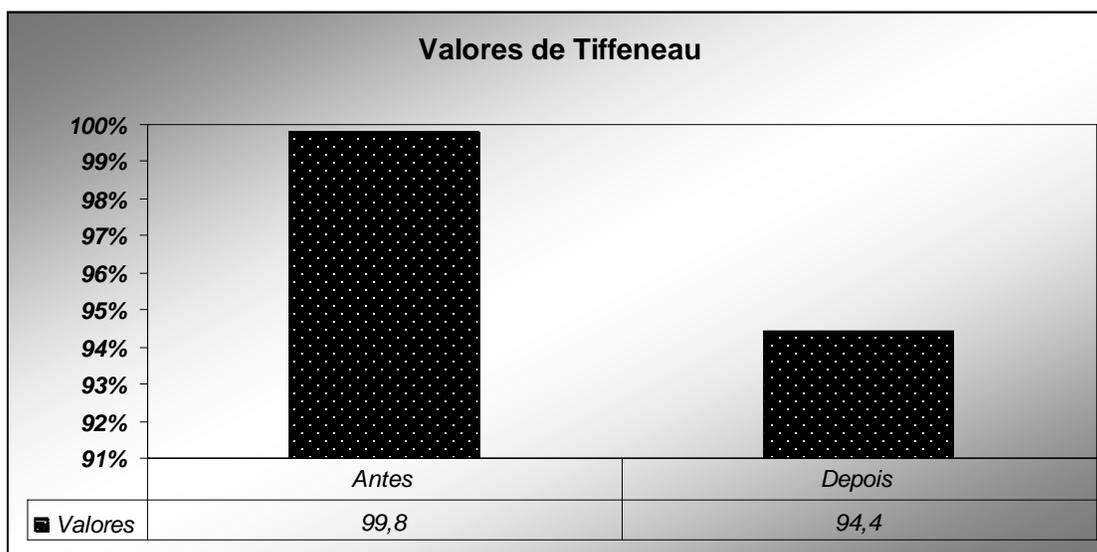
De acordo com Pereira, (1996) os valores de referência obtiveram alterações comparados com estudos feitos em 2007 onde foi pesquisada uma população de 643 indivíduos sendo 270 homens acima de 25 anos e 373 mulheres acima de 20 anos da raça branca. Os dados foram obtidos através de espirometria onde se observou que a estatura e o peso influenciaram no resultado onde pessoas obesas e de estatura baixa tem um predito

menor, isso mostra que existe um predito para cada tipo de individuo avaliado tendo em consideração peso, altura e raça.

**Gráfico 1** - Alterações das variáveis de capacidade vital forçada, volume expiratório forçado no 1º segundo e pico de fluxo expiratório.



**Gráfico 2** - Alteração do Índice de Tiffeneau antes e depois da aplicação da Estimulação Diafragmatica Elétrica Transcutânea.



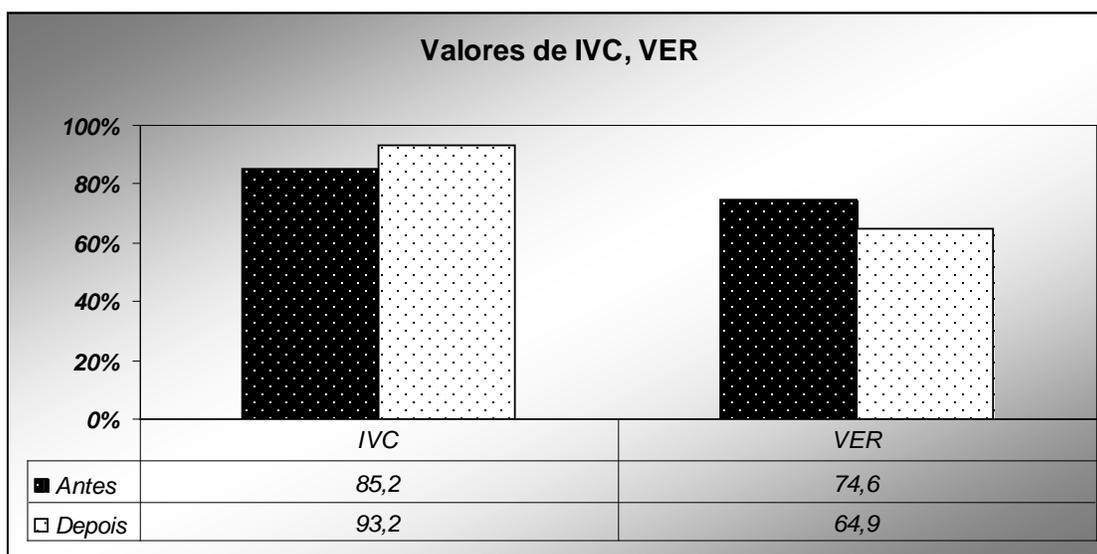
A segunda manobra realizada de capacidade vital lenta que resultam nas variáveis de capacidade inspiratória (IVC) e volume de reserva expiratório (ERV) observamos que ocorreram alterações (tabela 2).

**Tabela 2** – Resultados da manobra de Capacidade Vital Lenta antes e depois a Estimulação Diafragmatica Elétrica Transcutânea.

Parâmetros	%Pred	
	Pré	Pós
IVC	85.2	93.2
ERV	74.6	64.9

A capacidade inspiratória teve um aumento de 8% demonstrando uma melhora para a musculatura inspiratória principalmente o músculo diafragma por se tratar do principal músculo da respiração. O volume de reserva expiratório obteve uma diminuição de -9,7%, isso demonstra que o volume de reserva expiratório diminuiu por tanto exigindo melhor função do músculo diafragma para expulsar esse ar para fora dos pulmões ambos demonstrados no (gráfico 3).

**Gráfico 3** - Alterações da capacidade inspiratória e volume de reserva expiratório.



Segundo Pereira, (2002), se a capacidade inspiratória for menor que a capacidade vital forçada, tem que ocorrer a mudança no índice na relação de VEF1/FVC para VEF1/IVC.

O presente estudo mostrou que a espirometria nessa variável obteve só um ganho na musculatura respiratória após a estimulação diafragmática elétrica transcutânea sem sair do valor predito e nem alterar a relação de VEF1/FVC para VEF1/IVC.

Na última manobra da espirometria de ventilação voluntária máxima (MVV) encontramos um achado inesperado que foi um valor abaixo do valor predito, isso mostra que mesmo a espirometria sendo normal a musculatura não se mostrou eficiente na realização do teste espirométrico nessa variável (tabela 3).

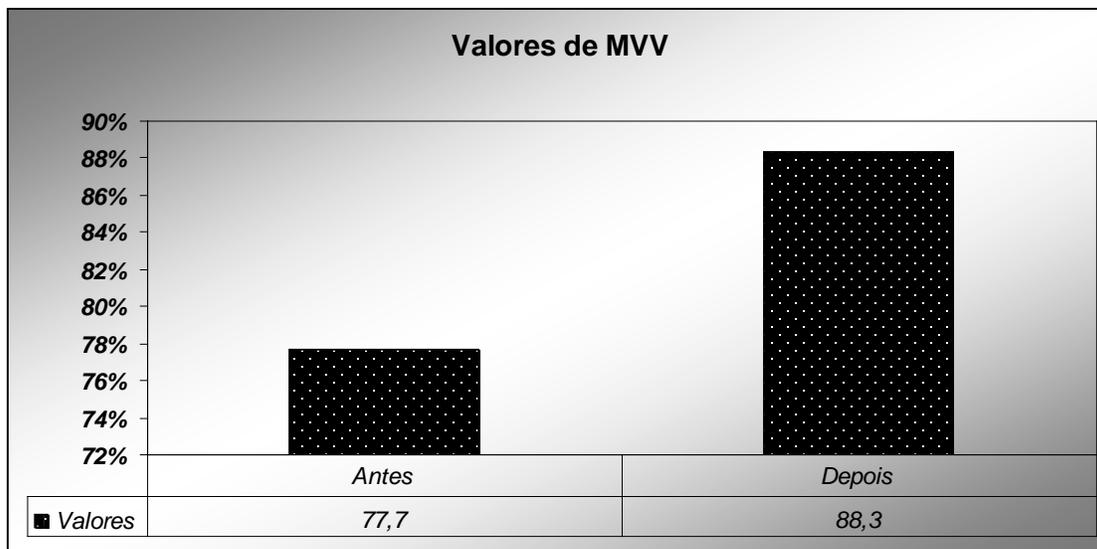
**Tabela 3** – Resultados da manobra de Ventilação Voluntária Máxima antes e depois a Estimulação Diafragmática Elétrica Transcutânea.

Parâmetros	%Pred	
	Pré	Pós
MVV	77.7	88.3

Para a realização dessa manobra é essencial a utilização do músculo diafragma por se tratar do principal músculo da respiração que mesmo em um indivíduo saudável se mostrou fraco ou com um índice de fadiga em um curto período no presente estudo, para ver as alterações da (MVV) foi utilizado a estimulação diafragmática elétrica transcutânea que após aplicação observamos que de 77.7% foi para 88.3% um aumento que ultrapassou o valor predito (gráfico 4).

Segundo Guyton e Hall (2002), o músculo precisa de nutrientes para seu condicionamento e prevenção para a fadiga. Em um indivíduo em repouso destreinado sua ventilação pulmonar é de 250 ml/min e em condições máximas pode chegar a 3.600 ml/min. No presente estudo as condições da ventilação pulmonar condicionou o músculo diafragma, podendo assim evitar a fadiga e melhorando a função pulmonar em um indivíduo saudável.

**Gráfico 4** - Variação da Ventilação Voluntária Máxima antes e depois da aplicação da Estimulação Diafragmatica elétrica transcutânea.



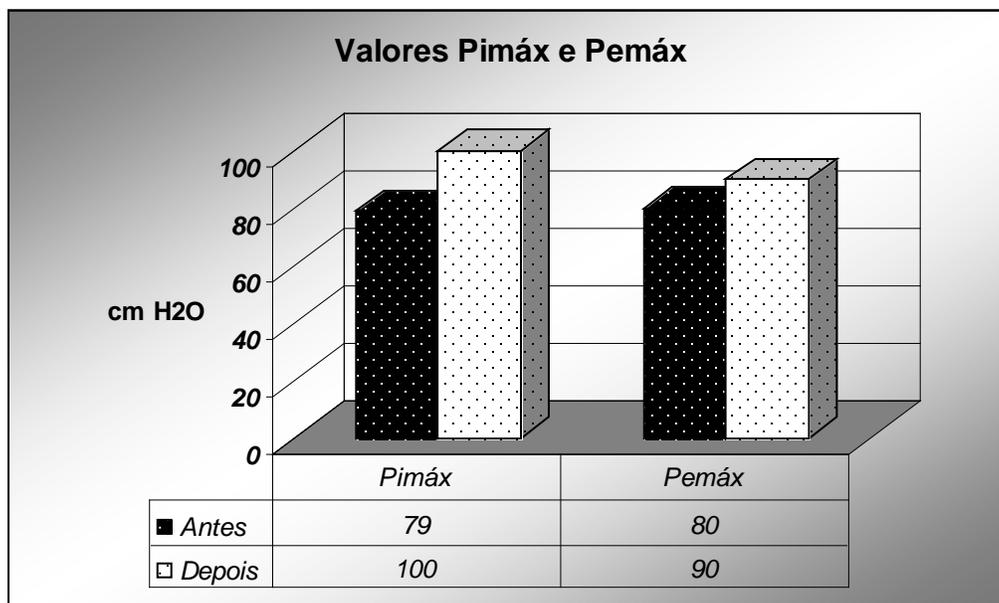
O valor de Pressão Inspiratória Máxima pode-se observar que na força dos músculos inspiratórios era de 79,0 cmH<sub>2</sub>O e após o estudo obteve um resultado de 100 cmH<sub>2</sub>O, mostrando um aumento de força e o valor da força dos músculos expiratórios mostrou que variou de 80 cmH<sub>2</sub>O para 90 cmH<sub>2</sub>O obtendo um ganho da força nessa musculatura (Gráfico 5).

Os músculos respiratórios são músculos esqueléticos, e como tal são funcionalmente semelhantes a outros músculos esqueléticos do corpo, portanto podem sofrer alterações e deficiências semelhantes. O enfraquecimento pode ocorrer devido à má nutrição, fadiga de treinamento ou mediante certas patologias. A função desses músculos também é afetada em decorrência do aumento do trabalho respiratório e da redução da capacidade em suportar a carga ventilatória aumentada (DANATHELLE, 2009).

Um estudo realizado por Danathelle (2009) de um paciente com diagnóstico de (DPOC) aplicou-se manovacuometria antes e depois da eletroestimulação e o resultado foi de 33% de aumento para (Pimáx) e 39% para (Pemáx) concluindo que a eletroestimulação é um método eficaz no fortalecimento da musculatura respiratória em pacientes portadores de (DPOC).

O resultado do presente estudo mostra que o ganho de força da musculatura respiratória em indivíduo saudável também é capaz de ocorrer podendo ser utilizado para manutenção e também para a melhora da qualidade de vida.

**Gráfico 5** - Alterações dos valores de Pimáx e Pemáx antes e após a Estimulação Diafragmática Elétrica Transcutânea.



Esses resultados mostram que tanto a função pulmonar quanto a força dos músculos respiratórios tiveram um aumento com os mesmos parâmetros utilizados por Forti, (2005) mostrando que é capaz de ocorrerem alterações na ventilação voluntária máxima e um ganho da capacidade do músculo diafragma.

#### 4. Considerações finais

Concluiu-se com o presente estudo que para a amostra estudada houve alterações nos valores de Ventilação Voluntária Máxima, Pressão Inspiratória Máxima e Pressão Expiratória Máxima através da Estimulação Diafragmática Elétrica Transcutânea.

## 5. Referências bibliográficas

ALMEIDA, I. P; BERTUCCI. N. R; LIMA, V. P. Variações da pressão inspiratória máxima e pressão expiratória máxima a partir da capacidade residual funcional ou da capacidade pulmonar total e volume residual em indivíduos normais. **O mundo da saúde**. V.32, n.2, p. 176-182. 2008.

COSTA, R. P. Cinesioterapia Respiratória. Gava. M. V; Picanso. P. P. A. **Fisioterapia Respiratória: Series Manuais Fisioterápicos**. 1º edição. Barueri: Manole, n.2,p. 59. 2007.

COSTANZO, L. S. Fisiologia respiratória. Costanzo. L. S. **Fisiologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, n. 5, p. 154. 1999.

DANATHELLE et. al. Fortalecimento da Musculatura Respiratória através da Corrente Russa em paciente com DPOC – Relato de Caso. 2009. Disponível em: <<http://www.interfisio.com.br>> acesso em: 2 out. 2010.

FORTI, E. M. P. et al. Eletroestimulação Diafragmática transcutânea em indivíduos saudáveis. **Fisioterapia Brasil**. V. 6, n.4, p. 261-264. 2005.

GUYTON & HALL. Respiração. Guyton & Hall. **Tratado de Fisiologia Médica**. 10.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, n. 37. p. 406-415. 2002

KENDALL, P. F. Músculos Respiratórios e do Tronco. Kendall. P. F. **Músculos: Provas e funções**. 5º Edição. Barueri: Manole, n. 5, p. 233-236. 2007.

LUNDGREN, et. al. Determinação da eficiência do VEF6 como substituto da CVF na triagem diagnóstica da doença pulmonar obstrutiva crônica através da comparação entre as relações VEF1/CVF e VEF1/VEF6. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**. V. 33, n. 2, p. 148-151. 2007.

PEREIRA, C. A. C. I Consenso Brasileiro sobre Espirometria. **Jornal de Pneumologia**. V. 22 (3), p. 105-157. 1996.

PEREIRA, C. A. C. II Consenso Brasileiro sobre Espirometria. **Jornal de Pneumologia**. V. 22, n.3, p. 105-157. 2002.

SCOTT, O. Efeitos Estimulantes. Kitchen. S. **Eletroterapia: Prática Baseada em Evidências**. 11º Edição. Barueri: Manole, n. 8, p.118-119. 2003.