



# ConBRepro

X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



02 a 04  
de dezembro 2020

## ANÁLISE ERGONÔMICA E ELETROMIOGRÁFICA DAS ATIVIDADES MUSCULARES NA LINHA DE PRODUÇÃO DO SETOR AUTOMOTIVO PARA MELHORIAS BIOMECÂNICAS

Noriega, C.L<sup>1</sup>, Pericinotto, F.<sup>1,2</sup>, Sobral, L.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Pesquisa em Neuromecânica Aplicada e Ergonomia, Universidade São Judas Tadeu, SP-Brasil

<sup>2</sup>Faculdade de Ciências Exatas, Engenharia de Controle e Automação - Universidade São Judas Tadeu, SP-Brasil

**Resumo:** O presente estudo apresenta a importância da aplicação da ergonomia no ambiente industrial, visando analisar a adaptação de projetos de postos de trabalho mediante a redução da atividade muscular dos movimentos dos operadores da linha estudada. A empresa em análise pertence ao mercado de autopeças, com presença de mais de 50 anos no setor. Foi realizado um estudo da análise antropométrica, visando obter os valores ideais para altura dos postos de trabalho. Foi realizada também uma análise eletromiográfica dos principais músculos envolvidos nas atividades executadas na linha de montagem, avaliando o movimento padrão versus o mesmo movimento, mas contendo algumas adaptações biomecânicas propostas por este estudo. Através desta análise eletromiográfica foi possível determinar quais posições e movimentos contendo as adaptações biomecânicas refletem menores índices de atividade muscular e, portanto, caracterizariam menor dano ao colaborador no momento em que exerce as atividades que lhe foram requeridas, diminuindo assim as Lesões por Esforço Repetitivo ou Distúrbio Osteomusculares Relacionados ao Trabalho.

**Palavras-chave:** Ergonomia, Eletromiografia, Biomecânica, LER/DORT.

### ERGONOMIC AND ELECTROMIOGRAPHIC ANALYSIS OF MUSCLE ACTIVITIES IN THE PRODUCTION LINE OF THE AUTOMOTIVE SECTOR FOR BIOMECHANICAL IMPROVEMENTS

**Abstract:** The present study presents the importance of the application of ergonomics in the industrial environment, aiming to analyze the adaptation of workstation projects by reducing the muscular activity of the movements of the operators of the studied line. The company under analysis belongs to the auto parts market, with a presence in the sector for more than 50 years. An anthropometric analysis study was carried out, aiming to obtain the ideal values for the height of the workstations. An electromyographic analysis of the main muscles involved in the activities performed

on the assembly line was also performed, evaluating the standard movement versus the same movement, but containing some biomechanical adaptation. Through this electromyographic analysis it was possible to determine which positions and movements containing the biomechanical adaptations reflect lower levels of muscle activity and therefore would characterize less damage to the employee at the time of performing the activities that were required, thus decreasing Repetitive Strain Injuries or Work-related Musculoskeletal Disorders.

**Keywords:** Ergonomics, Electromyography, Biomechanics, RSI/WRMD

## 1. Introdução

A disputa entre as organizações no mercado estão cada vez mais acirradas (SILVA; FONSECA, 1996), com isso o estudo da ergonomia torna-se cada dia mais importante para que as organizações obtenham alguma vantagem sobre seus concorrentes, melhorando assim as condições de trabalho de seus colaboradores, aprimorando suas metodologias de trabalho, visando qualidade em todo o ambiente industrial, a qualidade de vida de seus colaboradores e que, principalmente, sejam capazes de manter um fluxo adequado de produção por evitar afastamentos por Lesões por Esforço Repetitivo (LER) ou Distúrbio Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (DORT) (DELWING, 2007). Segundo (Lida, 2005) a ergonomia deve ser aplicada desde as etapas iniciais do projeto de uma máquina, sistema, ambiente ou local de trabalho no entanto as vezes é necessário adotar soluções de compromisso visando a segurança do trabalhador mas levando em consideração as restrições econômicas, prazos exíguos ou atitudes conservadoras da organização.

A aplicação da ergonomia na indústria é realizada identificando os locais onde ocorrem problemas ergonômicos mais graves. Estes podem ser reconhecidos por certos sintomas como alto índice de erros, acidentes, doenças e rotatividade de empregados. Por trás dessas evidências pode estar ocorrendo falhas na organização do trabalho, inadaptação das máquinas ou condições ambientais (LIDA, 2005).

O emprego de técnicas ergonômicas quando realizados de maneira efetiva, provoca resultados importantes para a organização, elevando as condições de trabalho e diminuindo as exigências biomecânicas requisitadas durante a jornada de trabalho (SLACK, 2002).

O movimento de rotação do tronco, principal objeto de pesquisa, é um movimento multiarticular e tridimensional, que possui ação sinérgica complexa, em que vários músculos participam do movimento em questão (KENDALL et al., 2007), são eles: Deltoide, Biceps Brachii, Erector Spinae e o Trapezius.

O *músculo deltoide* é constituído em três partes: porção clavicular (ou anterior), porção acromial (ou média) e porção espinal (ou posterior). Os movimentos das diferentes porções do deltoide interagem de forma sinérgica ou antagônica, movimentando e estabilizando a articulação do ombro (ASPDEN; BORNSTEIN; HUKINS, 1987).

A função do *Bíceps* consiste basicamente em promover a flexão do braço. A cabeça longa puxa o braço para longe do tronco (abdução) e o roda internamente (rotação interna), enquanto a cabeça curta puxa o braço novamente em direção ao tronco (adução) (ASPDEN; BORNSTEIN; HUKINS, 1987). Quando ambas as cabeças se contraem simultaneamente ocorre uma dobra do braço (flexão). No cotovelo o músculo dobra o antebraço (flexão) e o roda externamente (supinação). A supinação é mais poderosa com o cotovelo flexionado. Além das funções de movimentação, o bíceps possui a importante tarefa de segurar a cabeça umeral na articulação do ombro (ASPDEN; BORNSTEIN; HUKINS, 1987).

O *trapézio* é o músculo responsável por conectar os membros inferiores ao tronco, possuindo então função de movimentação do corpo. O músculo eleva, retrai e roda a

escápula. As fibras superiores elevam, as médias retraem, e as inferiores deprimem a escápula (KENDALL et al., 2007).

Finalmente, os *Erector Spinae*, ou músculos eretores da coluna, são componentes torácico e lombar do eretor da espinha, potentes extensores da coluna vertebral (KENDALL et al., 2007). Agindo bilateralmente e de forma concêntrica, eles estendem o tronco. A contração unilateral do músculo produz flexão lateral do tronco (ASPDEN; BORNSTEIN; HUKINS, 1987).

Para a análise dos os músculos citados, necessários ao movimento de rotação do tronco, foi utilizada a técnica de eletromiografia. A técnica de eletromiografia compreende-se no monitoramento da atividade elétrica muscular, ou mioelétrica, proveniente do sistema nervoso (DE LUCA, 1997) e é utilizada na ergonomia para estimar a magnitude da força exercida nos movimentos provenientes da atividade muscular (THEADO; KNAPIK; MARRAS, 2007). Os potenciais de ação propagados nos músculos, através das unidades motoras, são deflagrados através de um eletromiógrafo. Posteriormente são analisados por sua voltagem em relação ao tempo. Tal análise possibilita identificar os picos de tensão emitidos pelo músculo, associados ao instante em que o pico se deu, no período de tempo em que foi realizado o movimento, além da fadiga muscular do músculo estudado (DE LUCA, 1997; DUCHENE; GOUBEL, 1993). A fim de evitar variações de pesquisas anteriores ou futuras, escolheu-se utilizar o método proposto pelo SENIAM (*Surface EMG for a Non-Invasive Assessment of Muscles*), que define parâmetros para a captação do sinal eletromiográfico. As pesquisas relacionadas a este mesmo tema, em sua maioria, não compreendem a análise do movimento de rotação do tronco baseados na altura de bancada de trabalho, o qual é o principal enfoque da presente pesquisa. Os estudos se dão em razão da análise vertical do solo em relação ao centro de massa, ou quaisquer movimentos que compreendam atenuar os esforços repetidos, e melhorar o desempenho do indivíduo em quaisquer esportes estudados que exijam movimentos de rotação de tronco contínuos.

A empresa em análise está presente mais de 50 anos no mercado de autopeças, especificamente turbo compressores. Seus produtos são utilizados em inúmeras séries de automobilismo e suporta corridas de carros esportivos, corridas de arrancada, corridas de rally e corridas de roda aberta. Esta fabricante de turbos compressores possui 6 linhas de montagem, cada uma delas atende a clientes e demandas específicas. A linha de montagem estudada neste trabalho correspondeu em 2018 a 38% do volume de produção total da empresa e responsável por 42% do faturamento de 2018 (Dados da empresa – Unidade Brasil). Logo, é o produto mais importante produzido por esta fabricante. O funcionamento desta linha se dá de forma constante, não havendo possibilidade de intervalos.

Para tanto, o presente estudo busca quantificar os níveis das atividades musculares dos músculos estudados durante a execução da tarefa de produção de uma autopeças, de maneira a propor mudanças biomecânicas por meio da análise dos resultados, com o intuito de reduzir a fadiga durante a jornada de trabalho bem como os riscos de lesão por esforço repetitivo.

## **2. Materiais e Métodos**

### **2.1 Métodos**

Para realizar a análise antropométrica da população da indústria do estudo de caso em questão, foram coletadas todas as informações disponibilizadas nas fichas do Checklist de Couto (n=14, idade=41,4 anos±14,7, massa=86,07Kg±14,1, altura=1,73m±0,03). Foi determinada a altura da bancada mediante o cálculo das proporções (figura 1).

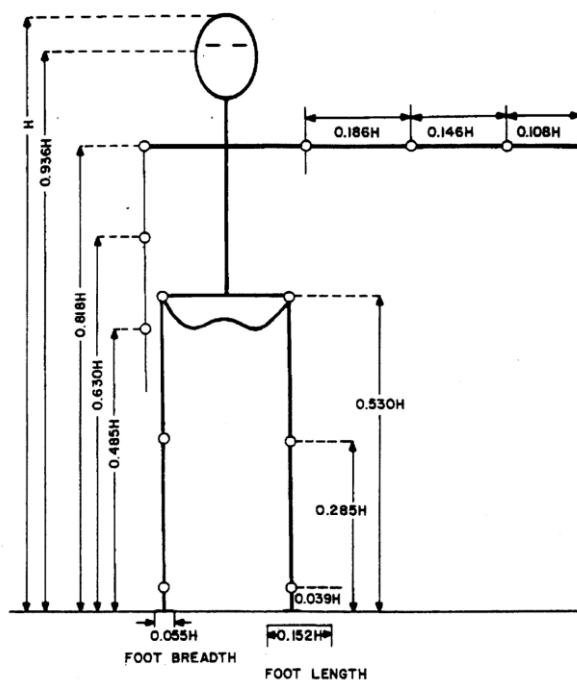


Figura 1- Segmento corporal expresso como proporção da estatura corporal  
 Fonte: Drillis and Contini (Roebuck, Kroemer, and Thomson, 1975)

Para cálculo médio da altura confortável da bancada de trabalho, foi achada a média da altura (h) dos 14 funcionários, e este resultado foi multiplicado por uma altura (h) de 0.63, (valor tabelado pela altura do cotovelo). Posteriormente, foi calculado o desvio padrão e, usando o coeficiente (z), da tabela 1, encontra-se a altura que pode comportar 95% (este percentual corresponde a 1,960) dos funcionários.

Tabela 1 - Valor de Z para cálculo de cada percentil

Percentis (P)	Coefficiente (Z)
25 - 75	0,674
10 - 90	1,282
05 - 95	1,645
2,5 - 97,5	1,960
01 - 99	2,326
05 - 99,5	2,576

Para percentual de 2,5% = Altura Média - DP x 1,960

Para percentual de 97,5%= Altura Média + DP x 1,960

Após a análise antropométrica, foi convidado um trabalhador da linha de montagem para realizar os movimentos mais característicos destes procedimentos. A atividade neuromuscular foi gravada mediante eletromiografia, para sua posterior análise.

Foram executados 3 grupos de movimentos, os mais parecidos possíveis aos observados dentro do processo de fabricação na fábrica em questão. Em cada grupo de movimento, o primeiro é o que foi observado na planta, e o segundo foi executado incluindo a adaptação biomecânica proposta.

a) O primeiro movimento proposto consiste em rotacionar o tronco mantendo os pés paralelos, enquanto a peça se encontra na altura do peito e próxima ao corpo entre 0,3m a 0,4m, chamado, para este experimento, de Rot3040. O movimento comparativo é igual ao “Rot3040”, porém com a peça a uma distância do corpo entre 0,1m e 0,2m, este chamado de “Rot1020”.

b) O segundo movimento consiste em rotacionar o tronco com a peça nas mãos na altura da bancada calculada, mas com os pés paralelos e a uma distância do corpo entre 0,1m e 0,2m, chamado de “PFixo1020”. Após isso, foi executado o mesmo movimento, porém com o pé de apoio (contrário ao sentido do movimento) sendo rotacionado, foi chamado de “PTorção1020”.

c) O terceiro movimento comparativo, foi a manipulação da peça segurando-a na altura do peito, com uma inclinação da cabeça maior que 45 graus e depois com uma inclinação angular menor, de aproximadamente 35 graus. Baseados no estudo de (HANSRAJ, 2014) diferentes angulações da cabeça determinam diferentes pesos no pescoço (Figura 2).



Figura 2- Variações angulares de inclinação da cabeça e seu correspondente peso exercido no pescoço. A)5Kg B)12Kg C)18Kg D)22Kg E)27Kg. Fonte:adaptado de HANSRAJ (2014)

Para o nosso teste, foram escolhidos os dois ângulos mais repetidos na linha de produção da empresa, representados na Figura 2 por D – 45 graus e próximo a C – 35 graus.

## 2.2 Materiais

Para a análise eletromiográfica foram escolhidos os seguintes músculos: Deltoide, Biceps Brachii, Erector Spinae e o Trapezius, representados na Figura 3.

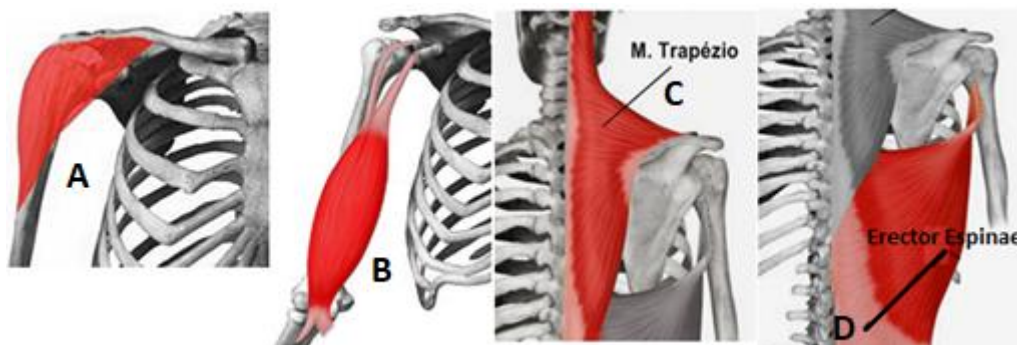


Figura 3 - Músculos considerados para análise eletromiográfica. A)Deltoide, B)Biceps Brachii, C)Erector Spinae D) Trapezius. Fonte: Adaptado do Instituto Federal Sul de Minas

Os procedimentos de posicionamento dos sensores de EMG e eletrodos foram definidos seguindo as recomendações estabelecidas pelo SENIAM. Cada sensor foi reforçado na sua fixação por meio de uma fita adesiva porosa Nexcare (25mm) da marca 3M. Antes de fixar

os sensores na posição correspondente, preparou-se a pele do indivíduo com os seguintes procedimentos: raspagem dos pelos da região (com aparelho de barbear descartável), em seguida foi feita a limpeza da região com uso de algodão com álcool, esperou-se secar e então o sensor foi posicionado.

Para registro dos dados eletromiográficos (EMG), foi utilizado o eletromiógrafo BTS FreeEMG, com frequência de 1KHz, 4 sensores sem fio, posicionando cada um nos ventres musculares dos músculos analisados, software BTS EMG Analyzern, Palm Hp.

Após a aquisição dos sinais eletromiográficos, os dados foram analisados pelo software Matlab (Matlab 2019a, Mathworks).

### 2.3 Processamento dos dados

O sinal capturado foi retificado, filtrado e normalizado. Os dados da eletromiografia foram convertidos do formato .tdf para .mat. Foram desenvolvidos scripts para normalizar, filtrar e plotar as atividades musculares e índices de ativação muscular.

## 3. Resultados e Discussão

Referente à altura da bancada de trabalho, compreende-se que a mesa ideal para comportar o ambiente de trabalho em estudo seria de, em média de 1,09 m. O desvio padrão para esta medida seria de 0,044 e, aplicando na fórmula adotada no tópico 2.1 *Métodos*, temos que a altura mínima necessária da bancada seria de 0,95 metros, e a altura máxima seria de 1,12 metros.

Das análises eletromiográficas: Na tabela 2, pode-se observar a comparação percentual da máxima ativação muscular dos músculos analisados. Existe uma diminuição nos 4 músculos estudados quando a peça se encontra mais perto do corpo (Rot1020) do que quando mais longe (Rot3040). Isto pode ocorrer devido ao diferente torque resultante em ambos os movimentos: quanto mais longe se encontra a peça da linha de projeção do centro de gravidade (linha de gravidade) do indivíduo, maior será o torque gerado nesse movimento. Adequações biomecânicas na técnica de ensablage e manipulação da peça, que permitam diminuir o torque gerado, permitiriam diminuir o nível de atividade muscular e portanto a fadiga.

Tabela 2 - Resultados ativação muscular (%) durante rotação do tronco com a peça a diferentes distâncias do corpo

Músculo	Percentual de ativação muscular	
	Rot3040	Rot1020
Trapézius	27,23%	15,50%
Deltoide	14,89%	2,86%
Biceps Brachi	14,73%	8,31%
Erector Spinae	11,44%	8,39%

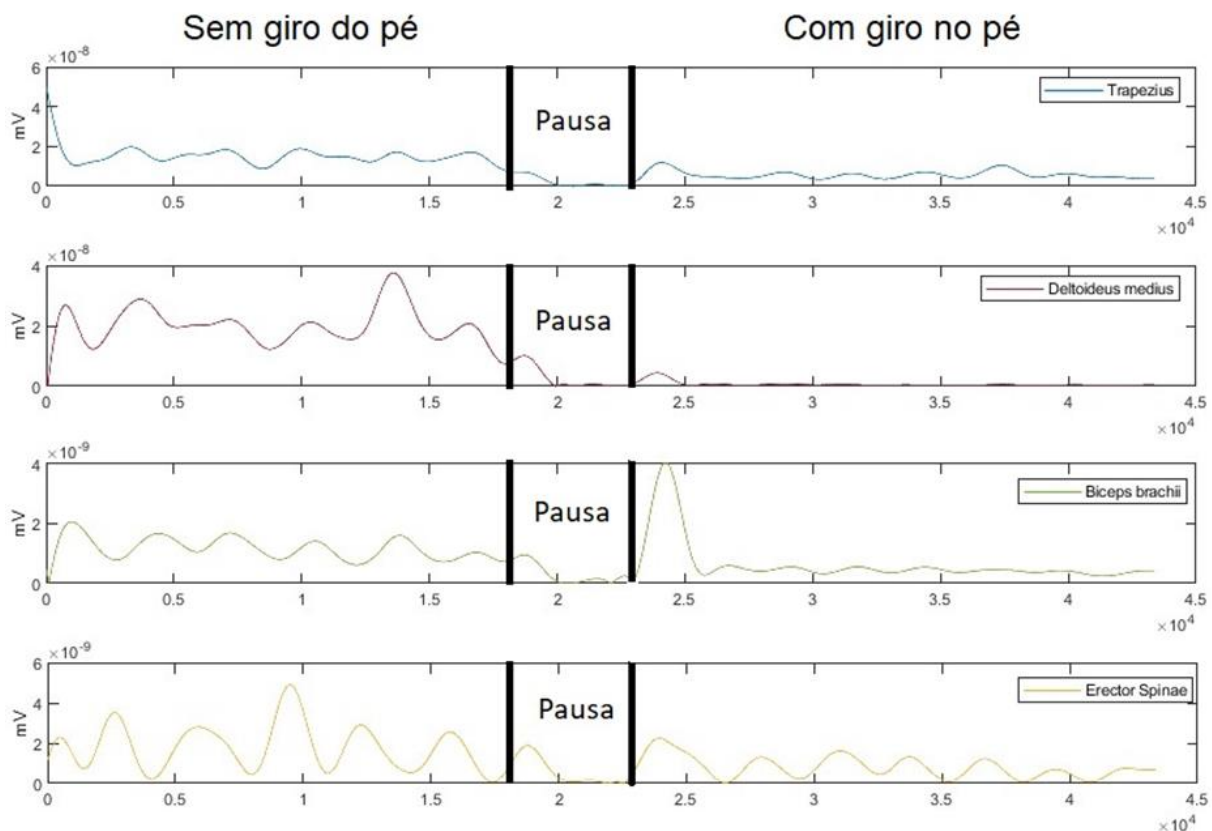


Figura 2 - Atividade neuromuscular registrada para os músculos Trapezius, Deltoideus medius, Biceps Brachii e Erector Spinae durante execução da tarefa com e sem giro no pé

Na figura 4, podemos observar um comparativo da representação da atividade muscular para os dois movimentos de rotação. Observa-se que, ao incorporar o giro do pé ao movimento de rotação, acontece uma diminuição geral da ativação muscular nos músculos analisados. Isto pode ocorrer devido ao fato de que, no fim do movimento executado o giro no pé permite incluir mais músculos ao movimento, fazendo com que a força do torque se estenda pela coxa, perna e pé, ao invés de ficar só detida no quadril.

Na tabela 3, observa-se a diminuição percentual da atividade muscular, sendo o biceps brachii quem apresenta a menor variabilidade de ativação muscular entre os 4 músculos analisados. Isto se dá devido ao fato de que, o braço do executante se encontra em flexão, sustentando a peça para ambos os movimentos, portanto produz pouca diferença, pois para esse segmento o movimento é o mesmo.

Tabela 3 - Resultados ativação muscular (%) durante torção do tronco com e sem rotação do pé contrário ao sentido do movimento

Músculo	Percentual de ativação muscular sem torção do pé (PFixo1020)	Percentual de ativação muscular com torção do pé (PTorção1020)
Trapézio	24,11%	14,90%
Deltóide	10,65%	1,90%
Biceps Brachi	11,59%	8,47%
Erector Espinae	12,55%	8,11%

Na figura 5, pode-se observar os diferentes níveis de atividade muscular durante a manipulação da peça com os dois ângulos diferentes de inclinação da cabeça. Como indicado por (HANSRAJ, 2014), as maiores inclinações angulares incrementam a tensão muscular no pescoço, e essa maior carga de tensão também se reflete nas estruturas mais próximas, como no trapézio e no Deltóide.

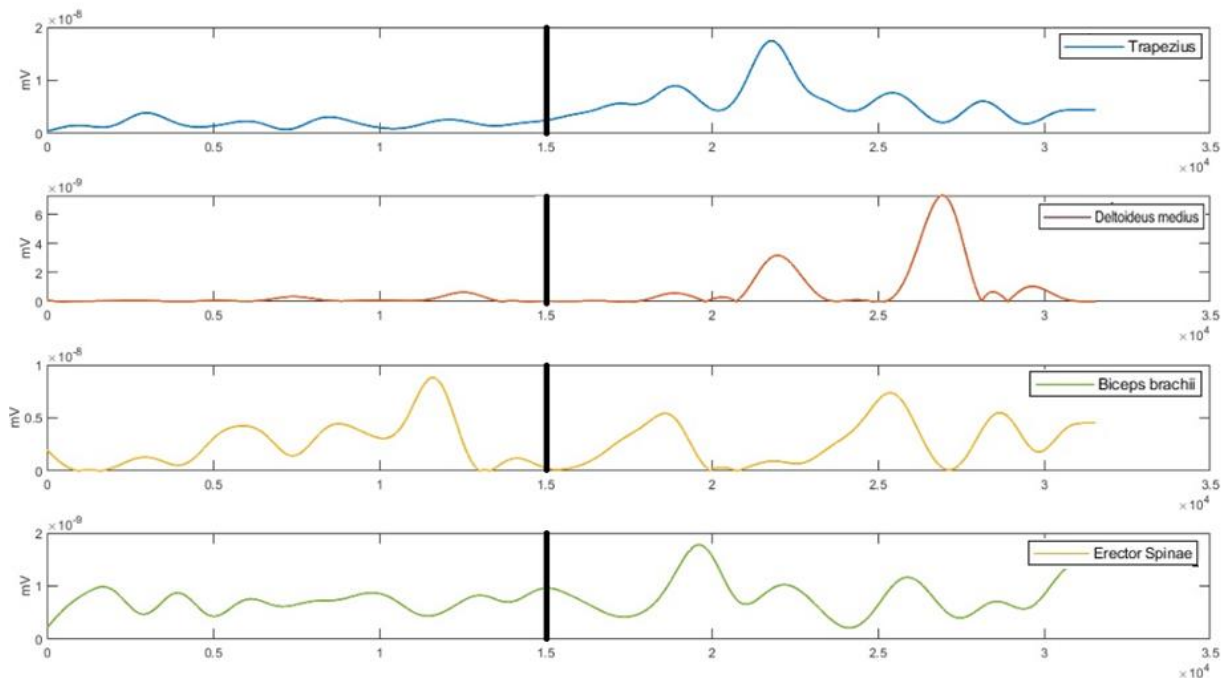


Figura 3 - Comparativo da atividade neuromuscular para os músculos pesquisados durante atividade de manipulação da peça com a cabeça a 35 graus (esquerda) e 45 graus (direita)

No caso do Trapezius, quanto mais inclinada a cabeça, mais se afasta da linha de gravidade (LG) do indivíduo, o que exige uma ativação muscular maior já que, devido ao mesmo gesto, os ombros incrementam sua ativação afim de controlar o movimento que se executa com maior distância da LG.

Já Biceps Brachii e o Erector Spinae não mostraram diferenças ou mudanças significativas.

#### 4. Conclusões

Foi calculada a antropometria de 14 indivíduos em uma linha de montagem, e encontrada a altura mais apropriada para a manipulação das peças. Posteriormente, foi realizado um estudo comparativo dos principais movimentos executados por um operário, nessa mesma linha de montagem, porém com incorporação de variações biomecânicas. Após a análise eletromiográfica, foi observado que as propostas de variação biomecânica sugerem que poderia existir menores atividades musculares quando implantadas as variações propostas. Diminuir o nível de ativação muscular durante atividades repetitivas e contínuas pode rebater os danos decorrentes da utilização excessiva do sistema musculoesquelético, que originam as lesões por esforço repetitivo e os distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho.



## 5. Referências

ASPDEN, R. M.; BORNSTEIN, N. H.; HUKINS, D. W. Collagen organisation in the interspinous ligament and its relationship to tissue function. **Journal of anatomy**, v. 155, p. 141–51, 1987.

DE LUCA, C. J. **The use of surface electromyography in biomechanics**. Journal of Applied Biomechanics. **Anais...**Human Kinetics Publishers Inc., 1 maio 1997

DELWING, E. B. **Análise Das Condições De Trabalho Em Uma Empresa Do Setor Frigorífico a Partir De Um Enfoque Macroergonômico**. [s.l: s.n.].

DUCHENE, J.; GOUBEL, F. Surface electromyogram during voluntary contraction: Processing tools and relation to physiological events. **Critical Reviews in Biomedical Engineering**, v. 21, n. 4, p. 313–397, 1993.

HANSRAJ, K. K. Assessment of stresses in the cervical spine caused by posture and position of the head. **Surgical technology international**, v. 25, p. 277–9, 2014.

IIDA, I. **Ergonomia Projeto e Produção**. 2º ed. São Paulo: 2005, 2005.

KENDALL, F. P. et al. **Músculos: Provas e Funções - com postura e dor**. 5. ed. [s.l: s.n.].

SILVA, C.; FONSECA, V. Competividade organizacional: Uma Tentativa de reconstrução analítica. **Organizações & Sociedade**, 1996.

SLACK, N. **Administração da Produção**. 2º ed. São Paulo: 2002, 2002.

THEADO, E. W.; KNAPIK, G. G.; MARRAS, W. S. Modification of an EMG-assisted biomechanical model for pushing and pulling. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 37, n. 11–12, p. 825–831, 2007.