

Projeto Conceitual da Coluna de um Exoesqueleto Industrial

Aluísio Rodrigues Pereira (Universidade de Passo Fundo) aluisiorp1996@gmail.com

Wu Xiao Bing (Universidade de Passo Fundo) wu@upf.br

Resumo:

Desde os primórdios da indústria, trabalhadores exercem funções maçantes e fadigas, como grandes carregamentos de peso de maneira repetitiva durante suas vidas. Estes esforços acarretam em diversos problemas de saúde, principalmente relacionados a coluna. Como solução para tal, surgiram os exoesqueletos, que tem como principais características amplificar o desempenho no trabalho e diminuir o desgaste físico, garantindo assim uma melhor qualidade de vida aos trabalhadores. Este trabalho apresenta o projeto de uma coluna mecânica para um exoesqueleto, que visa reduzir de maneira significativa os riscos à saúde dos trabalhadores, assim como, exercer seu papel no exoesqueleto auxiliando na amplificação da carga carregada pelos usuários. O projeto foi baseado na metodologia Pahl e Beitz para o desenvolvimento de um projeto conceitual. A confecção deste projeto foi elaborada criando um modelo CAD 3D, que foi modelado a partir do *software* Solidworks 2018.

Palavras chave: Exoesqueleto industrial, projeto de produto, método Pahl e Beitz, CAD.

Column Conceptual Project of an Industrial Exoskeleton

Abstract:

From the earliest days of industry, workers have performed dull and fatiguing duties, such as repetitive heavy weight shifting throughout their lives. These efforts lead to several health problems, mainly related to the spine. As a solution, exoskeletons have emerged, whose main characteristics are to amplify work performance and reduce physical wear, thus ensuring a better quality of life for workers. This article presents the project of a mechanical column for an exoskeleton, which aims to significantly reduce the risks to workers' health, as well as to exert its role in the exoskeleton, helping to amplify the load carried by users. The project was based on the Pahl and Beitz methodology, for the development of a conceptual project. The design of this project was elaborated by creating a 3D CAD model, which was modeled from the Solidworks 2018 software.

Key-words: Industrial exoskeleton, product project, Pahl and Beitz method, CAD.

1. Introdução

Muito se ouve a respeito de avanços tecnológicos relacionados a inteligências artificiais ou a maquinários ascendentes no mercado, porém, um grande salto no modo como as industrias funcionam e como estarão daqui a alguns anos está relacionado à exoesqueletos. Com esse complexo sistema, é possível unirmos a ampla capacidade mental humana com a força bruta existente em máquinas, fazendo com que seja possível um ser humano realizar diversas tarefas e atividades que outrora eram impossíveis. Saindo do meio industrial mas mantendo o foco nos exoesqueletos, facilmente conseguimos enxergar a utilidade destes mecanismos, pois já trouxeram avanços significativos na área médica (auxiliando na reabilitação de traumas, corretores posturais, etc) e na área militar (contribuindo, por exemplo, em carregamentos onde é impossível a chegada de maquinários ou veículos). Com a constante evolução destes sistemas, logo os exoesqueleto vão estar auxiliando em tarefas diárias e facilitando a vida e o cotidiano das pessoas. O foco deste estudo é o projeto de uma coluna

para um exoesqueleto industrial, que possa ser utilizada no auxílio da amplificação de cargas carregadas pelos usuários, garantindo sempre uma postura correta e boa estabilidade, contribuindo assim, de maneira significativa, à prevenção de doenças na coluna vertebral relacionadas com excesso de carga e/ou fadiga.

Para ser possível o desenvolvimento deste projeto, foi necessária uma revisão na literatura existente, relacionada a exoesqueletos que já atuam no mercado ou estão em desenvolvimento, assim como um estudo do funcionamento da coluna vertebral e suas principais características, para se chegar a um modelo onde o mecanismo desenvolvido atue de maneira fluida e confortável ao usuário.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Carregamentos e características da coluna vertebral

Segundo SALVE & BANKOFF (2003), alguns dos principais fatores responsáveis por problemas posturais são a sustentação e o transporte de peso, ausência de experiência matriz, realização e organização do trabalho e estresse. Existem outros fatores, como obesidade, problemas hereditários, gravidez, e até mesmo problemas socioculturais, porém, somente os primeiramente citados estão relacionados com este artigo, pois são os que são passíveis de mudança com o implemento do exoesqueleto.

RUMAQUELLA (2009), relatou um estudo de caso em uma indústria de alimentos, onde constatou que as principais dores na coluna aparecem devido a uma postura antiergonômica. De acordo com o estudo, a postura em pé demonstrou ser a mais incomoda, logo em seguida a postura arqueada, movimento de alcançar, carregar e guardar objetos. Ainda foi visto que 73% dos funcionários registraram cansaço por manter essa postura durante a jornada de trabalho. A região lombar foi onde mais apareceu a incidência de dores, superando as dores na região dorsal e pernas. Em relação aos sintomas muscoesqueléticos, foram relatadas dores nos segmentos da coluna vertebral, seguidos da região lombar e dorsal. Foi constatada uma relação direta entre essas dores e as posturas de inclinação e torção do tronco, assim como o pegar, transportar e puxar peso.

De acordo com CARVALHO (2004), o transporte de mochilas com uma carga de 10% do peso corporal constitui uma medida preventiva, menos nociva e mais ergonômica para o ser humano, uma vez que um carregamento nessa magnitude não induz alterações acentuadas em perfis da coluna vertebral. A recomendação do autor é não ultrapassar este limite para auxiliar na diminuição de distúrbios no dorso e na coluna vertebral. Com este estudo, foi possível determinar quanto a coluna do exoesqueleto deve pesar, considerando uma média de massa corporal de 80 kg, a coluna poderia pesar no máximo 8kg.

VACHERON et al (1998) constaram que os sujeitos que utilizam carregamentos nas costas, como mochilas ou outros similares, precisam manter uma postura adequada em todas as regiões da coluna, com ênfase na parte lombar, onde se concentram as maiores tensões. De acordo com os testes realizados, a coluna vertebral sofre uma “diminuição” nas partes torácica e lombar ao ser submetida a estes carregamentos, fazendo com que sua curvatura aumente e exista uma compressão das vértebras. Com base neste estudo foi possível visualizar como a coluna humana se comporta ao ser submetida a carga, e foi possível criar um projeto que ajustasse estes parâmetros.

Segundo SNOOK (1989, apud GONÇALVES, 1998), o levantamento seguro de uma carga, ao nível do solo (caso mais crítico), se caracteriza pelo fato de que o trabalhador mantenha a coluna ereta, dobrando apenas os joelhos para abaixar o corpo e, no movimento para levantar o corpo, utilizar apenas a força dos músculos das pernas, lembrando de manter o

objeto carregado sempre próximo ao corpo, levantando-o de maneira lenta e sem solavancos, e se for necessário girar o objeto ou o corpo, utilizar os pés e não o tronco, mantendo a coluna estável.

2.2 Exoesqueletos

BOGUE (2014) apresenta em seus estudos que os exoesqueletos, embora tenham começado com o intuito de atender necessidades militares, hoje em dia estão perto de revolucionar a área médica e industrial. Segundo ele, as aplicações industriais referentes ao transporte de carga e estabilidade dos trabalhadores já estão prontas para causar um impacto real na maneira como enxergamos a indústria e na produtividade. Saindo do meio industrial, os exoesqueletos estão chegando com um papel mais humanitário, ajudando na vida e no bem estar de pessoas enfermas, na reabilitação de pacientes com dificuldades motoras e, voltando a indústria mas não saindo da ala médica, reduzindo o incidência de lesões para trabalhadores manuais, em uma gama ampla de indústrias.

GARCÉS (2013) mostra um sistema de membros superior de exoesqueletos que utiliza um sistema pneumático, sensores para a captação de movimentos e um potenciômetro para o carregamento de carga, o modo como o potenciômetro foi utilizado nesta dissertação foi usado como base para estudo deste artigo. De acordo com a autora o sistema pneumático apresenta mais vantagens em relação a pneumáticos e elétricos, porém, por este artigo se tratar da coluna, o sistema que melhor se adaptaria seria um atuador linear elétrico, por se enquadrar melhor nas especificações.

O trabalho de KAWALE & SREEKUMAR (2018) permite que seja feito um entendimento a respeito de como os membros inferiores de um exoesqueleto funcionam, pois ilustra por meio de simulações como as forças e os movimentos se comportam. Esta análise foi importante para o trabalho da coluna porque foi possível desenvolver um método de análise de movimentos e forças a partir destes dados.

CARDONA et al (2010) trás uma visão a respeito de diversos sistemas utilizados em exoesqueletos, tanto para membros superiores quanto inferiores, e conclui que a utilização de sistemas elétricos, pneumáticos ou hidráulicos depende da atuação e da construção dos exoesqueletos, uma vez que cada um tem suas peculiaridades. Este estudo trouxe o esclarecimento de como os sistemas se comportam em diferentes atuações, o que foi de grande ajuda na escolha do sistema atuador utilizado na coluna do exoesqueleto tema deste artigo.

Devido a pouca literatura referente a coluna e parte do tronco destes mecanismos, foi utilizado como referencial à este trabalho artigos e leituras referentes a membros superiores e inferiores, e buscou-se adequar as ideias para a realidade da coluna. O referencial que visou a parte da coluna vertebral humana foi de suma importância para a criação de um projeto que conseguisse suprir os problemas naturais encontrados em carregamentos de carga. Após feita a revisão bibliográfica, deu-se início a elaboração da parte metodológica.

3. Metodologia

Este projeto foi realizado utilizando o *software* Solidworks, versão 2018, e foi baseado na metodologia Pahl e Beitz, seguindo o passo a passo necessário para atingir os objetivos de maneira clara e organizada. Esta metodologia foi adotada por ser reconhecida mundialmente por seu método funcional, que se caracteriza por uma simplicidade na utilização, apresentando de maneira lógica como o projeto deve ser desenvolvido. O fluxograma a seguir mostra o passo a passo necessário para a elaboração de um projeto segundo esta metodologia, com as principais características a serem apresentadas em cada fase do desenvolvimento.

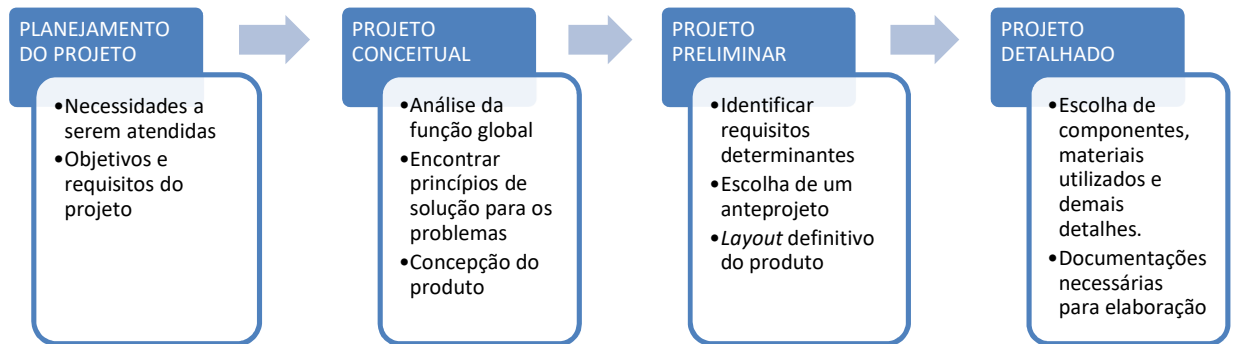


Figura 1 - Fluxograma metodologia Pahl e Peitz

Este artigo termina na elaboração do projeto conceitual, uma vez que com ele já será possível analisar e discutir soluções para os problemas encontrados no planejamento. A escolha de componentes, materiais utilizados e demais detalhes não serão discutidos, uma vez que o foco principal deste artigo é expor os problemas encontrados no cumprimento da função da coluna e expor princípios de solução para tal.

4. Desenvolvimento do projeto

Primeiramente foi feito um planejamento do projeto, que visou especificar as principais necessidades que a coluna do exoesqueleto deve atender, que são: manter a estabilidade e postura do usuário, assim como auxiliar na amplificação da carga carregada. Ao manter a estabilidade e aumentar seu desempenho, procura-se também proteger o trabalhador de futuros danos a coluna, fazendo com que sua vida na indústria possa ser mais produtiva e menos nociva à saúde.

Nesta etapa, foi feita uma pesquisa de mercado com relação a exoesqueletos já existentes, visando compreender melhor como são produzidos e os mecanismos empregados em seus funcionamentos. Notou-se nesta pesquisa que o foco principal ainda está em membros superiores e inferiores, pois seus funcionamentos ainda estão em fase evolutiva. A parte da coluna está mais presente em mecanismos relacionados a área médica e militar. Na indústria existem poucos protótipos ligados diretamente a coluna, embora esta parte seja de suma importância para a segurança do trabalhador e esteja interligando os membros superiores e inferiores. Após ter deixado claro os objetivos a serem alcançados e as necessidades a serem atendidas, passou-se para a fase de projeto conceitual.

4.1 Projeto Conceitual

Esta etapa se iniciou com uma análise da função global a ser desenvolvida, que é transferir uma força chegada dos membros superiores para os membros inferiores. Para uma melhor visualização, foi elaborado um diagrama de forças de maneira simplificada, para

demonstrar como as cargas vão se comportar no sistema. Para esta análise, assume-se que os componentes são rígidos, como mostra a figura 2.

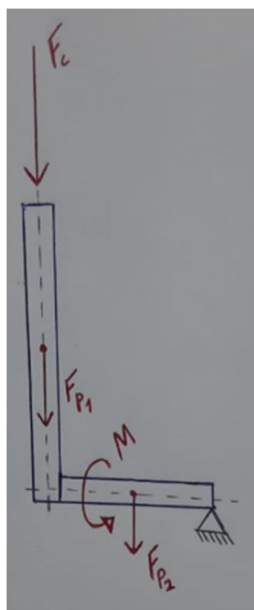


Figura 2 - Diagrama de forças simplificado

A força F_c representa a carga que chega dos membros superiores, as forças F_{p1} e F_{p2} representam as forças peso dos dois segmentos, e o momento M demonstra o movimento que a coluna tende a fazer com o carregamento. Após feito o diagrama de forças e entendido como as mesmas se comportam, começou-se a pensar em um sistema que trabalhasse em harmonia com a maneira que estas forças atuam, de maneira que elas fossem transportadas aos membros inferiores sem serem transferidas a coluna do trabalhador. Após ter se pensado em um sistema que atendesse estas demandas, iniciou-se a elaboração de um projeto desenvolvido em modelo CAD 3D, o qual é composto por subfunções que desempenham juntas a função global, de transferir as cargas, mantendo a sustentação. Para facilitar o desenrolar do projeto, dividiu-se a coluna em duas subfunções, uma denominada transferência de carga e outra denominada sustentação da coluna.

O projeto conceitual é representado na figura 3, o qual está sendo observado sob a perspectiva de uma vista lateral direita, onde o ponto A mostra o local onde há a conexão com os membros superiores e o ponto B ilustra onde existe a ligação com os membros inferiores. Ambas as partes, tanto A quanto B, possuem ajustes para se adequar a vários tipos de corpos. A peça C mostra o encosto para as costas, que pode ser ajustado na região torácica da coluna, de acordo com o conforto do trabalhador. A parte D representa a região que se une com a lombar e a mantém estável. Esta parte foi projetada para ser rígida, mas ao mesmo tempo trazer conforto, pois, segundo VACHERON et al (1998), é na lombar onde se encontram os maiores concentradores de tensão ao ser acionada uma carga. Ainda referente à parte D, ela apresenta uma leve curvatura, desenhada para atender a curvatura natural da coluna vertebral.

É possível manter a lombar protegida, pois ao ser submetida a uma carga, a angulação natural tende a aumentar (causando danos e enfermidades ao longo da jornada de trabalho, devido a cargas muito críticas ou devido a fadiga), porém com este exoesqueleto, não haverá

margem para ocorrer esta angulação, mantendo assim a parte lombar da coluna vertebral estável, evitando danos futuros.

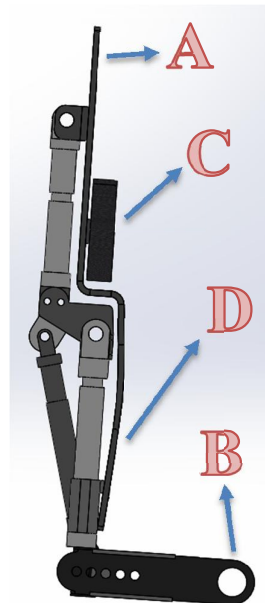


Figura 3 - Projeto CAD coluna exoesqueleto

Durante o desenvolvimento do projeto conceitual, todas as peças foram modeladas de maneira individual e, após concluídas, montadas utilizando a ferramenta de montagem do próprio *software* Solidworks 2018.

A divisão das subfunções, denominadas parte 1, referente a sustentação da coluna, e parte 2 referente a distribuição das forças (as quais chegam dos membros superiores do exoesqueleto e tem de ser transferidas aos membros inferiores), serão tratadas de maneira isolada, em subitens que serão vistos mais a frente neste artigo. As duas partes tem objetivos diferentes no projeto, mas ambas são necessárias e se completam no trabalho da realização da função global.

Na figura 4 é apresentado um modelo 3D já ligado a um corpo, que ilustra como o exoesqueleto fica montado por inteiro, o que facilita a visualização de como a coluna interage com os membros superiores e inferiores.

As partes em tonalidades de cinza e preto representam a coluna e as partes em vermelho representam os membros inferiores e superiores. O modelo de corpo utilizado na figura 3 é equivalente a um ser humano de 1,70m de altura e uma massa de aproximadamente 65kg. Lembrando que a coluna do exoesqueleto, assim como seus outros componentes, são ajustáveis e podem se adequar a diferentes pessoas com diferentes dimensões corporais.

Este modelo corpóreo foi utilizado apenas para fins ilustrativos, para facilitar a visualização e entendimento de como o exoesqueleto fica ao ser utilizado por um ser humano.

O desenho não apresenta as alças e o cinto ligados ao corpo, para torna-lo mais didático em relação ao seu funcionamento como transportador de carga.

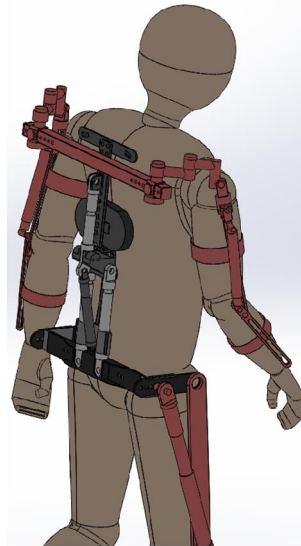


Figura 4 - Exoesqueleto ligado ao corpo

4.1.1 Parte 1 – Sustentação da coluna

Para garantir uma boa sustentação e uma postura adequada ao trabalhador (garantindo também o conforto), se pensou em utilizar uma estrutura rígida composta por um encosto para as costas, e, para unir o exoesqueleto ao corpo, alças semelhantes a usadas em mochilas, utilizadas na parte superior da coluna. Na parte inferior, um cinto que liga a estrutura ao abdômem do usuário. A figura 5 ilustra como ficou definida a estrutura de sustentação, ainda sem as alças e o cinto.

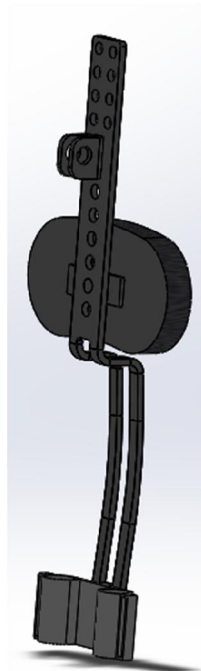


Figura 5 - Estrutura de sustentação da coluna

O encosto para as costas pode ser ajustado de acordo com o conforto do trabalhador, tendo regulagens de altura. Junto a estrutura da parte de sustentação fica a ligação com os membros superiores, que igualmente ao encosto, possui regulagem de altura, o que facilita a amplitude de pessoas que podem utiliza-lo. Para ligar esta parte com a estrutura referente a distribuição de forças, há um engate na parte superior que é ajustável e, na parte inferior, há um mecanismo que liga essas duas áreas. A estrutura foi desenhada para respeitar as curvas naturais da coluna humana, e o encosto, por ser ajustável, pode se adequar aos mais variados tipos de anatomia, pois, embora as curvas naturais da coluna sejam similares, há uma certa variação de pessoa para pessoa.

4.1.2 Parte 2 – Distribuição de Forças

Para a parte de distribuição, as principais funções são garantir que a estabilidade seja mantida e que a força passe para os membros inferiores. O modelo foi desenhado pensando em atender estes objetivos e possui dois sistemas principais: um sistema superior e um inferior, como mostra a figura 6, ambos com o funcionamento similar, que atuam de maneira livre quando estão sem carregamento e exercem uma força contrária quando estão sob carregamento, compensando a carga em questão. Os sistemas trabalham livres com uma folga de mais ou menos 20mm cada um, quando não submetidos a nenhuma carga externa. Ao ser aplicada uma força qualquer, os mesmos tendem a fazer uma força contrária a carga, auxiliando as costas do trabalhador no desempenho de sua função.

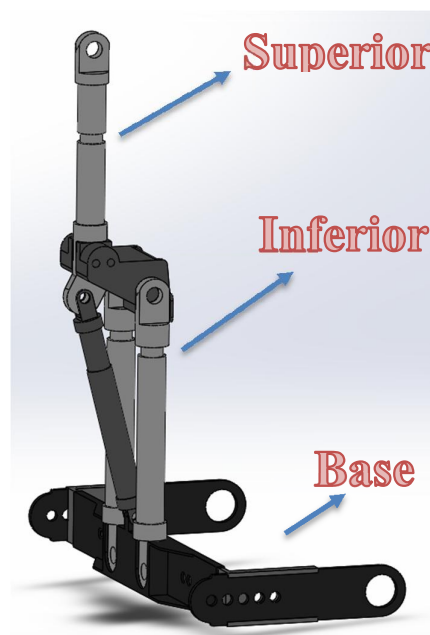


Figura 6 - Estrutura de distribuição de forças

Na base desta parte, representada na figura acima, existem duas regulagens, sendo as duas para se adequar a tamanhos de quadris diferentes. Ainda na base as forças chegam da parte inferior da estrutura de transferência de cargas e são redirecionadas para os membros inferiores. Após terminadas estas análises e terem sido criadas soluções para os problemas, foi finalizado o projeto conceitual da coluna do exoesqueleto.

5. Conclusão

Os principais objetivos deste projeto foram atendidos, pois os sistemas de funcionamento criados atendem bem as especificações iniciais, pré-estabelecidas na fase de planejamento. A coluna mecânica se adequa bem a uma variedade grande de pessoas, pois possui diversas regulagens que permitem essa amplitude. As cargas carregadas são contrabalanceadas pelo sistema de distribuição de cargas, tendo em vista que os mesmos exercem uma força contrária, dando uma folga, referente ao esforço, à coluna humana. O sistema de sustentação atribui uma segurança maior para a área lombar da coluna vertebral, pois a mantém estável, diminuindo assim os problemas causados por má postura e/ou fadiga. A região torácica se mantém estável por possuir o encosto, ligado por alças, que a mantém equilibrada. O peso máximo carregado pela coluna humana tem de ser algo em torno de 10% do peso corporal da pessoa, o que significa que o sistema por completo deve possuir uma massa com algo em torno de 6,5kg. Esta massa foi arbitrada utilizando uma massa corpórea de 65kg como referência, similar a massa do modelo utilizado para a elaboração do projeto conceitual.

Ao fim deste projeto, foi possível concluir que os exoesqueletos estão mais próximos de se tornarem peças chave na vida de trabalhadores em indústrias, pois estes auxílios mecânicos/robóticos estão em constante evolução e podem trazer diversos benefícios e soluções, com relação a saúde e desempenho das pessoas que os utilizam.

Referências

BOGUE, R. Robotic Exoskeletons: a review of a recent progress. **Emerald Publishing**, Okehampton, v.42, n.1, p. 5-10.

CARDONA, M. A. C. et al. Exoesqueletos para potenciar las capacidades humanas y apoyar la rehabilitación. **Revista Ingeniería Biomédica**, Medellín, v.4, n.7, p. 63-73.

CARVALHO, L. A. P. **Análise cinemática do perfil da coluna vertebral durante o transporte de mochila escolar**. Curitiba, 115 p., 2004. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná.

GARCÉS, D. S. C. **Exoesqueleto robótico para aumentar a capacidade física do membro superior humano**. Rio de Janeiro, 106 p., 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

GONÇALVES, M. Variáveis biomecânicas analisadas durante o levantamento manual de carga. **Revista Motriz**, São Paulo, v.4, n.2, p. 85-90, 1998.

KAWALE, S. S.; SREEKUMAR, M. Design of a Wearable Lower Body Exoskeleton Mechanism for Shipbuilding Industry. In: International Conference on Robotics and Smart Manufacturing (RoSMa2018)., Kacheepuram. **Anais...** Kacheepuram: IIITDM Kacheepuram Campus, 2018, p. 1021-1028.

RUMAQUELLA, M. R. **Postura de trabalho relacionada com as dores na coluna vertebral em trabalhadores de uma indústria de alimentos: estudo de caso.** Bauru, 119 p., 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

SALVE, M. G. C.; BANKOFF, A. D. P. Postura corporal – um problema que aflige os trabalhadores. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, São Paulo, v.28, n.105-106, p. 91-103, 2003.

VACHERON, J. J. et al. Changes of contour of the spine caused by load carrying. **Surgical and Radiologic Anatomy**, France, v.21, n.2, p. 109-113.