

Análises Qualitativas de um Exoesqueleto para Membros Superiores - Primeiras Impressões

Rodney Wenke (UTFPR) rowenke@yahoo.com.br
Marcio Hauagge Salatiel (UFPR) marciohauaggeem@gmail.com
Giles Balbinotti (UTFPR) balbinotti71@gmail.com
João Antonio Palma Setti (UTFPR) setti@utfpr.edu.br
Maria Lucia Ribeiro Leite Okamoto (UFPR) lucia.demec@ufpr.br

Resumo:

Exoesqueletos são dispositivos ergonômicos que tem a finalidade de dar suporte aos movimentos corporais. Nesse estudo foi avaliado o uso de um exoesqueleto passivo de membros superiores, em uma estação de trabalho de uma montadora automotiva no sul do Brasil. Tem o objetivo de descrever, avaliar e expor, qualitativamente, as primeiras impressões do uso desse exoesqueleto. Para tal, realizamos um teste de abdução de ombro com e sem o exoesqueleto buscando um padrão de comparação. Avaliamos um posto de trabalho e utilizamos o exoesqueleto por uma jornada de trabalho, coletamos a informação em dois questionários, elaborados segundo a opinião do usuário e outro com os critérios de Usabilidade de Jordan. O posto de trabalho apresentou pontuação 7 na escala de RULA® necessitando de intervenção urgente. A impressão do usuário no teste de laboratório obteve média 9.6, e na escala de Jordan média 9.7, já nos testes em linha de montagem as médias foram 7.2 para a impressão do usuário e 9.0 na escala de Jordan. Concluimos, portanto, que o uso do exoesqueleto tem uma diferença entre os testes laboratoriais e o uso no posto de trabalho, embora seja benéfico para o uso na linha de montagem, por reduzir a fadiga e suportar a carga de trabalho, porém o desconforto é um fator preocupante, quando utilizado por longos períodos, e a opinião do usuário deve ser levada em conta quanto ao uso do aparelho.

Palavras chave: Exoesqueleto, Ergonomia, Exoesqueleto passivo, Indústria 4.0.

Qualitative Analysis of an Exoskeleton for Upper Limbs - First Impressions

Abstract

Exoskeletons are ergonomic devices that have the purpose of supporting the body movements. In this study, the use of a passive exoskeleton of upper limbs was evaluated in a workstation of an automotive assembly plant in southern Brazil. It has the objective of describing, evaluating and exposing, qualitatively, the first impressions of the use of this exoskeleton. For this, we performed a shoulder abduction test with and without the exoskeleton looking for a standard of comparison, then we evaluated a work station and used the exoskeleton for a working day, we collected the information in two questionnaires, elaborated according to the user's opinion and another one with the Jordan Usability criteria. The work station presented a score of 7 on the RULA® scale requiring urgent intervention, the user's impression in the laboratory test obtained a mean of 9.6, and in the average Jordan scale 9.7, in the assay tests, the averages were 7.2 for user printing and 9.0 in Jordan scale. We conclude, therefore, that the use of the exoskeleton has a difference between laboratory tests and use in the workplace, although it is beneficial for use on the assembly line, because it reduces fatigue and supports the workload, but the discomfort is a worrisome factor when used for long periods, and the opinion of the user should be taken into account regarding the use of the device.

Key-words: Exoskeleton, Ergonomics, Exoskeleton passive, Industry 4.0.

1. Introdução

A nova revolução industrial, ou indústria 4.0, traz a informatização e virtualização como peça fundamental do processo de produção, permitindo o acompanhamento em tempo real, desde a obtenção da matéria prima até as etapas de pós-produção, permitindo a descentralização da gestão e o ajuste da demanda para otimizar processos. Como realidade, temos ainda a possibilidade de intervir em situações laborais de maior risco, seja com maquinários e sistemas de produção mais sofisticados, robôs colaborativos ou ainda dispositivos ergonômicos mais evoluídos tecnologicamente. Estes podem, respectivamente, substituir o homem, trabalhar lado a lado em um posto de trabalho ou auxiliar o operador a realizar suas tarefas. Essas inovações têm como consequência maior produtividade, menor desperdício e redução do número de lesões relacionadas ao trabalho.

Apesar de todas as inovações e esforços voltados à qualidade de vida dos trabalhadores, ainda existem problemas a serem corrigidos nas plantas industriais. Um ponto de atenção a ser adotado é na relação da ergonomia com o processo de trabalho na produção industrial, esta que gera o maior número de doenças relacionadas ao complexo do ombro.

As lesões do ombro representaram em 2016 35.337, de um total de 474.736, lesões relacionadas ao trabalho, ou seja, 7,44% de todos os afastamentos de trabalho no Brasil (AEPS, 2016;MF, INSS, and DATAPREV, 2016). O trabalho realizado com movimentos de membros superiores em elevação, causam a compressão dos tendões do manguito rotador do ombro (WILLINGER, 2017), causando lesões, muitas vezes irreversíveis, ocasionando incapacidades funcionais, queda de desempenho e declínio de qualidade de vida de pessoas em idade produtiva de trabalho (HARCOMBE et al., 2014). Outro aspecto importante a ser relacionado é o uso das mãos em atividades acima da cabeça, onde a posição do ombro é elevada, acima de 90°, temos a compressão dos tendões do manguito rotador do ombro, possibilitando o surgimento de doenças dos tendões. A situação é agravada pela força de preensão palmar (ALI TAHA, 2015).

Como parte da implantação da indústria 4.0, surge a obrigatoriedade de eliminação dos postos de trabalho considerados ergonomicamente críticos. No entanto, levando em consideração o ponto de vista da indústria em plantas já consolidadas, os investimentos para se alterar linhas, processos e produtos para que os fatores ergonômicos sejam alcançados tornam-se completamente inviáveis. Portanto, uma possível solução trazida das áreas médica e militar com a proposta de reduzir a incidência desse tipo de lesão do trabalhador industrial, é a utilização de dispositivos ergonômicos conhecidos como exoesqueletos.

Exoesqueletos são órteses funcionais que auxiliam o corpo humano a desenvolver tarefas, produzidos em diferentes materiais. Vestem o corpo dando suporte aos movimentos, através de aparatos mecânicos, hidráulicos, molas ou até mesmo motores, fazendo com que a força seja multiplicada. Alguns dispositivos simplesmente dão sustentação para algumas articulações como joelhos, ombros ou toda a coluna. Acredita-se que os exoesqueletos podem auxiliar na prevenção de doenças, promover maior agilidade na execução de trabalhos, ou até mesmo a recuperação de deficiências físicas (YOUNG and FERRIS, 2017).

Quanto a sua classificação, podem ser divididos em exoesqueletos ativos ou exoesqueletos passivos. Os exoesqueletos ativos dão assistência mecânica ao movimento através de algum ativador, podendo ser um motor elétrico, ativador hidráulico ou pneumático. Já os exoesqueletos passivos dão suporte ao movimento através de molas ou amortecedores. A energia é acumulada e será usada quando necessária para o movimento (de LOOZE et al.,

2016).

Sua aplicação teve início nos anos 60 com finalidades militares, auxiliando os soldados a transportarem cargas pesadas por longas distâncias. Desde essa época, sua aplicação ampliou muito e passou a ser utilizado em procedimentos de reabilitação de doenças e deficiências físicas, desenvolvimento de marcha de paraplégicos e tetraplégicos. Nos últimos anos, a atenção da indústria tem se voltado para o uso do exoesqueleto como um grande auxiliar na ergonomia dos processos de produção industrial, permitindo o trabalhador a realizar tarefas com maior agilidade e menor comprometimento muscular e articular (MARTINEZ et al., 2009).

Estudos demonstram um menor gasto energético para a execução de tarefas como marcha humana, embora a velocidade parece ser diminuída, a função muscular também está sendo medida através da eletromiografia e demonstra menor ativação muscular dos músculos envolvidos com o movimento auxiliado pelos dispositivos (MOONEY and HERR, 2016; SHAMAEI et al., 2014). Assim, Exoesqueletos podem aumentar o desempenho de pessoas fisicamente capazes (DOLLAR and HERR 2008).

Apesar dos avanços recentes no desenvolvimento de exoesqueletos para aplicações industriais, esses ainda não são amplamente adotados pela indústria. Alguns dos desafios, que têm de ser superados, são redução da amplitude de alguns movimentos, desalinhamento entre a anatomia humana e cinemática do exoesqueleto, bem como o desconforto (NÄF et al., 2018). Os exoesqueletos tem que exercer pressão no corpo para que suas forças mecânicas sejam aplicadas. Esses pontos de pressão devem ser bem ajustados para evitar a dor e o desconforto (de LOOZE et al., 2016). Outro fator negativo que pode ser observado é o desuso e o potencial enfraquecimento da musculatura envolvida na ação (EISINGER, KUMAR, and WOODROW, 1996).

Até o momento não se tem conhecimento de um protocolo criado especificamente para a avaliação da eficiência e eficácia de exoesqueletos para o uso na indústria. Alguns trabalhos sugerem o uso de avaliação eletromiográfica da atividade dos músculos durante a execução de tarefas com o uso do exoesqueleto (de LOOZE et al., 2016), estratégia que parece importante, pois a análise da fadiga muscular tem sido proposta pela variação da amplitude do sinal eletromiográfico, pela medida RMS, através do tempo (DIEFENTHAELER, 2009). Outros utilizam análise de performance ou ainda a usabilidade do aparato (NÄF et al., 2018), escalas subjetivas de esforço, em especial Borg-10 (BORG, 1998), também tem sido aplicadas em alguns trabalhos. A maior parte desses estudos acontecem em laboratório, ou ambientes totalmente controlados, em uma pesquisa de revisão realizada por Loose *et al.*, 2015, avaliando exoesqueletos para apoio ao trabalho industrial. Dos quarenta artigos selecionados, apenas um foi conduzido em ambiente fabril. A realidade do laboratório não é encontrada no ambiente fabril e linhas de montagem de grandes indústrias, aonde as situações são diferentes dos ambientes controlados de um laboratório.

2. Objetivo

O objetivo desse trabalho é avaliar e expor, qualitativamente, as primeiras impressões do uso de um exoesqueleto passivo de membro superior tanto em testes de laboratório quanto na linha de montagem de uma indústria automotiva do sul do Brasil.

3. Metodologia

Previamente ao início dos testes, os postos de trabalho considerados críticos foram analisados pela equipe de pesquisa, e além das informações cedidas pelo departamento responsável pela

ergonomia de fábrica, o método de avaliação RULA® também foi aplicado pelos especialistas para confirmação e validação da necessidade de melhoria ergonômica dos referidos postos de trabalho (Anexo 1). Tais postos apresentam em sua maioria movimentos de mãos e braços numa faixa entre o nível do peito e acima da cabeça, em tarefas realizadas abaixo do assoalho dos automóveis nas operações de montagem. O posto de trabalho escolhido para realização dos testes envolve exatamente estas atividades, porém com movimentos predominantemente acima no nível da cabeça para realização das tarefas em uma estação específica da linha de montagem de uma fábrica de automóveis do sul do Brasil.

Para criar-se um padrão de comparação primeiramente foram realizados testes estáticos em ambiente controlado de laboratório com uma população composta por 30 sujeitos. Tal teste consiste em segurar pesos de 1Kg em cada mão e manter os braços esticados em posição de abdução a 180° entre as extremidades das mãos, durante trinta segundos. Tal teste foi realizado, para todos os sujeitos, em duas etapas: com e sem o exoesqueleto (Figuras 1 e 2). Após o término dos testes, dois questionários em formato de escala foram aplicados para que os usuários pudessem explicitar as suas impressões a respeito da experiência com o equipamento. O primeiro, adaptado de Näf et al., (2018), tem como objetivo avaliar as condições de uso imediato, focando diretamente na tarefa realizada (Anexo 2). O segundo, também adaptado pelos autores, utiliza dos critérios de usabilidade propostos por Jordan (1993), para gerar uma escala capaz de captar a opinião dos usuários a respeito do que o produto em questão está proporcionando (Anexo 3). Ambos os questionários possuem formato analógico visual proposto por Borg (1998), na sua escala conhecida como Borg-10.

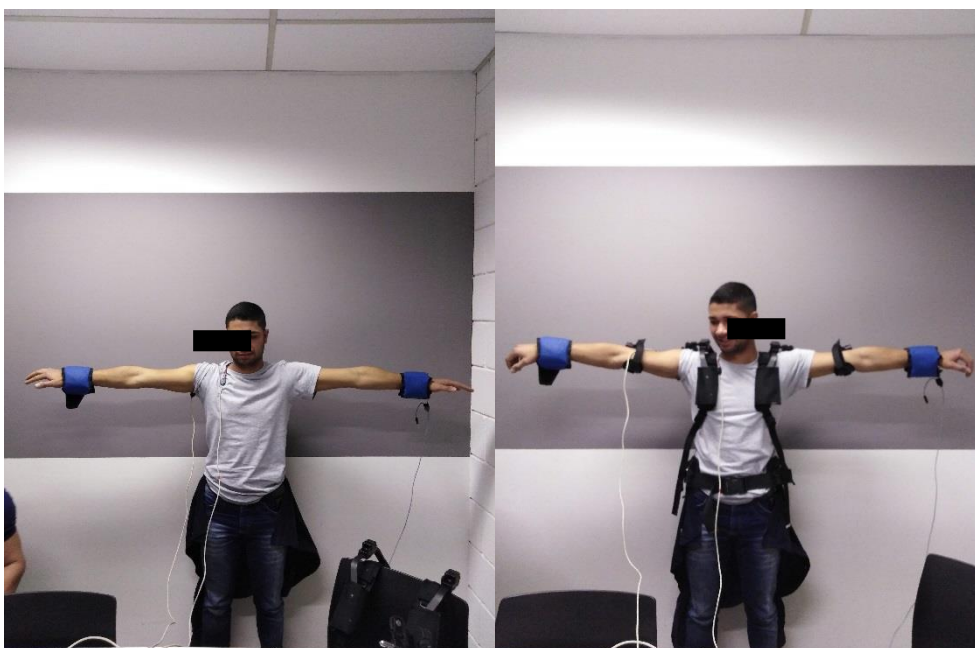


Figura 1 – Teste de abdução sem o exoesqueleto Figura 2 – Teste de abdução com o exoesqueleto

Após estabelecido um “padrão-ouro” baseado nos testes estáticos, a próxima sequência de testes foi direcionada para o posto de trabalho específico citado anteriormente, sendo conduzidos então testes dinâmicos em ambiente real de trabalho. Primeiramente, a equipe responsável pela condução dos testes realizou uma aproximação com o operador responsável

por utilizar o equipamento, explicando os objetivos desta tecnologia bem como as intenções da pesquisa. Os testes foram realizados em três diferentes etapas, divididas em três diferentes dias de trabalho. No primeiro dia somente um contato inicial com duração de aproximadamente 40 minutos foi realizado, assim o usuário pode compreender o funcionamento do equipamento e iniciar a etapa de adaptação, bem como quaisquer possíveis bloqueios e/ou preconceitos em relação ao uso de novas tecnologias pudessem ser eliminados. No segundo dia o operador pode utilizar o equipamento por um rodízio de horário completo, correspondente à 2:30h de duração. E enfim, no terceiro dia o operador utilizou o equipamento durante todo o seu turno de trabalho, o que corresponde a aproximadamente 7h de trabalho efetivo. Todas as etapas do teste foram acompanhadas em tempo real pela equipe de especialistas responsáveis por esta pesquisa, para que assim os feedbacks do operador pudessem ser captados e possíveis ajustes das medidas do equipamento pudessem ser feitos, bem como foram realizadas também tomadas de nota, fotos e vídeos para posterior análise. Ao fim do cumprimento de suas tarefas, os mesmos questionários aplicados aos sujeitos nos testes estáticos em laboratório também foram aplicados ao operador responsável pelos testes dinâmicos em fábrica.

4. Resultados e discussão

4.1 Testes de Abdução

Os resultados dos testes de abdução realizados em laboratório são apresentados a seguir.

4.1.1 Escala de Impressão do Usuário

ESCALA DE IMPRESSÃO											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1. Muito restrito								X		Nada restrito	9
2. Não suporta									X	Suporta muito	10
3. Interfere muito									X	Não interfere	10
4. Nada confortável								X		Muito confortável	9
5. Muito difícil									X	Nada difícil	10
Média											9,6

Fonte: Adaptado de Näf et al. (2018)

Quadro 1-Escala de impressão do usuário, em forma de escala visual analógica em que “1” representa a pior impressão e “10” representa a melhor impressão

4.1.2 Critérios de Usabilidade de Jordan

JORDAN	ESCALA DE IMPRESSÃO										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Coerência										X	10
Compatibilidade									X		9
Consideração das Habilidades do Usuário										X	10
Reação/Resposta									X		10
Prevenção de Erros e Recuperação									X		10
Controle do Usuário									X		10
Clareza Visual									X		10
Priorização da Funcionalidade e da Informação									X		10
Transferência Adequada de Tecnologia								X			9
Explicitação									X		9
											9,7

Fonte: Adaptado de Jordan (1993) e Borg (1998)

Quadro-2 escala de impressão dos avaliadores segundo os critérios de Jordan (1993) em forma de escala visual analógica em que “1” representa a pior impressão e “10” representa a melhor impressão

Estes resultados representam a média das respostas obtidas pela amostra total de 30 sujeitos de pesquisa.

4.2 Testes Dinâmicos em Ambiente Real de Trabalho

O posto de trabalho avaliado foi escolhido por ser classificado como de nível 7 na avaliação RULA®, o que o categoriza como de risco e com urgência de mudanças organizacionais para melhoria das condições de trabalho. As figuras 3 e 4 mostram a tarefa realizada pelo operador sem e com o uso do exoesqueleto, respectivamente.

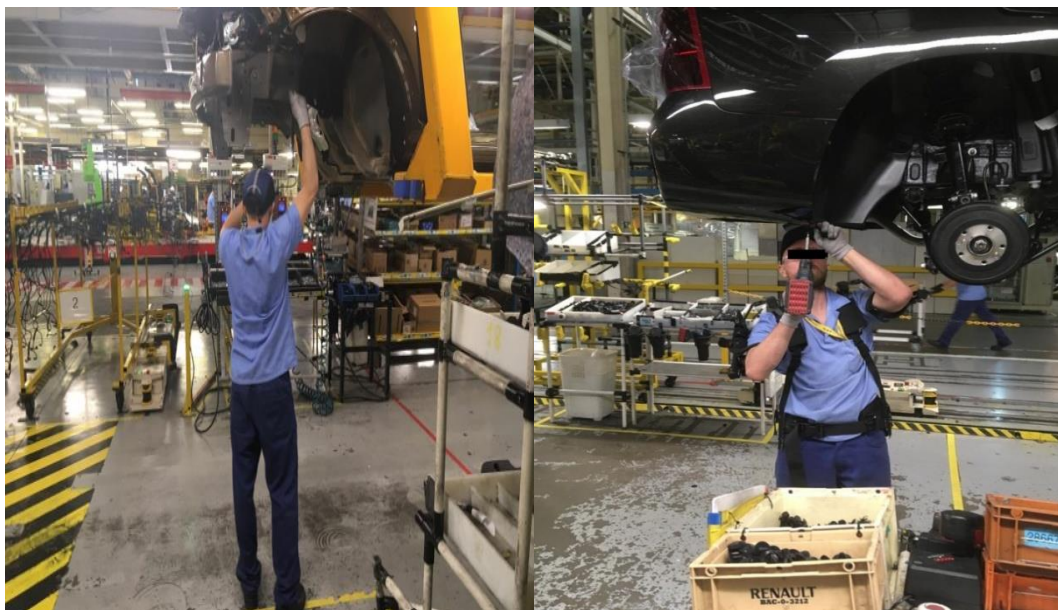


Figura3 - operador sem o uso do exoesqueleto Figura 4 - operador sem o uso do exoesqueleto

4.2.1 Escala de Impressão do Usuário

As questões de referência para esta escala podem ser consultadas no Anexo 2.

Tais questões foram respondidas em uma escala analógica visual com pontuação de 1 – 10 aonde 1 seria a pior impressão e 10 a melhor impressão. As respostas geraram uma média a qual será discutida mais adiante, conforme demonstrado no quadro 3.

Escala de impressão do Usuário											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1. Muito restrito							X				Nada restrito
2. Não suporta								X			Suporta muito
3. Interfere muito								X			Não interfere
4. Nada confortável					X						Muito confortável
5. Muito difícil								X			Nada difícil
Média											7,2

Fonte: Adaptado de Näf et al. (2018)

Quadro3-Escala de impressão do usuário, em forma de escala visual analógica em que “1” representa a pior impressão e “10” representa a melhor impressão

Apesar de obter-se uma média equivalente a 7,2, o que pode se considerar uma pontuação adequada para uma boa avaliação do posto de trabalho, o fator conforto chamou a atenção quanto a pontuação atribuída pelo operador, a qual foi de apenas 5 pontos. Tal resultado demonstra que o trabalhador não se sente bem adaptado ao dispositivo, esse pode ser um impeditivo ao uso voluntário e cotidiano. No dia seguinte a realização dos testes, o operador em questão relatou ainda um desconforto dolorido na região do trapézio.

Näf et al., (2018) em um estudo com exoesqueletos para suporte da região lombar também referiu o desconforto do usuário com algo preocupante no uso dessa tecnologia. Conclusão também relatada por Bosch (2016), o qual percebeu o desconforto na região de fixação da cinta no peitoral dos usuários de um exoesqueleto para região lombar, situação corroborada por De Looze (2016) em uma extensa revisão de exoesqueletos para uso industrial aponta o desconforto como uma barreira a ser quebrada, pois o aparelho precisa exercer pressão sobre regiões do corpo para poder gerar as alavancas mecânicas necessárias ao movimento. Devemos levar em conta que o equipamento testado tem um peso de 5,9kg, o qual, na visão da equipe, é considerado muito alto para um dispositivo ergonômico.

O ponto referente à restrição ao movimento obteve uma nota 7, e realmente o aparelho limita alguns movimentos e chega até mesmo a bloquear outros. O exoesqueleto utilizado na pesquisa tem como atuador um sistema de molas as quais dão sustentação ao movimento em um arco compreendido entre 58° e 122° de abdução ou flexão do ombro, os movimentos acima desse ângulo não possuem auxílio por parte do equipamento, e podemos observar inclusive, que este dificulta sua execução. Outro ponto de atenção são os movimentos de retorno do braço a posição paralela ao corpo, nos quais é preciso fazer força contra o conjunto de molas. Na estação de trabalho avaliada, alguns componentes precisam ser manuseados a uma altura aproximada da linha da cintura do operador, o que torna esse movimento difícil de ser realizado devido ao uso do exoesqueleto.

Quanto a carga de trabalho suportada a pontuação foi de 8 indicando que o aparelho cumpre a função proposta. Devido as condições de trabalho do posto em questão, como já comentado, movimentos acima da cabeça são constantes, mantendo os ombros em flexão por grande parte da jornada de trabalho. Ainda, algumas ferramentas como rebiteadeiras e parafusadeiras são utilizadas durante o processo. Através da pontuação específica para este quesito, pode-se dizer que o alívio da força dos ombros para evitar a fadiga durante o turno de trabalho e possíveis lesões decorrentes desse esforço foi um fator real devido a utilização do exoesqueleto, o qual é o principal objetivo do uso desse tipo de dispositivo.

Lamers (2017), demonstrou que o uso de um exoesqueleto passivo para a região lombar pode reduzir em até 43% a ativação dos músculos eretores da coluna, Spada (2017), relatou melhora na percepção da fadiga em 26 de 29 sujeitos investigados em testes estáticos e dinâmicos utilizando exoesqueletos para membros superiores. Nesse mesmo trabalho, Spada (2017), analisou a destreza e agilidade de uma operação simulada de selagem, e os participantes realizaram as tarefas com similaridade com e sem o uso do aparelho, porém com menor esforço.

Neste trabalho, os quesitos “interfere na atividade” e “quão fácil foi realizar a tarefa” foram pontuados com nota 8, demonstrando pontos positivos em relação ao uso do exoesqueleto. Embora os estudos discutidos tenham sido realizados em laboratório, os resultados estão de acordo com a presente pesquisa.

4.2.2 Critérios de Usabilidade de Jordan

Os critérios de usabilidade de Jordan (1993), adaptados em uma escala analógica visual de dez pontos, avaliaram os seguintes critérios: Coerência, Compatibilidade, Consideração das Habilidades do Usuário, Reação/Resposta, Prevenção de Erros e Recuperação, Controle do Usuário, Clareza Visual, Priorização da Funcionalidade e da Informação, Transferência Adequada de Tecnologia e Explicitação. A explicação completa em referente a todos os critérios pode ser consultada no Anexo 3.

Este questionário foi respondido tanto pelos especialistas quanto pelo sujeito da pesquisa, com o objetivo de confrontar os critérios apresentados em relação a visão de projeto de produto e a visão do usuário final.

A avaliação de pontuação foi muito boa tanto na visão dos avaliadores, media final 9.2, como na opinião do operador, media final de 9.0. Isso demonstra que o exoesqueleto estudado tem uma ótima usabilidade, os comandos são intuitivos e possíveis falhas são corretamente corrigidas em tempo hábil para não causarem prejuízos aos trabalhos. Os resultados estão expressos nos quadros 4 e 5.

ESPECIALISTAS - PROJETO	ESCALA DE IMPRESSÃO										
JORDAN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Coerência										X	10
Compatibilidade									X		9
Consideração das Habilidades do Usuário									X		9
Reação/Resposta										X	10
Prevenção de Erros e Recuperação										X	10
Controle do Usuário									X		9
Clareza Visual									X		9
Priorização da Funcionalidade e da Informação									X		9
Transferência Adequada de Tecnologia								X			8
Explicitação									X		9
											9.2

Fonte: Adaptado de Jordan (1993) e Borg (1998)

Quadro-4 escala de impressão dos avaliadores segundo os critérios de Jordan (1993) em forma de escala visual analógica em que “1” representa a pior impressão e “10” representa a melhor impressão

OPERADOR - SITUAÇÃO REAL	ESCALA DE IMPRESSÃO										
JORDAN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Coerência										X	10
Compatibilidade							X				7
Consideração das Habilidades do Usuário									X		9
Reação/Resposta								X			8
Prevenção de Erros e Recuperação									X		9
Controle do Usuário										X	10
Clareza Visual										X	10
Priorização da Funcionalidade e da Informação										X	10
Transferência Adequada de Tecnologia								X			8
Explicitação									X		9
											9

Fonte: Adaptado de Jordan (1993) e Borg (1998)

Quadro-5 escala de impressão do Operador segundo os critérios de Jordan (1993) em forma de escala visual analógica em que “1” representa a pior impressão e “10” representa a melhor impressão

Chama a atenção o item “transferência de tecnologia” que a pontuação foi ligeiramente abaixo da média em ambas as opiniões, talvez o uso de molas não seja a melhor opção para o dispositivo, essa observação se deve a dificuldade de realizar a adução do ombro quando esse está elevado, e o usuário deve aplicar uma força desnecessária para cumprir a tarefa.

5. Conclusão

O estudo demonstrou que o uso do exoesqueleto tem aplicação benéfica na linha de montagem de uma indústria automotiva, porém as considerações dos operadores devem ser levadas em conta, pois as impressões no laboratório são diferentes da realidade da fábrica. Nos testes mais curtos apenas os benefícios são percebidos, no entanto, após um período mais prolongado de uso em situações dinâmicas, o desconforto e as limitações de movimento impostas alertam quanto a necessidade de aprimoramento de design do equipamento testado, escolha adequada do posto de trabalho e tarefa executada.

6. Bibliografia

- ALI TAHA, SHERIF.** *Electromyographic Analysis of Selected Upper Extremity Muscles during Jump Throwing in Handball.* American Journal of Sports Science 3 (4):79. 2015.
- BORG, G.** *Perceived Exertion and Pain Scales.* Human kinect. 1998.
- BOSCH, T.; VAN ECK, J.; KNITEL, K.; DE LOOZE, M.** *The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work.* Applied ergonomics, 54, 212-217, 2017
- DIEFENTHAELER, FERNANDO.** *Atividade Eletromiográfica E Força Muscular De Membros Inferiores Durante O Ciclismo Até a Exaustão Em Atletas Competitivos.* Repositório digital UFRGS, 2009.
- DOLLAR, AARON M.; HUGH HERR.** *Lower Extremity Exoskeletons and Active Orthoses: Challenges and State-of-the-Art.* IEEE Transactions on Robotics 24 (1):144–58, 2008.
- EISINGER, DINA B.; RAJESWARI KUMAR.; RANDI WOODROW.** *Effect of Lumbar Orthotics on Trunk Muscle Strength.* American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation 75 (3):194–97, 1996.
- HARCOMBE, H.; G. P. HERBISON, D.; MCBRIDE, S.; DERRETT.** *Musculoskeletal Disorders among Nurses Compared with Two Other Occupational Groups.* Occupational Medicine (Oxford, England) 64 (8):601–607, 2014.
- JORDAN, P. W.** *An Introduction to Usability.* Londres: Taylor Andamp; Francis Ltda., 1998.
- LAMERS, ERIK P.; YANG, AARON J.; ZELIK, KARL E.** *Feasibility of a biomechanically-assistive garment to reduce low back loading during leaning and lifting.* IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2017.
- LOOZE, MICHIEL P. DE.; TIM BOSCH; FRANK KRAUSE; KONRAD S.; STADLER; LEONARD W. O’SULLIVAN.** *Exoskeletons for Industrial Application and Their Potential Effects on Physical Work Load.* Ergonomics 59 (5):671–81, 2016.
- MARTINEZ; FELIX; ARON PUJANA-ARRESE; IBAN RETOLAZA; IRANTZU SACRISTAN; JON BASURKO; JOSEBA LANDALUZE.** *IKO: A Five Actuated DoF Upper Limb Exoskeleton Oriented to Workplace Assistance.* Applied Bionics and Biomechanics 6 (2):143–55, 2009.
- MF, MINISTÉRIO DA FAZENDA; INSTITUTO NACIONAL DO SEGURO SOCIAL INSS; EMPRESA DE TECNOLOGIA E INFORMAÇÃO DA PREVIDENCIA SOCIAL DATAPREV.** *Anuário Estatístico Da Previdência Social 2016.* Anuário Estatístico Da Previdência Social, 934. 2016. <http://www.previdencia.gov.br/wp-content/uploads/2018/01/AEPS-2016.pdf>.
- MOONEY, LUKE M.; HUGH M. HERR.** *Biomechanical Walking Mechanisms Underlying the Metabolic Reduction Caused by an Autonomous Exoskeleton.* Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation 13 (1). Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation:1–12, 2016.
- NÄF, MATTHIAS B.; AXEL S. KOOPMAN; SASKIA BALTRUSCH; CARLOS RODRIGUEZ-GUERRERO; BRAM VANDERBORGHT; DIRK LEFEBER.** *Passive Back Support Exoskeleton Improves Range of Motion Using Flexible Beams.* Frontiers in Robotics and AI 5 (June):1–16, 2018.

SHAMAEI; KAMRAN; MASSIMO CENCIARINI; ALBERT A. ADAMS; KAREN N.; GREGORCZYK, JEFFREY M. SCHIFFMAN; AARON M. DOLLAR. *Design and Evaluation of a Quasi-Passive Knee Exoskeleton for Investigation of Motor Adaptation in Lower Extremity Joints*. IEEE Transactions on Biomedical Engineering 61 (6):1809–21, 2014.

SPADA, S.; GHIBAUDO, L.; GILOTTA, S.; GASTALDI, L.; CAVATORTA, M. P. *Investigation into the applicability of a passive upper-limb exoskeleton in automotive industry*. Procedia Manufacturing, 11, 1255-1262, 2017

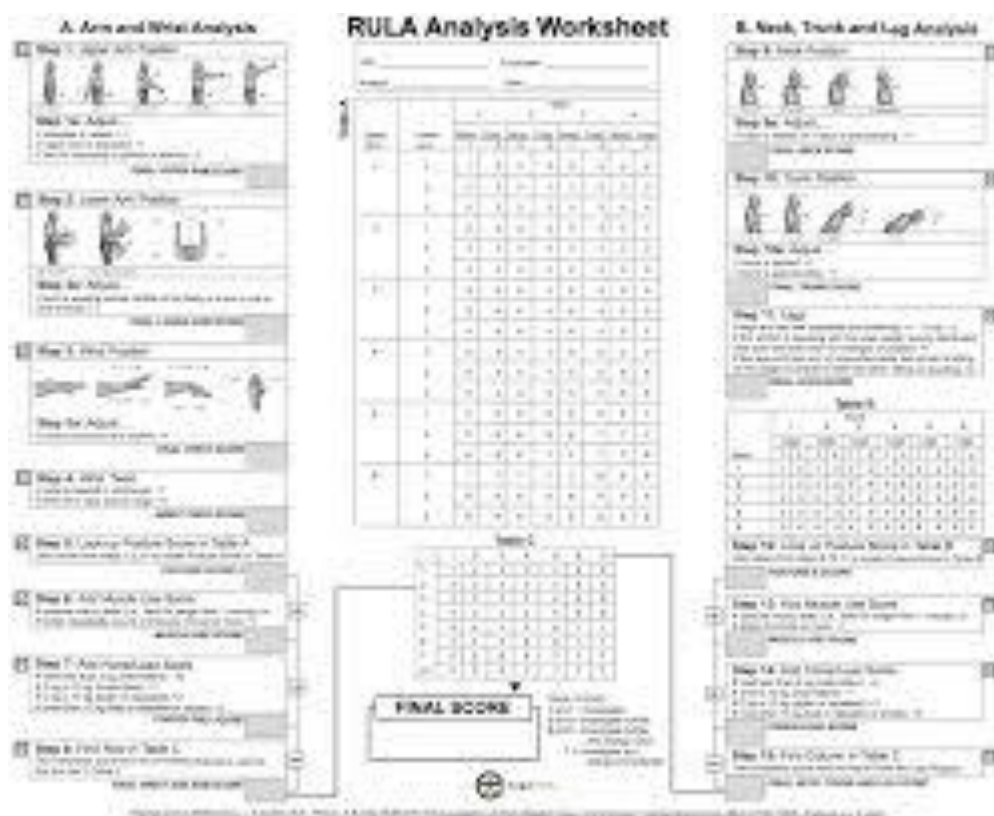
SPADA, STEFANIA. *Investigation into the applicability of a passive upper-limb exoskeleton in automotive industry*. Procedia Manufacturing, v. 11, p. 1255-1262, 2017.

YOUNG, A.J.; D.P. FERRIS. *State-of-the-Art and Future Directions for Robotic Lower Limb Robotic Exoskeletons*. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering 25 (2):171–82, 2017.

7. ANEXO

Anexo 1

Rula



The image shows a detailed RULA (Rapid Upper Limb Assessment) worksheet. It is divided into three main sections: A. Arm and Wrist Analysis, B. Neck, Trunk and Leg Analysis, and a central RULA Analysis Worksheet. Section A includes steps for assessing the arm, wrist, and hand, with diagrams and a table for recording scores. Section B includes steps for assessing the neck, trunk, and leg, also with diagrams and tables. The central worksheet is a large table for recording scores for each body part and a final score. The final score is calculated based on the scores from the three sections.

Anexo 2

Questionário de impressão do usuário.

Movimento.

1. Você sente restrita a sua liberdade de movimento com o dispositivo?

Nada restrito

0 1 3 4 5 6 7 8 9 10

Muito restrito

Carga.

2. O dispositivo suporta a carga da tarefa que você realizou?

Suporta muito

não suporta

	0	1	3	4	5	6	7	8	9	10
Interferência da atividade.										
3. O dispositivo interfere na tarefa realizada?										
Interfere muito										não interfere.
	0	1	3	4	5	6	7	8	9	10
Dificuldade da tarefa.										
4. Quanto difícil foi a tarefa realizada?										
Muito difícil.										Nada difícil.
	0	1	3	4	5	6	7	8	9	10
Conforto.										
5. Quanto confortável é usar o dispositivo?										
Muito confortável.										Nada confortável.
	0	1	3	4	5	6	7	8	9	10

Anexo 3.

Critérios de Jordan

Critérios ergonômicos de usabilidade apresentados por Jordan (1998)

- ☐ **Consistency (Coerência)** – Projetar um produto de maneira que tarefas similares sejam feitas de maneiras similares.
- ☐ **Compatibility (Compatibilidade)** – Projetar um produto de maneira que o método para operá-lo seja compatível com a expectativa do usuário baseado no conhecimento de outros tipos de produtos e do mundo real.
- ☐ **Consideration of user resources (Consideração das habilidades do usuário)** – Projetar um produto de maneira que se leve em conta a demanda das habilidades do usuário requeridas durante a interação.
- ☐ **Feedback (Reação/Resposta)** – Projetar um produto de maneira que as ações tomadas pelo usuário sejam reconhecidas e uma indicação significativa seja dada sobre os resultados dessas ações.
- ☐ **Error prevention and recovery (Prevenção de erro e recuperação)** – Projetar um produto de maneira que a probabilidade de erro seja minimizada e, então, se os erros realmente ocorrerem, que sejam recuperados de forma rápida e fácil.
- ☐ **User Control (Controle do usuário)** – Projetar um produto de maneira que o usuário tenha o máximo controle possível sobre as ações tomadas no produto.
- ☐ **Visual clarity (Clareza visual)** – Projetar um produto de maneira que a informação apresentada seja lida de forma rápida e fácil sem causar confusão.
- ☐ **Priorisation of functionality and information (Priorização da funcionalidade e da informação)** – Projetar um produto de maneira que a funcionalidade e a informação mais importantes sejam facilmente acessadas pelo usuário.
- ☐ **Appropriate transfer of technology (Transferência adequada de tecnologia)** – Projetar um produto de maneira que faça uso adequado de tecnologias desenvolvidas para outros contextos para aumentar a usabilidade do produto.
- ☐ **Explicitness (Explicitação)** – Projetar um produto de maneira que sejam dados indícios de como ele funciona e o método para operá-lo.