REVISTA DESIGN & TECNOLOGIA
ISSN: 2178-1974
2021, Vol. 11, No. 23
DOI 10.23972/det2021iss23pp56-71

PGDESIGN
www.pgdesign.ufrgs.br

Design e Tecnologia: Contribuições do uso do sistema de captura de movimentos por sensores inerciais (*Xsens*) no processo de desenvolvimento de projetos centrado no ser humano

Irandir I. Paulo[1]; Eugenio A. D. Merino[2]

[1] *Doutorando em Design; Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil*

[2] *Professor do Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil*

RESUMO

Contextualização: As tecnologias vêm se tornando cada vez mais presentes na vida dos seres humanos, com isso, surge a demanda para a atuação dos designers relacionada à interação usuário/tecnologia, como exemplo da análise do movimento humano. Face a isso, destaca-se o Sistema de Captura de Movimentos (MoCap) caracterizado como um conjunto de ferramentas capazes de mapear e reproduzir movimentos de objetos e/ou seres vivos dentro do espaço-tempo e representá-los digitalmente em 3D. Nesse cenário, o Design Centrado no ser Humano (DCH) vem se tornando fundamental para os projetos de Design, por meio do levantamento preciso de dados, em tempo e situação real, permitindo análises mais precisas sobre o ser humano e seu contexto de trabalho e vida. **Problemática:** A partir das buscas realizadas na literatura foi verificada a escassez referente aos estudos do uso do Sistema de Captura de Movimentos por sensores e inerciais associados à área do design e tecnologia. **Objetivo:** Diante disso, esta pesquisa teve como objetivo identificar mediante um estudo multicasos, as contribuições do uso do Sistema de Captura de Movimentos por sensores inerciais (*Xsens*) no processo de desenvolvimento de projetos de Design Centrado no ser Humano. **Procedimentos Metodológicos:** Para tanto, realizou-se uma pesquisa de natureza aplicada, objetivos exploratórios e descritivos, e abordagem qualitativa. A pesquisa foi dividida em duas fases: FASE 1 – Fundamentação teórica; FASE 2- Estudo multicasos. Quanto aos seus procedimentos técnicos, esta pesquisa foi compreendida como bibliográfica. **Resultados:** Como resultados, ficou verificado um grande potencial de aplicabilidade do Sistema de Captura de Movimentos por sensores inerciais (*Xsens*), sendo de possível aplicação dentro e fora do ambiente laboral. A possibilidade de uso como instrumento de auxílio no processo de desenvolvimento de projetos de Design (produtos, serviços e/ou ambientes) seguindo a abordagem de Design Centrado no ser Humano. Assim como sua contribuição para as análises e avaliações relacionadas ao sujeito e seu ambiente de trabalho permitindo a identificação de problemas associados à saúde e desenvolvimento de soluções de projetos.

PALAVRAS-CHAVE
Tecnologia;
Captura de Movimentos;
Xsens;
Design Centrado no ser Humano

Design and Technology: Contributions from the use of the motion capture system by inertial sensors (*Xsens*) in the human-centered project development process

ABSTRACT

Human movements have been studied by different areas, including medicine, sports science, engineering and design. In turn, the evolution of methods for measuring, storing and processing data has significantly contributed to the analysis of movement. As an example, the Motion Capture System (MoCap) stands out, characterized as a set of tools capable of mapping and reproducing movements of objects and/or living beings within space-time and digitally representing them in 3D. In this scenario, Human-Centered Design (HCD) has become increasingly essential for Design projects, through accurate data collection, in real time and situation, allowing deep and consistent analysis of the human being and his workplace. Problematic: However, many projects fail to disregard issues such as workflow, organizational change and human interaction in their context during the design, development and implementation stages. Objective: Therefore, this research aimed to identify, through a multi-case study, the contributions of the use of the Motion Capture System by Inertial Sensors (Xsens) in the process of developing Human-Centered Design projects. Methodological Procedures For that, an applied research, exploratory and descriptive objectives, and qualitative approach was carried out. The research was divided into two phases: PHASE 1 – Theoretical foundation; PHASE 2- Multicase study. As for its technical procedures, this research was understood as bibliographical. Results: As a result, it is verified a great applicability potential of the Motion Capture System by inertial sensors (Xsens), with possible application inside and outside the work environment. The possibility of using it as an aid tool in the process of developing Design projects (products, services and/or environments) following the Human-Centered Design approach is another striking factor. As well as its contribution to the analysis and evaluations related to the subject and his work environment, allowing the identification of problems associated with health and the development of project solutions.

KEYWORDS
Technology;
Motion Capture;
Xsens;
Human-Centered Design.

CONTATO: Irandir I. Paulo – *iranpitanga2020@gmail.com*

© 2021 – Revista Design & Tecnologia

1. INTRODUÇÃO

As tecnologias se fazem cada vez mais presentes no dia a dia dos seres humanos, ocasionando uma demanda para a atuação dos designers associada à interação usuário/tecnologia (PASCHOARELLI, et al., 2017). Sua utilização envolve níveis estratégicos, táticos e operacionais, podendo assim, reduzir o impacto global da crise (FERREIRA; PENA, 2020).

De acordo com Paschoarelli et al., (2017) o desenvolvimento da tecnologia se tornou um dos objetos de análises mais discutidos de todos os tempos, principalmente, devido às influências sobre o modo de vida e as características culturais em todo o mundo.

Desse modo, a tecnologia tem gerado um estreitamento entre os usuários (modo como participam) e o conteúdo (modo como é desenvolvido), com isso, diversas oportunidades surgem para o design, desde a entrega até a gestão desses sistemas integrados a pessoas, produtos, serviços e experiências (BEST, 2012).

Diante desse cenário, Merino et al. (2016) ressaltam a importância de introduzir nas pesquisas de Design, tecnologias que auxiliem no levantamento de dados objetivos sobre as capacidades físicas do usuário, permitindo a identificação das sobrecargas biomecânicas e auxiliando na aproximação do projetista com as necessidades reais do usuário.

Desta forma, pesquisas associadas à postura, ergonomia e movimentos do ser humano estão cada vez mais presentes no desenvolvimento de produtos, serviços e ambientes, visando sanar as necessidades do usuário e, particularmente, os conceitos de segurança, usabilidade e conforto (PATRIZI; PENNESTRÍ; VALENTINI, 2016).

Nesse sentido, o processo de Captura de Movimentos humanos evoluiu e possui mais recursos que permitem uma maior agilidade e fidelidade ao processo no todo, como exemplo dos sensores inerciais, que possibilitam a realização da Captura dos Movimentos humanos, sem a necessidade de uma infraestrutura específica para o ambiente externo, viabilizando assim, a aplicação e mensuração de dados em qualquer ambiente (WOUDA et al., 2016). Ainda os autores, descrevem que o Sistema de Captura de Movimentos (MoCap) apresenta como benefícios, a redução de custos no desenvolvimento de projetos, a velocidade de obtenção e precisão dos dados.

Assim, cabe ressaltar, que a evolução dos métodos de mensuração, armazenamento e processamento de dados contribui de maneira significativa para a análise do movimento (SILVA, 2015). Face a isso, dentre as metodologias de Design aplicadas e estudadas, no âmbito acadêmico e nas organizações, a exemplo do *Design Thinking* e o Design Centrado no Usuário, o enfoque tem sido dado ao ser humano, fator chave no processo de desenvolvimento de projetos (CHAVES; BITTENCOURT; TARALLI, 2013).

Considerando a escassez de estudos existentes na área do design e tecnologia que apresentem uma relação com o Sistema de Captura de Movimentos por sensores inerciais, a pergunta desta pesquisa definiu-se em **Como o Sistema de Captura de Movimentos por sensores inerciais (*Xsens*) pode auxiliar no processo de desenvolvimento de projetos de Design Centrado no ser Humano (DCH)?**

Consoante a isso, esta pesquisa tem como objetivo identificar mediante um estudo multicasos, as contribuições do uso do Sistema de Captura de Movimentos por sensores inerciais (*Xsens*) no processo de desenvolvimento de projetos de Design Centrado no ser Humano.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir serão apresentados os principais temas que fundamentaram e colaboraram para o desenvolvimento desta pesquisa.

2.1 Design e Tecnologia

O design compreende tanto a maneira como as coisas são percebidas e sentidas, quanto a forma como funcionam (BEST, 2012). Para Best (2012, p.14) "potencializar o impacto do design exige conhecer as áreas que passam atualmente por mudanças – áreas como tecnologia, finanças e legislação – e, por conseguinte, adotar novos processos".

De acordo com Betz, et al. (2001) a tecnologia precisa ser gerenciada, criando estratégias e planejamentos tecnológicos, contribuindo para a pesquisa, o desenvolvimento e inovação, por meio de produtos, processos e serviços benéficos à melhoria de vida das pessoas.

Neste contexto, Lorenzetti, et al. (2002), apresentam a tecnologia como uma forma de desdobramento de produtos/objetos materiais (como produtos para satisfazer determinadas necessidades) e em objetos imateriais (processos de trabalho, conhecimentos adquiridos para a geração e desenvolvimento de produtos e inclusive para a organização das ações humanas nos processos produtivos), incluindo as tecnologias de relações de trabalho.

De acordo com Marras et al. (2010) a tecnologia possibilita localizar dados de forma constante sem interferência na rotina de um trabalhador, permitindo a obtenção de dados confiáveis. Um agente transformador do cenário competitivo é a constante evolução tecnológica que, devido os seus atributos e sua grande disseminação atingiu de forma significativa as atividades humanas, aumentando o nível de incertezas e contingências (TEÓFILO; DE FREITAS, 2007).

Cabe ressaltar que, a utilização de tecnologias computacionais em projetos de ambientes produtivos, diminui o tempo do procedimento do projeto e assim o custo relacionado ao mesmo. Outra vantagem é a possibilidade de redução de erros, isto acontece, pois, um dos principais benefícios da utilização de equipamentos computacionais é a heterogeneidade de fatores (informações, em um alto nível de detalhe) que os mesmos consideram (BRAATZ, et al., 2007).

Para Ferreira e Pena (2020, p.3) "[...] a tecnologia tem sido utilizada largamente nos mecanismos estratégicos, táticos e operacionais, visando reduzir o impacto global da crise".

2.2 Captura de Movimentos

Analisar o movimento humano se tornou mais ágil, devido à disponibilidade de diversos sistemas de captura de movimentos. O rastreamento por meio de sensores inerciais, por exemplo, trouxe a possibilidade de capturar o movimento humano sem a necessidade de ter uma infraestrutura (um ambiente projetado e montado especificamente para a captura) facilitando, portanto, mensurações em qualquer ambiente (WOUDA et al., 2016).

A medição dos movimentos humanos tem sido fonte de estudo de diversas áreas relacionadas com a medicina, ciência do esporte e engenharia biomédica, por exemplo, (KOPNIAK, 2015). O Sistema de Captura de Movimentos ou *MoCap* como também é conhecido, trata-se de um conjunto de ferramentas utilizado no mapeamento e reprodução dos movimentos de objetos ou seres vivos no espaço-tempo e que são refletidos para um ambiente digital (GOMIDE et al., 2009; GOMÉZ ECHEVERRY et al., 2018).

Ainda convém destacar, que esses Sistemas de Captura de Movimentos são compostos por um *hardware* específico e um *software* característico para a leitura e tratamento dos dados gravados. Dentre suas principais aplicações estão os estudos para otimização do desempenho esportivo, a realização das análises ortopédicas ou verificação do processo de reabilitação (na medicina) e a produção de filmes e jogos (em animação 3D) (KOPNIAK, 2015).

Desta forma, o *MoCap* possibilita a captura de movimento, com base em coordenadas contínuas e angulares, velocidades e acelerações de segmentos e articulações, sendo rigorosamente dependente da tecnologia de captura de movimento (com marcador ou sem marcador). Neste contexto, Tonin et al. (2015) destacam que os sensores utilizados para o sistema de captura de movimento podem ser apresentados em diferentes categorias, sendo elas: (I) inerciais, (II) mecânicos, (III) ópticos, (IV) magnéticos, (V) *markerless* – sem marcadores e os (VI) acústicos (ARAÚJO, 2015). O Quadro 1 apresenta uma síntese de funcionamento de cada tecnologia e suas vantagens e desvantagens, esse quadro foi resultado dos estudos realizados por Ramón, Candelas e Medina (2007) e Tonin et al. (2015), como complemento e atualização do mesmo foi acrescido a tecnologia de "sensores acústicos"; apontada por Araújo (2015).

Quadro 1 Tipos, vantagens e desvantagens dos Sistemas MoCap. Fonte: Adaptado de Ramón, Candelas e Medina (2007).

TECNOLOGIA	FUNCIONAMENTO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Mecânica	Variação de voltagem de potenciômetro em estrutura mecânica.	Robustez; Precisão; Latência baixa.	Incômodo para o corpo de captura; Medidas relativas.
Magnética	Variação de campo magnético medido em receptores.	Medidas absolutas, precisas; Sem oclusão.	Erros devido à distorção magnética.
Inercial	Integração da velocidade angular de giroscópios.	Precisão, sem oclusão; Sensores pequenos.	Medidas relativas; Acúmulo de erros.
Óptica	Triangulação de marcadores em imagens capturadas por câmeras.	Medidas absolutas, precisas.	Oclusões; Infraestrutura complexa; Necessidade de calibração.
Markerless	Rastreamento de silhueta do corpo de captura.	Sem marcadores; Trajes casuais.	Baixa precisão; Tecnologia pouco aprimorada.
Acústica	Conjunto de emissores sonoros colocados nas principais articulações e três receptores sensores são posicionados no local de captura, assim uma triangulação das distâncias deles é feita em relação aos três receptores.	Sem oclusão; Sem interferência por objetos metálicos.	Reflexões do som emitido pelos transmissores; Ruídos externos; Incômodos dos cabos; Número limitado de transmissores.

De acordo com Sônego e Cliquet Júnior (2006) a progressão das técnicas de mensuração, armazenagem e tratamento de dados, contribuiu significativamente para o estudo do movimento humano. Seguindo a mesma linha de pensamento, Szczesna et al. (2017) ressaltam que as aferições remotas dos seres humanos, podem proporcionar melhorias das condições de saúde geral e qualidade de vida dos mesmos, auxiliando por exemplo, no processo de reabilitação de pacientes e desenvolvimento de produtos confortáveis.

Chen, Kuang e Li (2016) acrescem que a captura de movimento possui seu campo de aplicação multidisciplinar apresentando a influência da tecnologia para diversas áreas. Além disso, possibilitou acesso de pesquisa na interação humano - computador, passando pelo desenvolvimento de filmes e televisão, bem como no controle de robôs, jogos interativos, treinamento esportivo, reabilitação médica, entre outros campos. Ainda os autores, explicam que o sistema de movimento do corpo do ser humano define-se basicamente por meio da localização das articulações que unem os ossos, refletindo principalmente no movimento entre as transformações ósseas e o deslocamento referente ao espaço.

Logo, a captura de movimento humano fundamentada em sensores de movimento atinge dados precisos, considerando dois parâmetros específicos, sendo eles: ângulo de movimento articular e o deslocamento central, onde os sensores coletam movimentos originais efetuados em tempo real.

A amplitude do campo da análise do movimento humano, como já mencionado anteriormente, engloba diferentes áreas que vêm compartilhando de dispositivos e métodos tecnológicos.Na agroindústria por exemplo, seus conhecimentos têm sido aplicados na identificação dos fatores de riscos relacionados à postura e movimentos dos trabalhadores durante a execução de suas atividades diárias, assim como no auxílio do desenvolvimento de ferramentas (CUNHA et al, 2015; TAKAYAMA; MERINO; MERINO, 2015); no setor de serviços os pesquisadores (fisioterapeutas, designers, engenheiros, dentre outros) utilizam a análise do movimento humano para a avaliação dos riscos de distúrbios musculoesqueléticos associados ao trabalho (SILVA et al., 2020).

Conforme Moeslund et al. (2006) as aplicações dessa tecnologia dividem-se em três partes, sendo estas: monitoramento - quando um ou mais objetos são rastreados e monitorados no decorrer de um determinado tempo; controle - relacionado à criação de interfaces digitais (jogos, ambientes virtuais e para fazer animação) e análise - que envolve o detalhamento dos movimentos sob uma visão clínica, possibilitando a realização de diagnósticos de pacientes e/ou melhorias na performance de atletas. Por fim, é importante salientar que esta pesquisa se concentrou no estudo e investigação acerca do sistema de captura de movimentos por sensores inerciais, especificamente o equipamento MVN *Link Biomech* da empresa *Xsens* , que será apresentado a seguir.

2.3 Sistema de Captura de Movimentos por sensores inerciais (*Xsens*)

Os sensores inerciais MVN *Link Biomech* da *Xsens*, utilizados na captura dos movimentos são organizados em unidades de medida inercial/IMUs, isto é, modelos biomecânicos e algoritmos de união de sensores (ROETENBERG; LUINGE; SLYCKE, 2013). Esses aparelhos de aferição de ângulo proporcionam dados angulares a algoritmos cinemáticos utilizados para estabelecer a postura corporal (ROETENBERG, 2006). A Figura 1 ilustra o funcionamento do Sistema de Captura de Movimento por sensores inerciais (*Xsens*).



Figura 1 Estrutura do Sistema de Captura de Movimentos por sensores inerciais (*Xsens*). Fonte: Elaborado pelos autores com base em *Xsens* (2012).

Segundo Forcelini, Varnier e Merino (2018), a tecnologia de captura de movimento por sensores inerciais pode ser utilizada como auxílio por pesquisadores, uma vez que, possibilita uma mensuração precisa da biomecânica e oportunidade de identificação dos fatores de riscos associados aos sujeitos. Os autores ainda relatam que os dados obtidos contribuem para o processo projetual, como o desenvolvimento e a avaliação de produtos e atividades, bem como, na análise das interações entre usuário e produto/ambiente.

Face a isso, cabe ressaltar que esse sistema permite a análise individual dos movimentos articulares humanos dos eixos de rotação e posição. Garantindo a visualização e registro em tempo real do movimento em 3D do sujeito, replicando os dados cinemáticos gravados do modelo biomecânico com 23 segmentos corporais e 22 articulações, incluindo o centro de massa (LONGHI, 2014, *XSENS*, 2012). Para isso, o equipamento

MVN *Link,* utiliza 17 sensores inerciais para o rastreamento e posicionamento do sujeito, em uma proporção de 120 frames por segundo (120 Hz) de forma eficiente e precisa (ROENTENBERG; LUINGE; SLYCKE, 2013), como mostra a Figura 2.

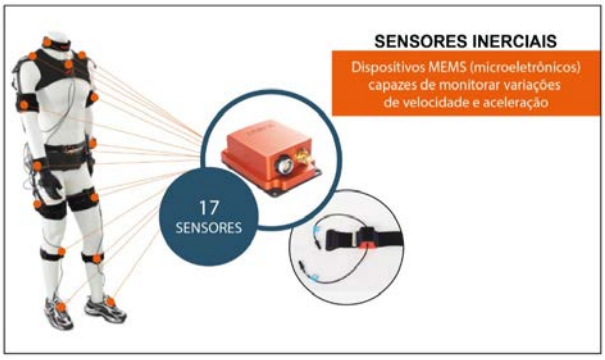


Figura 1 Equipamento montado em manequim com destaque nos 17 sensores. Fonte: Elaborado pelos autores com base em *Xsens* (2012).

Os rastreadores de movimento também conhecidos como (*Motion Tracker*) MTx e MTx-L, considerados unidades de medição inercial em miniatura, possuem acelerômetros, giroscópios e magnetômetros 3D, que devem ser posicionados em locais específicos do corpo por faixas (*Straps*) ou introduzidos dentro da roupa de lycra específica (MVN lycra Suit) (LONGHI, 2014; *XSENS*, 2012). Os MTx são usados na pelve, esterno (peito) e extremidades: mãos, pés e cabeça; os MTx-L são usados nos membros superiores e inferiores – braços, pernas e ombros, de modo que possam registrar os movimentos de cada segmento corporal nas coordenadas X (antero-posterior), Y (vertical) e Z (latero-lateral).

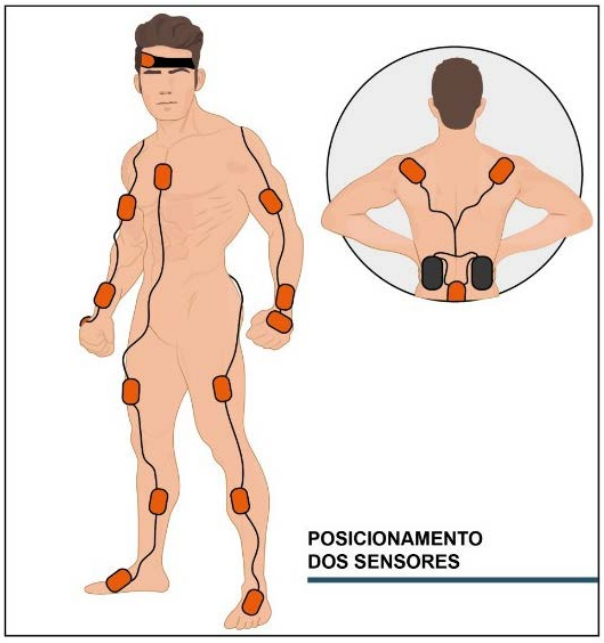


Figura 3 Posicionamento dos sensores inerciais. Fonte: Elaborado pelos autores com base em *Xsens* (2012).

Quanto à comunicação entre as centrais inerciais e o computador esta ocorre diretamente dos *Xbus Masters* (Baterias), por meio de antenas *Wireless* (Wireless Receiver - WR-A) com alcance em ambientes abertos de até 150 metros, e em ambientes fechados de 50 metros (*XSENS*, 2012). Os acelerômetros são usados para definir a velocidade e a posição do objeto/sujeito capturado referente a um ponto específico relativo, comumente utiliza-se a Terra como referência. Já os giroscópios são empregados para determinar o ângulo e orientação dos objetos /sujeitos, se assimilados por determinado período de tempo, gera mudança de ângulo referente ao ângulo conhecido a princípio (CARVALHO, 2011; ROETENBERG, 2006).

Assim, sua aplicação ajustada a um *software* (MVN) de simulação possibilita vantagens durante o desenvolvimento de projetos, uma vez que permite a análise constante do movimento apresentando dados precisos dos segmentos e articulações corporais (*XSENS*, 2012; SPECK et al., 2016; VARNIER, 2019).

Os sensores possuem uma conexão em série o *Xbus Masters*, o que representa a existência de apenas um cabo expandindo-se a cada membro. *O Xbus Masters* atua na sincronização de todas as amostragens dos sensores, concede energia aos sensores e trabalha com a comunicação sem fio com o PC ou notebook. O peso total do sistema é de 1,9 kg (incluindo 8 pilhas AA). Os sensores podem ser utilizados nos pés, pernas, pelve, ombros, esterno, cabeça, testa, braços e mãos (como mostra a Figura 3) (*XSENS*, 2012; SPECK et al., 2016).

Com base no exposto acima se faz necessário, o aprofundamento do conhecimento relacionado aos sensores inerciais (Figura 4), visando uma melhor compreensão sobre sua composição e seu funcionamento.



Figura 4 Sensores inerciais MENS. Fonte: Elaborado pelos autores com base em *Xsens* (2012).

O que são sensores inerciais e como eles funcionam?

No que se refere à inércia esta pode ser definida como "a propriedade que os objetos têm de opor resistência à aceleração" (SILVA, 2020). Os sensores inerciais MEMS medem somente alguns mm quadrados, e apresentam como vantagens, o peso, resistência ao impacto, consumo de energia e principalmente o custo reduzido de produção (ROMENING et al., 2003).

O que são acelerômetros inerciais MENS e como eles funcionam?

Estes são compostos por um sistema de mola de massa, que existe no vácuo. Desta forma, a aceleração gerada no acelerômetro resulta na locomoção da massa no sistema de molas. Essa locomoção da massa precisa do sistema mola-massa, por isso, necessita de uma calibração (PEREIRA, 2016).

O que são giroscópios inerciais MENS e como eles funcionam?

São sensores que permitem medir a velocidade de rotação de um objeto em torno de um eixo denominado de velocidade angular (PEREIRA, 2016).

2.5 Software MVN Studio PRO

O *Software* MVN é disponibilizado com um pacote, o MVN *Studio* responsável pelo controle do sistema. Cabe ressaltar que podem ser encontradas duas versões do MVN *Studio*, o MVN *Studio Standard* e o MVN Studio PRO (esta foi a versão utilizada nesta pesquisa). Contudo, são ofertados outros pacotes de *Software*s adicionais, com a finalidade de atender às demandas especificas dos usuários (*XSENS*, 2012).

Esse *Software* é utilizado de forma ágil e permite a visualização e gravação dos movimentos humanos em tempo real. Uma vez que foi desenvolvido para um fluxo ideal relacionado às etapas de gravação e análise do movimento (*XSENS*, 2012). Desse modo, para uma melhor compreensão, a Figura 5 apresenta a barra de ferramentas que é exibida na interface do MVN Studio PRO, uma vez que, esta possibilita o acesso de muitas das funções do *Software*.



Figura 5 Barra de ferramentas da interface do Software MVN Studio PRO. Fonte: Elaborado pelos autores com base em *Xsens* (2012).

Este *Software* proporciona uma ampla gama de dados. Desta forma, por meio do fluxo de rede do MVN *Studio* PRO, é possível obter a cada frame, dados relacionados à posição e orientação de 23 segmentos do corpo, uma taxa de 120 Hz. Face a isso, é importante salientar que o MVN Studio PRO apresenta uma série de procedimentos necessários para que seja realizado o processo de captura dos movimentos, a iniciar pela fixação dos sensores inerciais ao corpo do usuário e a ligação dos cabos de captura, considerado como um procedimento que exige muita atenção e cuidado, para que se obtenha precisão na captura dos movimentos (*XSENS*, 2012).

Após isso, acontece o levantamento das informações e configurações dos usuários *(Suit)* dentro do *Software* para dar início ao processo de captura de movimentos, na qual são definidos: **(1) Quantidade de *Suits***: cada *suit* é constituído por 17 marcadores, que representa o número de usuários que serão capturados os movimentos; **(2) Taxa de amostragem:** nesta ocorre a transmissão do posicionamento dos sensores para a visualização por meio do *software* no computador; **(3) Configuração do *suit*:** seleção da estrutura e composição do avatar que reproduz os movimentos capturados; **(4) Cenário:** apresenta a configuração da cinemática reproduzida pelo avatar, disponíveis nas formas padrão, com a pélvis fixa e de piso flexível; **(5) Modo de utilização dos magnetômetros:** são definidas as formas de utilização dos magnetômetros durante a captura para a diminuição dos desvios *(drift),* sendo estes: *Kinematic Coupling Algorithm (KIC),* que desconsidera os dados dos membros inferiores (coxas, pernas e pés), durante a movimentação do corpo de captura, e são usados quando não ocorrem movimentos; *KIC* sem os magnetômetros, realiza a desativação deste durante todo o tempo de captura e o XKF-3, este utiliza os magnetômetros e o filtro de Kalman para determinar a orientação dos membros inferiores (*XSENS*, 2012).

Em seguida acontece a realização da configuração do usuário (*setup do suit*) que tem como finalidade alinhar o corpo de captura com o avatar (Figura 6) do MVN Studio PRO. Neste passo são definidas as medidas antropométricas (altura, comprimento do pé, envergadura, altura do tornozelo até o chão, altura do quadril até o chão, largura do quadril, altura do joelho até o chão, largura do corpo na altura dos ombros e altura da sola do alçado) essas medidas são utilizadas na calibração do software. É realizada também a configuração das distâncias entre os sensores e os pontos anatômicos (Upper Leg MTx to GT- medida do sensor da coxa até o quadril, Lower Leg MTx to FEM- medida do sensor da canela até o joelho; Foot MTx to MM- medida do tornozelo até o sensor do pé) estes servem de referências para a utilização dos magnetômetros.

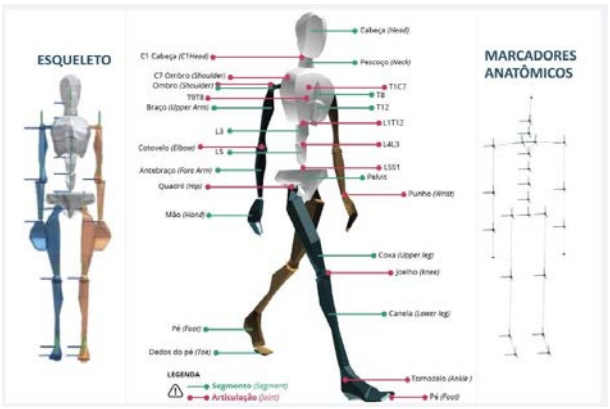


Figura 6 Corpo do avatar do gerado pelo software MVN Studio PRO. Fonte: Fonte: Elaborado pelos autores com base em *Xsens* (2012) e Varnier (2019).

Por fim, é realizada a calibração. Segundo o *Xsens* (2012) esta etapa é importante para garantir a obtenção de dados precisos. É onde acontece o alinhamento dos sensores inerciais e os segmentos responsáveis pela realização dos movimentos. Esse procedimento deve ser realizado em um ambiente sem interferência eletromagnética, uma vez que, a existência de objetos ferromagnéticos pode interferir e distorcer o campo magnético. Desta forma, essas interferências são visualizadas por meio de arcos em volta das mãos, pélvis e pés do avatar. Apresentados nas cores, verde (sem interferência), amarela (pouca interferência) e vermelha (muita interferência). Têm-se como possibilidades também a aplicação dos núcleos de ferrite (colocados em volta dos cabos das baterias contra as interferências eletromagnéticas), e a utilização do uso de modo de fusão de sensores *KIC- Kinematic Coupling Algorithm* (*XSENS*, 2012). Com o ambiente de coleta adequado (sem interferência eletromagnética) realiza-se a calibração com as quatro posições: Npose ou Tpose (calibrações estáticas) e, *Squat* e *Hand Touch* (calibrações dinâmicas), como mostra a Figura 7.



Figura 7 As quatro posições de calibração do MVN Studio PRO. Fonte: Elaborado pelos autores com base em *Xsens* (2012) e Varnier (2019).

Desta forma, cabe ressaltar que tão importante quanto o *software* MVN Studio PRO na realização da captura de movimentos por sensores inerciais (*Xsens*) são os usuários e a compreensão de suas características, para que sejam obtidos dados precisos e confiáveis (PAULO, 2021).

2.6 Design Centrado no ser Humano

O Design Centrado no ser Humano (DCH), ou *Human Centered Design* (HCD), pode ser compreendido como um processo baseado nas necessidades dos sujeitos mais afetados (VECHAKUL; SHRIMALI; SANDHU, 2015). Para Steen (2011), as pessoas são as verdadeiras condutoras do DCH. Assim, um fator relevante é a multidisciplinaridade referente aos profissionais envolvidos, uma vez que estes interagem com os usuários em

potencial por meio de suas experiências, compartilhando ideias e o conhecimento para o processo de inovação, identificando problemas e propondo soluções.

Estes projetos consideram por sua vez, o contexto de uso (ambiente onde o sistema será usado) com foco específico em tornar os determinados sistemas utilizáveis. Podendo ser considerado como uma atividade multidisciplinar que envolve os fatores humanos e fundamentos e métodos da ergonomia, objetivando aumentar a eficácia, segurança e satisfação dos usuários, melhorando a produtividade e as condições de trabalho (ISO 13407, 1999).

De acordo com Van Pelt e Hey (2011) o DCH apresenta aspectos relevantes e singulares que se sobressaem quando comparados com outras metodologias, conforme pode ser observado na Figura 8.

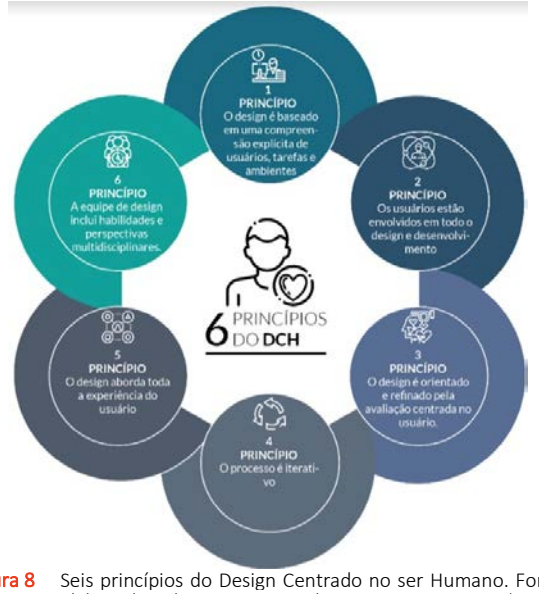


Figura 8 Seis princípios do Design Centrado no ser Humano. Fonte: Elaborado pelos autores com base na ISO 9241-210 (2011).

O DCH está fundamentado sob o uso de técnicas que comunicam, interagem, empatizam e instigam as pessoas envolvidas, buscando o conhecimento de suas reais necessidades, anseios e experiências que, normalmente ultrapassam suas próprias percepções (GIACOMIN, 2012).

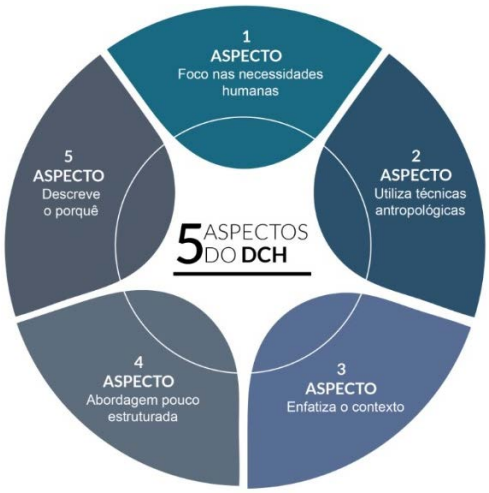


Figura 9 Os cinco aspectos do Design Centrado no ser Humano. Fonte: Elaborado pelos autores com base em Van Pelt e Hey (2011).

Segundo a *World Design Organization – WDO* (2021), os designers colocam o ser humano como centro do processo, adquirindo uma comprensão aprofundada das necessidades do usuário de forma empática, utilizando soluções pragmáticas e centradas no usuário para o desenvolvimento de produtos, sistemas, serviços e experiências . De acordo com Gasson (2003), para responder aos aspectos da abordagem centrada no ser humano, uma das possibilidades seria definir o problema conjuntamente com a solução.

De acordo com a ISO 9241-210, quaisquer que sejam os processos de design e atribuições de encargos e papéis adotados, para atender a uma abordagem centrada no ser humano, devem ser considerados os seguintes princípios, apresentados na Figura 9.

3. METODOLOGIA

Esta pesquisa caracteriza-se como de natureza aplicada, sob uma abordagem qualitativa, objetivos exploratórios e descritivos. Compreendida quanto aos seus procedimentos técnicos como, bibliográfica (SILVA; MENEZES, 2005).

3.1 Procedimentos e técnicas

Para o seu desenvolvimento esta pesquisa foi dividida em duas fases: Fase1 – Fundamentação Teórica e Fase 2- Estudo Multicasos.

A Fase 1, compreendeu a elaboração da base teórica da pesquisa, tendo como finalidade, a obtenção do conhecimento e aprofundamento sobre os referentes temas de estudo: Design, Tecnologia, Captura de Movimentos, Sistema de Captura de Movimentos por sensores inerciais (*Xsens*), Software MVN Studio PRO, e o Design Centrado no ser Humano.

Para isso, foram realizadas buscas nas bases de dados nacionais e internacionais, como:

- **Artigos científicos:** em bases de dados como, Portal de Periódicos CAPES, *Scopus*, *Web Of Science*, *Science Direct, Scielo* e base de dados da área da saúde PubMed.
- **Teses e dissertações:** no Catálogo de Teses e Dissertações da Capes, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e (*Dissertations & Theses* (ProQuest).
- **Livros:** disponíveis na Biblioteca Universitária da UFSC, acervo do NGD-LDU e acervo pessoal físico e digital;
- ***Homepage:*** em *websites* sobre os temas de interesse e no site da empresa fabricante do equipamento (*Xsens*) utilizado neste estudo.

A Fase 2, se deu por meio de um estudo multicasos, onde foram apresentados três casos selecionados para esta pesquisa, divididos de acordo com os seguintes setores: agricultura familiar; serviços e o setor automotivo. Com isso, para uma melhor organização e compreensão, esta fase foi dividida em cinco etapas, que corresponderam a:

- **Etapa 1** – Critérios de seleção dos casos;
- **Etapa 2** – Apresentação e descrição dos casos;
- **Etapa 3** – Caracterização dos sujeitos participantes da pesquisa;
- **Etapa 4** – Procedimentos de coleta adotados;
- **Etapa 5** – Análises e conclusões dos casos.

A seguir é apresentado o detalhamento de cada uma dessas etapas.

Etapa 1 – Critérios de seleção dos casos

Nesta etapa foram definidos os critérios de seleção, considerando as informações apresentadas na fase anterior, sendo estes:

I. **Equipamento disponível:** o equipamento deve estar disponível;
II. **Estudos realizados pelo NGD-LDU em situações reais:** estudos desenvolvidos pelo NGD-LDU em situação real com acervo e acesso as informações.
III. **Localização:** organizações localizadas no estado de Santa Catarina, com viabilidade de visitação e acesso.
IV. **Facilidade de contato:** organizações com vínculos junto a UFSC e/ou NGD-LDU.
V. **Setores:** as organizações devem representar ao menos três setores: automotivo, agricultura e serviços.

Etapa 2 – Apresentação e descrição dos casos

Nesta etapa será feita a apresentação e descrição dos casos que atenderam aos critérios selecionados, sendo estes:

I. **Histórico:** caracterização das organizações;
II. **Setor**: atuação das organizações;
III. **Problemática/oportunidade:** problema e/ou oportunidade do estudo;
IV. **Objetivo da utilização do *Xsens*:** objetivo e contexto de aplicação.

Cabe ressaltar que o levantamento dessas informações se deu a partir dos trabalhos encontrados na literatura (artigos científicos, teses e dissertações), visitas a campo, observações assistemáticas e consultas realizadas no acervo pessoal de dados do NGD-LDU.

Desta forma, na Cooper Rio Novo (caso 1): foi realizada uma análise da frequência de movimento, amplitude articular e tempo de finalização da tarefa de despencamento (corte e remoção dos cachos do engaço central) dos cachos de bananas, a fim de identificar o risco de lesões musculoesqueléticas nos membros superiores e na coluna cervical dos trabalhadores. Vale ressaltar que a ferramenta utilizada para a realização desta tarefa é uma faca comum, uma faca curva ou até mesmo uma espátula.

Na equipe UFSC Baja SAE (caso 2): foi realizada uma avaliação sobre o posicionamento do piloto dentro do veículo. Para isto, o piloto manteve seus pés sobre o acelerador (pé direito) e freios (pé esquerdo) e suas mãos postas ao volante. Foi feita também uma análise estrutural do veículo e identificação de riscos relacionados à postura do piloto. Sendo analisados os ângulos das articulações e segmentos dos joelhos, tornozelos, quadris, C7-T1, ombros e antebraços do piloto durante a pilotagem do veículo.

No que se refere ao caso 3, empresa de entrega de encomendas, foi realizada uma avaliação sobre os riscos de doenças Osteomusculares associados à execução da atividade de processamento de encomendas para a entrega. Participaram da avaliação três sujeitos de percentis 5, 50 e 95, sendo analisadas as amplitudes das articulações e o tempo gasto na execução das atividades sob uma frequência de 120 Hz, onde os registros de captura tiveram tempo estimado de 30 segundos.

Destaca-se que durante todo o processo de realização das coletas, houve a participação de uma equipe multidisciplinar composta por designers, engenheiros (biomédico e de segurança do trabalho) e um fisioterapeuta. Quanto a análise dos movimentos, esta ocorreu por meio da medição da flexão e extensão dos ombros bilateralmente, da flexão anterior cervical, especificamente. No segmento C7-T1 e flexão anterior da região lombar, no segmento L5-S1. Para a leitura e interpretação dos resultados obtidos, estes foram separados de acordo com cada articulação e segmento do corpo.

Etapa 3 – Caracterização dos sujeitos participantes dos casos

Esta etapa, caracterizou os sujeitos participantes de cada caso a partir de informações de idade, gênero/sexo, altura, lateralidade e tempo de trabalho na organização. A definição para a escolha de quais informações deveriam ser levantadas se deu por meio dos dados necessários para o preenchimento do protocolo de coleta com o *Xsens* e com o questionário sociodemográfico.

Etapa 4 – Procedimentos de coleta adotados

Esta etapa compreendeu a definição dos procedimentos para a realização das coletas, que foram utilizados da seguinte forma: no caso 1 (Cooper Rio Novo) os procedimentos seguiram as informações apresentadas no manual do próprio equipamento, sugerido pelo fabricante, uma vez que o protocolo utilizado pelo NGD-LDU ainda não tinha sido desenvolvido.

Quanto aos casos 2 (Equipe Baja UFSC SAE) e 3 (Empresa de entrega de encomendas) os procedimentos utilizados foram os propostos pelo MOTION CAPTURE PROTOCOL, listados abaixo.

1- **Definição e organização do ambiente:** foi definido e organizado um espaço amplo, sem interferência magnética e próxima ao local da coleta para a realização destes;
2- **Introdução breve sobre o funcionamento do equipamento:** foi feita uma breve descrição relacionada ao equipamento e uso durante a coleta, a fim de deixar sob conhecimento do usuário todas as informações necessárias referentes ao estudo;
3- **Mensuração das dimensões corporais do usuário:** aqui foram coletadas as medidas antropométricas do usuário, respectivamente: altura do corpo, tamanho do pé, envergadura, altura do tornozelo, altura do quadril, largura do quadril, altura do joelho, largura do ombro e a altura da sola do sapato, com as dimensões definidas e anotadas passou-se para a etapa seguinte, a montagem;
4- **Montagem do equipamento:** o equipamento foi vestido ao corpo do usuário, a montagem foi feita por duas pessoas (pesquisadores);
5- **Conexão dos cabos:** com o equipamento já acoplado ao corpo do usuário foi feita a conexão dos cabos, ligando um sensor a outro;
6- **Medidas das distâncias entre os sensores:** este algoritmo requereu precisão centimétrica, onde foram consideradas especificamente, o posicionamento dos sensores das duas pernas. As distâncias medidas foram do marco anatômico até o meio do topo do sensor (saída dos cabos);
7- **Familiarização do usuário com o equipamento:** nesta etapa o usuário passou um tempo realizando movimentos aleatórios com o equipamento acoplado ao seu corpo por aproximadamente 10 minutos, o propósito desta etapa foi justamente confirmar ao usuário sua liberdade e autonomia durante a captura dos seus movimentos;
8- **Passos de configuração do usuário no software:** aqui os dados que foram coletados e registrados na etapa de

mensuração das dimensões corporais do usuário foram transferidos para a plataforma do software;

9- **Etapas de calibração:** foi solicitado ao usuário, que se movimentasse pela área de medição para a verificação das propriedades do campo magnético. É importante ressaltar, que o software permite a visualização do campo magnético por meio de arcos ao redor das mãos, da pélvis e dos pés, que variam nas cores verde (adequado para a calibração), amarelo (se possível escolher outro local) e vermelho (inadequado para executar a calibração. Após tal verificação foi realizada a calibração na postura estática N-pose e/ou T-pose);
10- **Gravação dos vídeos:** num primeiro momento foram comparados os movimentos do avatar com os movimentos do usuário somente após a checagem foram iniciadas as gravações dos vídeos do usuário na execução das atividades prescritas;
11- **Preenchimento das fichas para registros das atividades realizadas durante as gravações:** para um controle e organização dos registros das atividades, as mesmas foram escritas nas fichas de registros, organizadas por título e número;
12- **Remoção e armazenamento do equipamento:** após a realização da coleta, o usuário deslocou-se para o espaço onde aconteceu a montagem, lá se deu a remoção do equipamento pela equipe de pesquisadores e colocado de volta na sua maleta de armazenamento;
13- **Tratamento e análise dos dados:** o tratamento dos dados iniciou-se no mesmo dia da coleta, porém em ambiente laboratorial (NGD-LDU), onde os dados coletados foram exportados para uma planilha no Excel e tratados, para análise e avaliação a posteriori de um fisioterapeuta.

Etapa 5 – Análises e conclusões dos casos

Nesta etapa, os dados foram tabulados no *Software* do equipamento, o MVN *Studio* PRO, e em seguida exportados para uma planilha no Excel, onde os dados foram tratados e analisados por um profissional da saúde (um fisioterapeuta, que faz parte da equipe do NGD-LDU). Seus resultados serão apresentados por meio de imagens, gráficos, tabelas, ilustrações e descrições.

4. RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos por meio da Captura de Movimentos por sensores inerciais com o estudo multicasos.

4.1 Estudo Multicasos

Para uma melhor compreensão esta fase foi dividida em cinco etapas, sendo estas:

Etapa 1 – Critérios de Seleção dos casos – Com base nos critérios de seleção definidos foram selecionados três casos de três diferentes setores, sendo estes: agricultura- associação de bananicultores, a Cooper Rio Novo (caso1), automotivo - equipe de competição composta por graduandos dos cursos das engenharias, a Equipe UFSC Baja SAE (caso 2) e serviços - empresa de entrega de encomendas (caso 3).

Etapa 2 – Apresentação e descrição dos casos – A fim de uma melhor compreensão e conhecimento sobre os casos selecionados e objetivos da realização das coletas, estes são apresentados de forma breve a seguir.

4.1.1 Cooper Rio Novo

A Rio Novo é uma cooperativa de bananicultores localizada no município de Corupá, ao norte do estado de Santa Catarina. Sua história teve início em 2006, a partir da iniciativa de um grupo de produtores da ASBANCO – Associação dos Bananicultores de Corupá que, após 11 anos com esta forma de união, resolveram criar um grupo de associados com interesse de discutir a qualidade da banana produzida e que não era reconhecida pelos compradores. A partir deste movimento é fundada a Cooperativa da Agricultura Familiar Rio Novo – Cooper Rio Novo, em abril de 2006. A Cooper conta com 22 famílias associadas (dado referente ao ano de 2020), destaca-se que a produção de banana vem das propriedades dessas famílias. De acordo com as informações fornecidas pela equipe administrativa, a Cooper possui 225 mil pés de bananas plantadas em uma área de 130 hectares (BARROS, 2020).

Assim, a oportunidade de aplicação desse estudo no referido setor, deu-se por meio do NGD/LDU - Núcleo de Gestão de Design e Laboratório de Design e Usabilidade da UFSC, em uma parceria que surgiu desde o ano de 2014, uma vez que em seu primeiro contato com o NGD/LDU a Cooper Rio Novo apresentou sua principal demanda, que se enquadrava de forma provável para a introdução do Design e da Gestão de Design. De acordo com Aguiar (2017) além de possuir fatores importantes no panorama agrícola estadual, a Cooper envolveu outras perspectivas, bem como: características favoráveis à imersão do design, uma vez que a iniciativa surgiu dos próprios cooperados; como também o setor administrativo acessível e propenso ao desenvolvimento dos projetos de design e geração de mudanças. Dentre tais projetos desenvolvidos segundo essa parceria, identificou-se a oportunidade de atuação relacionada à saúde dos trabalhadores em seu processo produtivo, mediante o desenvolvimento de uma ferramenta que auxiliasse em suas atividades, especificamente na tarefa de despenca (TAKAYAMA; MERINO; MERINO, 2015).

Participaram deste estudo três sujeitos do sexo masculino, todos destros e que comumente realizavam a tarefa de despenca por um tempo aproximado de 4 horas por dia. No que se refere aos procedimentos de uso do equipamento da *Xsens* como mencionado nos procedimentos metodológicos, neste estudo os sensores inerciais foram colocados nos trabalhadores e calibrados conforme as diretrizes do fabricante. Após a instalação e calibração do equipamento, os trabalhadores executaram a tarefa da maneira habitual dentro de um período de 5 minutos. Geralmente, esse período de tempo equivale à remoção de cinco cachos de bananas. Após a gravação dos movimentos, os dados foram analisados no *software* da *Xsens* MVN Studio Pro e exportados para o Microsoft Excel 2010, onde foram calculadas as médias e desvios padrão das amplitudes de movimentos articulares e do tempo de execução das tarefas, com o propósito de identificar os riscos de lesões musculoesqueléticas. Desta forma a Figura 10 apresenta as posturas do trabalhador na utilização da ferramenta (faca curva) na execução da atividade de despenca dos cachos de banana.

Segundo Takayama, Merino e Merino (2015) durante a realização da tarefa de despenca o trabalhador permanece de pé com o dorso inclinado e levemente torcido. Durante parte do tempo os braços são postos para baixo e em movimento constante, casualmente os braços se direcionam para cima. Quanto às pernas, estas ficam retas no início da tarefa, e flexionam-se para o corte das pencas inferiores. Assim, destaca-se que durante a realização da tarefa acontece o movimento de flexão do punho (onde são aproximadas as faces anteriores das mãos e do antebraço durante o corte de separação, e extensão do punho (onde são aproximadas as

faces posteriores da mão e do antebraço) na qual o punho volta à posição normal de pega.



Figura 10 Postura do trabalhador durante a despenca dos cachos de banana. Fonte: Elaborado pelos autores com base em Takayama et al. (2015); Merino et al. (2018).

Ainda nesse contexto, a Figura 11 apresenta os ângulos médios da articulação e desvios padrão durante a execução da tarefa. Cabe ressaltar que os três trabalhadores eram destros, e utilizavam a mão esquerda para segurar o engaço e a direita para segurar a ferramenta de corte na remoção dos cachos.

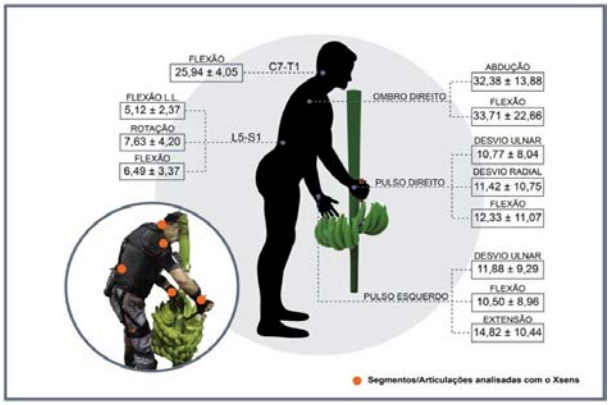


Figura 11 Ângulos médios das articulações e desvios padrão do trabalhador durante a atividade de despenca. Fonte: Adaptado de Merino et al. (2018).

Considerando as análises, o ombro direito dos trabalhadores apresentou abdução e flexão ≥ 60 ° para uma média de 3,14% e 10,56% da tarefa, respectivamente. Quanto ao punho direito, houve um desvio ≥10 ° ulnar por tempo médio de 22,28%, enquanto desvio ≥15 ° desvio radial, flexão e extensão ocorreram em média 15,66%, 18,00% e 9,81% da tarefa, respectivamente. Em relação à articulação C7-T1 dos trabalhadores houve flexão de ≥20 ° para uma média de 88,63% da tarefa, enquanto na articulação L5-S1 houve flexão lateral esquerda, rotação e flexão de ≥1° para uma média de 81,77%, 92,91% e 95,03% da tarefa, respectivamente.

Consoante a isso, a Tabela 1 expõe o tempo médio em intervalos de segundos (com desvio padrão) que cada trabalhador gastou para remover um cacho de bananas. Com base nesses dados, em um turno de 8 horas, os trabalhadores poderiam remover até 903 cachos.

Tabela 1 Tempo gasto para remoção de um cacho de bananas.

Tempo gasto para remover um cacho de bananas.		
TRABALHADOR	TEMPO DE TAREFA	DESVIO PADRÃO
Trabalhador 1	38.32	7.90
Trabalhador 2	31.39	9.57
Trabalhador 3	25.87	6.56
MÉDIA	31.86	9.07

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Merino et al. (2018).

De acordo com a análise gerada pela captura de movimentos com sensores inerciais na articulação C7-T1 dos trabalhadores, ocorreu flexão ≥20 ° para média de 88,63% da tarefa, ao mesmo tempo em que o ângulo médio de flexão foi de 25,94 ° ± 4,05. Por consequência, a flexão cervical ≥20 ° eleva o risco de dor e distúrbios nesta região resultante do aumento da carga compressiva nas sustentações osteomusculares da coluna cervical (SZETO et al., 2005).

Isso se dá, devido à variância no ângulo de flexão cervical que provoca alterações na altura do disco intervertebral podendo acarretar uma degeneração (ANDERST et al., 2014). De acordo com McNee et al. (2013) períodos extensos de flexão cerebral podem ocasionar em fadiga e dor muscular crônica, gerando a diminuição do comprimento muscular, bem como a imobilidade da coluna cervical (NING et al., 2015).

No que diz respeito à articulação L5-S1, foi obtida uma média de 5,12 ° ± 2,37 de flexão lateral esquerda, 7,63 ° ± 4,20 de rotação e 6,49 ° ± 3,37 de flexão para frente. Além do mais, houve ≥1 ° de flexão lateral esquerda, rotação e avanço flexão para uma média de 81,77%, 92,91% e 95,03% da tarefa, respectivamente. Desta forma, pode-se dizer que essa atividade possui risco de distúrbio musculoesquelético para a coluna lombar, visto que pesquisas têm apresentado um aumento na sobrecarga da coluna lombar em diferentes ângulos de rotação, bem como flexões e/ou torções frequentes de tronco (LOTTERS et al., 2003).

Quanto aos ângulos médios de abdução e flexão do ombro direito foram 32,38° ± 13,88 e 33,71 ° ± 22,66, respectivamente. Além do mais, ocorreram abdução e flexão ≥60° para uma média de 3,14% e 10,56% da tarefa, respectivamente. Desta forma, ressalta-se que a quantidade de tempo em que o ombro direito permaneceu em ≥60 ° de flexão ou abdução é capaz de diminuir os riscos de lesões musculoesqueléticas, já que o risco de distúrbios Osteomusculares surge com o ombro em flexão e /ou abdução; 90 ° (PUNNETT et al., 2000).

Quanto às posturas do punho, estas tiveram como maiores valores médios da amplitude de movimento, o desvio ulnar (10,77 ° ± 8,04), desvio radial (11,42 ° ± 10,75) e flexão (12,33 ° ± 11,07) no punho direito e desvio ulnar (11,88 ° ± 9,29), flexão (10,50 ° ± 8,96) e extensão (14,82 ° ± 10,44) no punho esquerdo. Especificamente, no punho direito, ocorreu desvio ≥10 ° ulnar por tempo médio de 22,28%, enquanto desvio ≥15 ° radial flexão e extensão ocorreram em média 15,66%, 18,00% e 9,81% da tarefa, respectivamente. Uma vez que as posturas neutras de preensão e amplitudes de movimentos considerados pela literatura ergonômica, de forma preventiva no desconforto e sobrecarga consistem em ≤ 15° de flexão e extensão, ≤ 10° de desvio radial, e ≤ 15° de desvio ulnar (PADULA; SOUZA; GIL, 2006).

Conclusão do caso – O Sistema de Captura de Movimentos por sensores inerciais da *Xsens* permitiu a identificação dos riscos de lesões relacionados à posição dos ombros, pulsos e coluna cervical dos trabalhadores durante a execução da tarefa de despenca, uma vez que trabalharam em abdução acima de 60° e realizaram movimentos inadequados acima dos limites angulares. Desta forma, a captura de movimentos associada à ergonomia de correção possibilitou a visualização do problema e desenvolvimento de medidas corretivas para melhorias da qualidade de vida do trabalhador, por exemplo, alterações na ferramenta utilizada na atividade de despenca.

4.1.2 Equipe UFSC Baja SAE

A equipe UFSC Baja SAE é uma equipe de competição, criada por alunos do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, fundada no ano de 1996, participando de sua primeira competição em 1997 tendo como

orientador o professor Honorato Antônio Tomelin com o nome de Equipe Floripa. O professor Tomelin permaneceu frente ao projeto como orientador até o ano de 2000 nesse tempo a equipe construiu os protótipos Papa terra (1997), Berbigão (1998) e Baiacu (1999), os dois últimos nomes fazendo referência a espécies da fauna marinha de Florianópolis.

No ano 2000, aconteceram algumas mudanças na equipe, a orientação foi uma delas, onde o professor Narciso Angel Ramos Arroyo ficou à frente da equipe, mudando seu nome para equipe Vento Sul. Neste mesmo ano, uma equipe de Baja independente foi fundada, nomeada de Uiraçu, contando com a orientação do professor Lauro Cesar Nicolazzi. Em 2003, teve início a competição Baja SAE Brasil - etapa Sul, que aconteceu na cidade de Gravataí, ficando somente conhecida por Baja Sul. Foi neste mesmo ano que aconteceu a união das equipes formando assim, a atual Equipe UFSC Baja SAE, permanecendo sob a orientação do professor Nicolazzi. O projeto da equipe se desenvolveu e evoluiu junto com o crescimento do movimento Baja no Brasil. De 2000 a 2013 a equipe competiu com dois carros, de distintos projetos, apresentados inicialmente como Ilhéu e Uiraçu e mais tarde como Puma e Jaguar.

A equipe tem como finalidade construir protótipos *off-road* do tipo Baja. Assim, no processo de desenvolvimento e realização do projeto, estudantes aplicam seus conhecimentos, técnicas e experiências obtidas durante suas trajetórias acadêmicas, alcançando como resultado o modelo do veículo a ser usado durante as competições, que acontecem dentro dos âmbitos regional, nacional e mundial. Há mais de vinte anos, a equipe UFSC Baja SAE vem obtendo grandes conquistas; dentre os seus principais títulos está o de heptacampeã Sul-brasileira, onde conquistou o primeiro lugar na competição regional Sul nos anos de 2005, 2006, 2007, 2009, 2010, 2011 e 2012, além de ter estado presente três vezes em meio as três melhores equipes do país em 2005, 2009 e 2013 (os últimos dois anos garantindo a participação da equipe na competição internacional nos Estados Unidos). A equipe foi classificada também ocupando a quarta colocação na competição nacional nos anos de 2006 e 2018, obteve também o pódio várias vezes em provas dinâmicas como suspensão, tração e aceleração. Cabe ressaltar que a coleta para o desenvolvimento desta pesquisa aconteceu na oficina do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina. No que se refere à escolha do piloto (sujeito da pesquisa) bem como, seu tempo de permanência no comando do veículo é determinada por escolha da equipe, uma vez que no regulamento Baja SAE Brasil, não existem critérios que definam isso, o único critério que consta é que para ocupar o posto de piloto é necessário possuir a Carteira Nacional de Habilitação (CNH). Logo, as dimensões do carro devem ser adaptadas com base na antropometria do piloto que está no volante naquele período, para que se tenha uma melhor adequação e desempenho durante a realização das provas. O Baja SAE Brasil é uma competição para estudantes, que tem como finalidade proporcionar aos participantes experiências práticas associadas aos conhecimentos obtidos na academia, por meio de um processo integrado de desenvolvimento, alcançando a excelência no âmbito internacional (SAE BRASIL, 2018).

Face a isso, Zitkus et al (2016) relatam que o conforto do piloto de um veículo se associa a pelo menos três aspectos: postura, vibração do veículo e tempo de realização da tarefa de pilotagem. Para Huet e Moraes (2003) manter-se na posição de sentado (a) por um período ininterrupto pode ocasionar desconforto. Desta forma, a pesquisa teve como finalidade uma análise antropométrica do piloto no veículo atual, visando identificar os problemas ergonômicos relacionados à acomodação no veículo, em específico às suas dimensões e quais melhorias poderiam ser implementadas no novo cockpit do veículo. Assim, foram consideradas as dimensões antropométricas (ângulos dos movimentos recomendados por Tilley, 2005). Desse modo, com base no levantamento realizado com o piloto verificou-se que suas medidas eram equivalentes ao percentil 50. Suas características estão apresentadas na Figura 12 .



Figura 12 Identificação do piloto do ano de 2019. Elaborado pelos autores (2021).

No que se refere à captura de movimentos, a análise foi realizada com o veículo em repouso, onde o piloto entrou no veículo e se manteve na posição que ele executava durante a corrida. Os dados obtidos permitiram analisar se as dimensões estruturais do veículo atendiam às necessidades básicas do piloto durante sua utilização, bem como, os riscos associados à sua postura, visando sua segurança e conforto. Desta forma, foram analisados os dados referentes aos ângulos das articulações e segmentos (joelhos, tornozelos, quadris, C7-T1, ombros e antebraços) do piloto durante a pilotagem do veículo, seguido da conferência com as dimensões encontradas na literatura, como mostra a Figura 13.

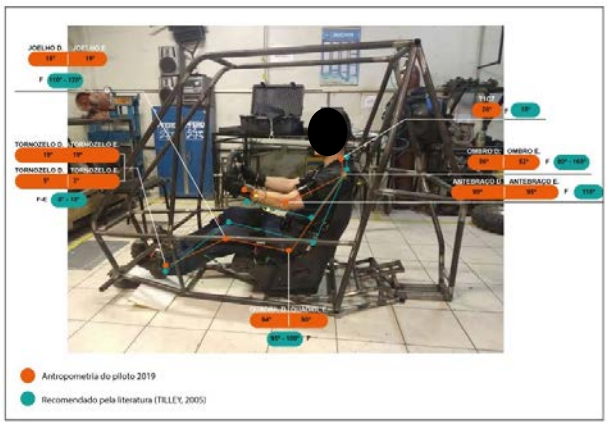


Figura 13 Comparação da antropometria do piloto com a encontrada na literatura.Fonte: Elaborado pelos autores com base no acervo da Equipe UFSC Baja SAE (2019).

De acordo com a Figura 13, as informações apresentadas na cor verde representam os ângulos recomendados pela literatura. Enquanto as em laranja são os ângulos do piloto com percentil 50, o que nem sempre está de acordo com as recomendações ergonômicas. O ângulo de flexão entre os joelhos apresenta 86° quando deveria ter entre 110° e 120°, para não ocasionar desconforto ao piloto. Os tornozelos apresentam ângulos de 19° de flexão no direito e esquerdo e 5° de extensão no direito e 3° no esquerdo, quando é recomendado que tenha entre 0° e 10°. No que se refere aos ângulos de flexão dos quadris, o direito apresenta 94°e o esquerdo 90°, sendo que deveria ter entre 95° e 100°. Quanto ao segmento C7-T1, este apresenta ângulo de flexão de 26°, onde deveria ter 15°. O ângulo de flexão dos ombros são 56° o direito e 52° o esquerdo, sendo que é recomendado ter entre 80° e 165°. Os antebraços apresentam ângulos de 99° de flexão do direito e 95° do esquerdo, quando é recomendado ter 115°.

Consoante a essas observações fica claro que os ângulos do piloto percentil 50 no cockpit demandam correções para

melhorias no veículo e no desempenho do piloto. Desta forma, foram propostas recomendações ergonômicas referentes à estrutura do veículo, sem desconsiderar as dimensões padrões que constam no regulamento da competição. Tais recomendações ergonômicas estão descritas a seguir.

1. Aumentar aproximadamente 16 cm a distância entre o banco e os pedais;
2. Afastar horizontalmente aproximadamente 11 cm o volante do encosto;
3. Aumentar a altura do assento em aproximadamente 5 cm;
4. Manter o ângulo entre assento e encosto entre 95° e 100°;
5. Afastar horizontalmente o assento do motor (no mínimo) 5 cm;
6. Aproximar o encosto da cabeça do piloto (distância máxima 2,5 cm com capacete);
7. Acrescentar apoio lateral para a cabeça;
8. Manter profundidade do assento (38 cm);
9. Aumentar densidade da espuma do assento (espuma laminada D30).

Por fim, considerando a existência de algumas restrições, bem como normas relacionadas às dimensões do veículo, a equipe buscou atender ao maior número de recomendações possíveis. De acordo com o recomendado na análise realizada com a captura de movimentos (*Xsens*) o cockpit foi alongado em 16 cm, o que de tal forma aumentou a distância entre o banco e o pedal, foi determinada também a posição do volante, o assento sofreu uma elevação da base e recebeu uma nova espuma (D30), bem como se manteve a profundidade do assento (Figura 14).



Figura 14 Alterações feitas no cockpit. Fonte: Elaborado pelos autores com base no acrvo da Equipe UFSC Baja SAE (2019).

Conclusão do caso – Assim, pode se destacar como contribuição do uso do Sistema de Captura de Movimentos por sensores inerciais da *Xsens*, o auxílio no processo de desenvolvimento do novo produto (veículo), uma vez que o mesmo proporcionou maior precisão e rapidez na obtenção e visualização dos dados. Bem como, possibilitou analisar o posicionamento estrutural e os movimentos do piloto, associando à biomecânica, ergonomia e o foco no ser humano, tornando o produto final mais ergonômico, confortável e eficaz.

4.1.3 Empresa de entrega de encomendas (serviços)

A empresa teve sua criação no ano de 2003, tendo como finalidade entregas de encomendas, na época direcionadas ao *e-commerce* e serviço SEDEX 10. O atendimento realizado pela empresa abrangia toda a Grande Florianópolis, porém, com os anos foram sendo agregados novos serviços, como por exemplo, a substituição de toners de máquinas fotocopiadoras da Xerox do Brasil, onde acontecia a entrega de um toner novo e o recolhimento do usado que era devolvido à empresa Xerox. Atualmente a empresa está instalada em um prédio de 3.000M², conta com 84 funcionários concursados, 14 motoristas terceirizados mais equipe de limpeza, conservação e vigilância. Possui também uma frota de 60 veículos entre 600 e 1500 Kg, e distribui cerca de 6.000 objetos/dia, além do serviço de coleta, logística reversa e malotes.

As coletas de dados para essa pesquisa aconteceram no Galpão sede da empresa. A amostra foi composta por três trabalhadores do sexo masculino, com os percentis 5, 50, 95 (Figura 15), que trabalharam por mais de 12 meses realizando atividades de processamento de pedidos para entrega durante mais de 4 horas por dia.



Figura 15 Características dos trabalhadores 1, 2 e 3. Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

As coletas tiveram como finalidade avaliar os riscos de doenças osteomusculares relacionada à execução das atividades de processamento de encomendas para a entrega. A definição das atividades que foram gravados os movimentos, se deram por meio da observação do pesquisador, relatos e reclamações dos trabalhadores. A gravação dos movimentos envolveu quatro diferentes estações de trabalho (contexto real), respectivamente:

1. Levantamento de cargas;
2. Leitura de códigos de barra;
3. Separação de cargas;
4. Carregamento do carro.

As atividades foram executadas pelos três sujeitos atendendo à mesma sequência de execução (Figura 16) onde foram analisadas as amplitudes articulares e o tempo de execução das atividades.



Figura 16 Atividades realizadas pelos trabalhadores. Fonte: Elaborado pelos autores com base no acervo NGD-LDU.

Desta forma, os resultados obtidos por meio da gravação com a captura de movimentos (*Xsens*) podem ser observados nas Figuras 17, 18 e 19 de acordo com cada articulação/ segmento e percentil analisado.

Ombros - No que se refere aos movimentos realizados pelos ombros direito e esquerdo dos trabalhadores, foi possível observar que houve flexão/extensão, assim como, na execução das atividades de levantamento de cargas e carregamento do

carro, obtiveram os maiores ângulos com valores superiores a 60° em alguns momentos das atividades. Além do mais, ocorreu predominância do uso do membro superior direito do percentil 5, assim como também dos percentis 50 e 95, como mostra a Figura 17 .

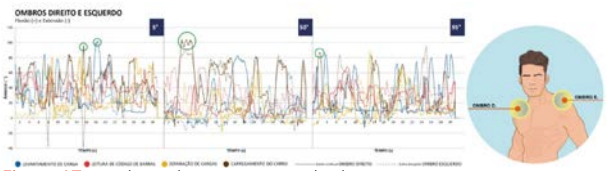


Figura 17 Ombros direito e esquerdo dos percentis 5, 50 e 95. Fonte: Elaborado pelos autores com base em Silva et al. (2020).

Ainda que se tenha ocorrido predominância no uso do membro superior direito. Foi possível observar que durante a execução da atividade de leitura de códigos de barras, o membro superior esquerdo atingiu maiores valores angulares em razão de sua função de apoio na exploração das superfícies das caixas para encontrar o código de barras.

Segmento C7-T1 - Quanto ao segmento C7-T1, que mostra a flexão anterior cervical, os movimentos realizados estão apresentados na Figura 18 a seguir.

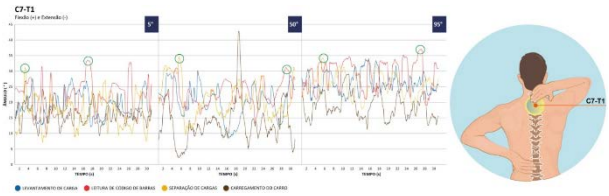


Figura 18 Segmento C7-T1 dos percentis 5, 50 e 95. Fonte: Elaborado pelos autores com base em Silva et al. (2020).

Neste segmento a atividade de leitura de código de barras obteve os maiores valores angulares. Foi verificado ainda, que quanto maior o percentil, maiores são os valores angulares da flexão anterior cervical.

Segmento L5-S1 - A Figura 19 mostra os movimentos do segmento L5-S1, permitindo a visualização da flexão anterior da lombar.



Figura 19 Segmento L5-S1 dos percentis 5, 50 e 95. Fonte: Elaborado pelos autores com base em Silva et al. (2020).

Quanto aos valores angulares do segmento L5-S1. As atividades de carregamento do carro e levantamento de carga obtiveram os maiores valores. Cabe destacar que também foi possível observar um comportamento repetitivo na atividade de carregamento do carro.

Conclusão do caso - O Sistema de Captura de Movimentos por sensores inerciais da *Xsens* permitiu a identificação dos problemas ergonômicos (organizacionais) existentes no posto de trabalho referente à execução das atividades de levantamento de cargas, leitura de códigos de barras, separação e carregamento do carro. Bem como, os principais movimentos executados (flexão e extensão), as articulações/ segmentos mais afetados pela repetitividade, sobrecarga de trabalho e suas amplitudes. Desta forma, as análises com o *Xsens* possibilitaram a definição de recomendações ergonômicas, como a correção de posturas dos trabalhadores e implementação de novos equipamentos adequando o trabalho ao homem.

4.1.4 Síntese dos Casos

Foi verificado que os resultados dos casos apresentados com a utilização e análise realizada por meio do Sistema de Captura de Movimentos por sensores inerciais (*Xsens*) apresentaram algumas características em comum, embora existisse a diferenciação de setores. Como exemplo dessas características pode ser citada a repetição dos segmentos/articulações C7-T1, L5-S11, ombros.
apresentaram algumas características em comum, embora existisse a diferenciação

No caso 1 (Cooper Rio Novo) referente ao setor da agricultura familiar, o Sistema de Captura de Movimentos por sensores inerciais (*Xsens*) permitiu avaliar o risco de lesões musculoesqueléticas na tarefa de processamento de bananas, especificamente o despencamento. O desenvolvimento da coleta contou com a participação de uma equipe multidisciplinar (Designers, Engenheiros e Fisioterapeutas), tendo como procedimentos, etapas condizentes com a realidade do contexto e do trabalhador. Quanto as articulações/segmentos analisados foram os ombros, C7-T1, L5-S1 e os punhos (Figura 20). O tempo de realização da coleta foi o mesmo do caso 2 e 3, como resultado foi obtido o redesign da ferramenta de despenca.

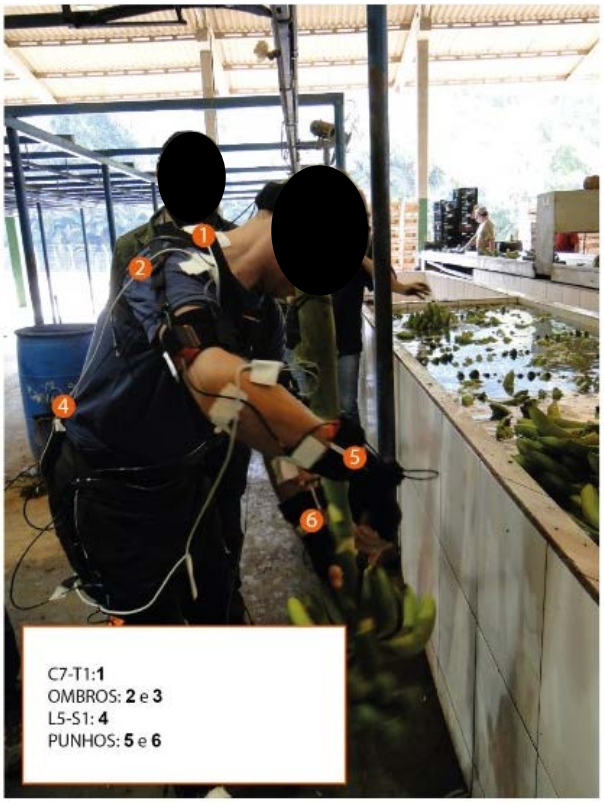


Figura 20 Segmentos/articulações analisados pelo *Xsens* durante a atividade de despenca. Fonte: Elaborado pelos autores com base no acervo NGD-LDU.

Desta forma, o Sistema de Captura de Movimentos por sensores inerciais da *Xsens* permitiu análises detalhadas sobre a Biomecânica dos movimentos dos sujeitos durante a realização da atividade, contribuindo de forma significativa no redesign da ferramenta utilizada na despenca de bananas.

No caso 2 (Equipe UFSC Baja SAE), uma equipe do setor automotivo (ensino), o Sistema de Captura de Movimentos por

sensores inerciais da *Xsens* permitiu a identificação dos problemas ergonômicos na relação homem-produto, especificamente, na acomodação do piloto no carro. Ressalta-se também a importância da equipe multidisciplinar composta por designers, engenheiros e fisioterapeutas, na realização da coleta, no processo de tratamento e de análise dos dados. Os procedimentos foram feitos de acordo com o *Motion Capture Protocol*, e a coleta teve um tempo de realização aproximado de 1 hora. O ambiente de coleta (oficina) por apresentar muitos equipamentos e peças metálicas causou interferência magnética durante a calibração do equipamento (*Xsens*), mas foi solucionado por meio de tentativas, calibrações e definição do local mais adequado. Em relação às articulações e segmentos foram adotados para análise com a Captura de Movimentos, os joelhos, tornozelos, quadris, C7-T1, L5-S1, ombros e antebraços (Figura 21). A utilização do Sistema de Captura de Movimentos por sensores inerciais da *Xsens* permitiu também, uma avaliação e consequente identificação das disfunções ergonômicas (antropométricas) resultando em recomendações que serviram de apoio para o reprojeto (redimensionamento) da estrutura do veículo por parte da equipe de projetistas do Baja.

Considerando os resultados obtidos e a necessidade de adaptações e correções identificadas, relacionadas ao piloto e estrutura do veículo foram utilizados os princípios do Design Centrado no ser Humano a fim de gerar melhorias à vida deste. Também foram feitas alterações de acordo com as recomendações encontradas na literatura, considerando a biomecânica dos movimentos do piloto e sua antropometria proporcionando mais conforto e segurança.



Figura 21 Segmentos/articulações analisados pelo Xsens durante a atividade de despenca. Fonte: Elaborado pelos autores com base no Acervo NGD-LDU (2019) e Tilley (2005).

No caso 3, Empresa de entrega de encomendas do setor de serviços, o Sistema de Captura de Movimentos por sensores inerciais da *Xsens* proporcionou uma avaliação dos riscos relacionados a doenças Osteomusculares durante a execução das atividades de processamento de encomendas para a entrega, como no caso 2 os procedimentos adotados foram os mesmos. As atividades analisadas (levantamento de cargas, leitura de código de barras, separação de cargas e carregamento do carro) seguiram a ordem de realização adotada pelos trabalhadores em seu dia-a-dia de trabalho. Como no caso 2, o tempo de realização da coleta e as limitações foram as mesmas, bem como a participação da equipe multidisciplinar. As articulações e segmentos analisados foram: ombros direito e esquerdo, C7-T1 e L5-S1 (Figura 22).

Como resultado foram obtidas as avaliações para posteriores recomendações ergonômicas. Com base nos princípios do Design Centrado no ser Humano foram consideradas as necessidades e comportamentos dos sujeitos durante a execução das atividades para que as possíveis recomendações atendam às necessidades dos sujeitos, contribuindo com a produtividade de forma ágil. Proporcionando meios para melhorias das condições de trabalho, contribuindo para um ambiente seguro, benéfico e confortável ao trabalhador.



Figura 22 Segmentos/articulações analisados pelo *Xsens* durante as atividades de processamento. Fonte: Elaborado pelos autores com base no acervo NGD-LDU.

5. CONCLUSÃO

Esta pesquisa partiu da problemática relacionada à escassez de estudos do uso do Sistema de Captura de Movimentos por sensores e inerciais associados à área do design e tecnologia. A partir disso, foi elaborada a pergunta de pesquisa: **Como o Sistema de Captura de Movimentos por sensores inerciais (*Xsens*) pode auxiliar no desenvolvimento de projetos de Design Centrado no ser Humano (DCH)?**

Para isso, a pesquisa apresenta uma série de contribuições identificadas por meio de um estudo multicasos (Fase 2) sendo atingido assim o objetivo geral da pesquisa. Desta forma, fica verificado um grande potencial relacionado à aplicabilidade do Sistema de Captura de Movimentos por sensores inerciais (*Xsens*), bem como, o auxílio no processo de desenvolvimento de projetos de Design (produtos, serviços e/ou ambientes) seguindo os princípios do Design Centrado no ser Humano.

Os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento desta pesquisa, assim como, as pesquisas bibliográficas foram essenciais, pois deram sustentação e auxiliaram na obtenção de estudos existentes que abordaram a captura de movimentos, colaborando para a definição dos procedimentos de levantamento de dados.

Quanto ao estudo multicasos cabe destacar a importância da oportunidade de realizar a pesquisa dentro de contextos reais e interação com os sujeitos participantes do estudo. Ressalta-se também a participação da equipe multidisciplinar (designers, engenheiros e fisioterapeutas) para o desenvolvimento e auxílio do projeto, uma vez que a aplicação de seus conhecimentos colaborou desde a definição de métodos e técnicas de coleta até a leitura e interpretação dos dados coletados.

Desta forma, a integração da tecnologia ao processo de desenvolvimento de projetos de design, possibilitou informações mais precisas, rápidas e detalhadas dos sujeitos participantes do estudo. Assim como, contribuiu para as análises e avaliações relacionadas ao sujeito e seu ambiente de trabalho, permitindo a identificação de problemas associados à saúde destes, auxiliando no desenvolvimento de soluções. Essas informações puderam ser vistas em 3D e em tempo real por meio do uso do *Software* MVN Studio PRO.

Por fim, os resultados indicam que o Sistema de Captura de Movimentos por sensores inerciais da *Xsens*, contribui

significativamente para o desenvolvimento de projetos de Design, reduzindo custos e proporcionando maior velocidade e precisão dos dados (WOUDA et al., 2016) oferecendo a visualização e análise dos dados em tempo real, bem como a facilidade de aceitação e adaptação do equipamento pelos usuários e sua portabilidade, que permite sua utilização dentro e fora do ambiente laboral.

Como limitação da pesquisa destaca-se a interrupção das pesquisas a campo por conta da pandemia da COVID-19. Como continuidade da pesquisa pretende-se integrar o Sistema de Captura de Movimentos por sensores inerciais (*Xsens*) a outras tecnologias (como a Termografia Infravermelha e Dinamometria Manual, por exemplo), bem como sistematizar essas tecnologias por meio de um protocolo de coleta de dados objetivos, que auxilie no processo projetual de Design com foco no fator humano. Pretende-se ainda, aplicar o Sistema de Captura de Movimentos em outros setores (odontologia, moda, dança, musculação, por exemplo) para fomentar ainda mais seu nível de aplicabilidade e assim, despertar o interesse de outros pesquisadores e instituições em utilizar do Sistema de Captura de Movimentos para desenvolver pesquisas relacionadas ao ser humano.

Ainda, pretende-se realizar uma análise estatística mais detalhada e aprofundada, bem como correlações. Integrar outros instrumentos de coleta qualitativos (considerando a percepção dos sujeitos envolvidos de forma integrada às coletas quantitativas do *Xsens*) e sistematizar o processo de tratamento e leitura dos dados.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao POSDESIGN e à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), ao Núcleo de Gestão de Design e Laboratório de Design e Usabilidade (NGD-LDU), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Cooper Rio Novo, à Equipe UFSC Baja SAE e à Empresa de Entrega de Encomendas. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

1. ANDERST, W. J., DONALDSON, W. F., LEE, J. Y., & KANG, J. D. Continuous cervical spine kinematics during in vivo dynamic flexion-extension. The Spine Journal, v.14, n. 7, p. 1221-1227, 2014.
2. ARAUJO, P. A. Analisando técnicas de captura de movimento. 2015.
3. BEST, K. Fundamentos da gestão do design. Porto Alegre: Bookman, 2012.
4. BETZ, F. et al. O fator tecnológico. Inovação e mudança: autores e conceitos imprescindíveis. São Paulo: Publifolha, p. 55-62, 2001.
5. BRAATZ, Daniel et al. Aplicações da tecnologia de simulação humana em projetos de situações produtivas. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, v. 27, 2007.
6. CARVALHO, A. G. Influência da modelagem dos componentes de bias instabilidade dos sensores inerciais no desempenho do navegador integrado SNI/GPS. 2011. 146f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Elétrica. Disponível em:<http://pgee.ime.eb.br/pdf/adriano_carvalho.pdf.>Acesso em: 19 jan. 2020.
7. CHAVES, I. G.; BITTENCOURT, J. P.; TARALLI, C. H. O design centrado no humano na atual pesquisa brasileira-uma análise através das perspectivas de klauskrippendorff e da ideo. HOLOS, v. 6, p. 213-225, 2013.
8. CHEN, P.; KUANG, Y.; LI, J. Human motion capture algorithm based on inertial sensors. Journal of Sensors, v. 2016, 2016.
9. CUNHA, J. M. ; MERINO, G. S. A. D. ; GARCIA, L. J. ; TAKAYAMA, L. ; MERINO, E. A. D. O uso de sensores inerciais (Xsens) no projeto de produto aplicado a ferramenta agricola. In: IV International Conference on Design, Engineering, Management for innovation, 2015, Florianopolis. IV International Conference on Design, Engineering, Management for innovation, 2015.
10. FERREIRA, C. A. A.; PENA, F. G. O uso da tecnologia no combate ao covid-19: uma pesquisa documental. Brazilian Journal of Development, v. 6, n.5, p. 27315-27326, 2020.
11. FORCELINI, F.; VARNIER, T.; MERINO, E. A. D. Termografia Infravermelha e Captura de Movimentos: vantagens e desvantagens no desenvolvimento de projetos, p. 2652-2664. In: Anais do 13º Congresso Pesquisa e Desenvolvimento em Design (2018). São Paulo: Blucher, 2019. Disponível em: http://periodicos.pucrio.br/index.php/revistaergodesign-hci/article/view/1307/737. Acesso em: 19 dez. 2019.
12. GASSON, S. Human-centered vs. user-centered approaches to information system design. Journal of Information Technology Theory and Application (JITTA), v. 5, n. 2, p.5, 2003.
13. GIACOMIN, J. What is Human Centred Design? 10º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, São Luís (MA). 2012.
14. GÓMEZ ECHEVERRY, L. L., JARAMILLO, A. M., RUIZ MOLINA, M. A., VELÁSQUEZ RESTREPO, S. M., PÁRAMO VELÁSQUEZ, C. A., & SILVA BOLÍVAR, G. J. Human motion capture and analysis systems: a systematic review. Prospectiva, v. 16, n. 2, p. 24-34, 2018.
15. GOMIDE, J. V. B., FLAM, D. L., PACHECO, D., & de ALBUQUERQUE ARAÚJO, A. Captura de movimento e Animação de Personagens em Jogos. In: VIII Brazilian Symposium on Games and Digital Entertainment, 8., 2009, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SBGAMES, 2009.
16. HUET, M; MORAES, A. Medidas de Pressão sob a Pelve na Postura Sentada em Pesquisas de Ergonomia. Fisioterapia Brasil. Vol 4. N. 6. Nov/Dez. 2003.
17. ISO, ISO 13407: Human-Centred Design Processes for Interactive Systems. Geneva, Switzerland: ISO, 1999.
18. KOPNIAK, P. Motion capture using multiple Kinect controllers. Przegląd elektrotechniczny, v. 8, p. 26-29, 2015. Disponível em: http://pe.org.pl/articles/2015/8/7.pdf. Acesso em: 02 jan. 2020.
19. LONGHI, A. Análise cinemática do saque flat de tenistas infantojuvenis. 2014. 197 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Ciências do Movimento Humano, Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, 2014. Disponível em: http://tede.udesc.br/bitstream/handle/292/1/ADRIANA%20LONGHI.pdf. Acesso em: 17 set. 2019.
20. LORENZETTI, J., TRINDADE, L.L., PIRES, D.E.P., RAMOS, F.R.S. Tecnologia, Inovação Tecnológica e Saúde: uma reflexão necessária. Florianópolis: Scielo, p 432-439, 2012. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=

sci_arttext&pid=S01040707201200020023. Acesso em: 13 out. 2020.

21. LOTTERS, F., BURDORF, A., KUIPER, J., & MIEDEMA, H. Model for the work-relatedness of low-back pain. Scandinavian journal of work, environment & health, p. 431-440, 2003.

22. MARRAS, WS, LAVENDER, SA, FERGUSON, SA, SPLITTSTOESSER, RE, YANG, G., & SCHABO, P.Instrumentation for measuring dynamic spinal load moment exposures in the workplace. Journal Of Electromyography And Kinesiology, [s.l.], v. 20, n.1, p.1-9, 2010.

23. MCNEE, C., KIESER, J. K., ANTOUN, J. S., BENNANI, H., GALLO, L. M., & FARELLA, M. Neck and shoulder muscle activity of orthodontists in natural environments. Journal of Electromyography and Kinesiology, v. 23, n. 3, p. 600-607, 2013.

24. MERINO, G.; DA SILVA, L.; MATTOS, D.; GUIMARÃES, B.; MERINO, E. Ergonomic evaluation of the musculoskeletal risks in a banana harvesting activity through qualitative and quantitative measures, with emphasis on motion capture (Xsens) and EMG. International Journal of Industrial Ergonomics, v. 69, p. 80-89, 2019.

25. MOESLUND, T. B.; HILTON, A.; KRÜGER, V. A survey of advances in vision-based human motion capture and analysis. Computer vision and image understanding, v. 104, n. 2-3, p. 90-126, 2006.

26. NING, X., HUANG, Y., HU, B., & NIMBARTE, A. D. Neck kinematics and muscle activity during mobile device operations. International Journal of Industrial Ergonomics, v. 48, p. 10-15, 2015.

27. PADULA, R. S.; SOUZA, V. C.; GIL, C. H. Tipos de preensão e movimentos do punho durante atividade de manuseio de carga. Brazilian Journal of Physical Therapy, v. 10, n. 1, p. 29-34, 2006.

28. PASCHOARELLI, Luis Carlos; MENEZES, Marizilda dos Santos. Design e ergonomia: aspectos tecnológicos. 2009.

29. PATRIZI, A.; PENNESTRÌ, E.; VALENTINI, P. P. Comparison between low-cost marker-less and high-end marker-based motion capture systems for the computer-aided assessment of working ergonomics. Ergonomics, v. 59, n. 1, p. 155-162, 2016.

30. PEREIRA, T. M. Sports Meter: Sistema de medição de desempenho do movimento humano em atividades desportivas. 2016.

31. PUNNETT, L., FINE, L. J., KEYSERLING, W. M., HERRIN, G. D. & CHAFFIN, D. B. Shoulder disorders and postural stress in automobile assembly work. Scandinavian jornal of work, environment & health, p. 283-291, 2000.

32. RAMÓN, J. A.; CANDELAS-HERÍAS, F. A.; TORRES, F. Captura de movimiento y localización en interiores aplicadas a entornos industriales. 2007. Captura de movimiento y localización en interiores aplicados à entornos industriales. 2007. Disponível em: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/2905/1/MoCapIndustria_JA2007.pdf. Acesso em: 25 dez. 2019.

33. RINKUS, S., WALJI, M., JOHNSON-THROOP, K. A., MALIN, J. T., TURLEY, J. P., SMITH, J. W. & ZHANG, J. Human-centered design of a distributed knowledge management system. Journal of Biomedical Informatics, v. 38, n. 1, p. 4-17, 2005.

34. ROETENBERG, D. Inertial and Magnetic Sensing of Human Motion. 2006. 126 f. Tese (Doutorado). University of Twente, Enschede- Paises Baixos. Acesso em: 23 set. 2017.

35. ROETENBERG, D.; LUINGE, H.; SLYCKE, P. Xsens MVN: full 6DOF human motion tracking using miniature inertial sensors. Xsens Motion Technologies BV, v.3, p. 1-9, 2013.

36. SAE, Brasil (2018). Regulamento Administrativo e Técnico do Baja SAE Brasil. Disponível em: < https://www.unp.br/wpcontent/uploads/2018/04/ANEXO-0-Regulamento-Administrativo-e-T%C3%A9cnico-do-Baja-SAE-Brasil.pdf>. Acesso em: 15 mai.2019.

37. SILVA, A. S. M. Wearable Sensors Systems For Human Motion Analysis. 2014. Tese de Doutorado. Ph. D. Dissertation, Faculty of engineering of the university of PORTO Portugal. Disponível em: https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/84342/2/33046.pdf. Acesso em: 17 de Abr. 2020.

38. SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005. Disponível em: http://tccbiblio.paginas.ufsc.br/files/2010/09/024_Metodologia_de_pesquisa_e_elaboracao_de_teses_e_dissertacoes1.pdf. Acesso em: 15 dez. 2019.

39. SILVA, L.; ROSA, C. S.; PAULO, I. I.; MATTOS, N.; GIRACCA, C.; MERINO, G. S. A. D. ; MERINO, E. A. D. Ergonomic Assessment of Musculoskeletal Risks in Postal Workers Through Motion Capture, a Case Study. In: International Symposium on Occupational Safety and Hygiene, 2020, Guimaraes. Proceedings Book of the SHO2020. Guimaraes: Sociedade Portuguesa de Segurança e Higiene Ocupacionais, 2020. v. 1. p. 85-88.

40. SONEGO, D. A.; CLIQUET JUNIOR, A. Análise do movimento de abdução do ombro pelo sistema ótico. Bioscience Journal, v. 22, n. 2, 2006. Disponível em: file:///Users/irandir/Downloads/6728-Article%20Text-25575-1-10-20070130%20(1).pdf. Acesso em: 17 abr. 2020.

41. SPECK, G. M., PICHLER, R. F., MANNRICH, G., GUIMARÃES, B., DOMENECH, S. C., MERINO, G. S. A. D., & MERINO, E. A. D. (2016). Processo de instrumentação integrada no desenvolvimento de projetos de Tecnologia Assistiva. In Anais do 18º Congresso Brasileiro de Ergonomia. Belo Horizonte: ABERGO.

42. STEEN, Marc. Human-Centered Design as a Fragile Encounter. Design Issues. Massachusetts Institute of Technology, v28, n.01. 2011. p.72-80.

43. SZCZESNA, Agnieszka et al. Inertial motion capture costume design study. Sensors, v.17, n.3, p.612, 2017. Disponível em:<https://www.mdpi.com/1424-8220/17/3/612>. Acesso em: 16 Abr. 2020.

44. SZETO, G. P.; STRAKER, L. M.; O'SULLIVAN, P. B. A comparison of symptomatic and asymptomatic office workers performing monotonous keyboard work—2: neck and shoulder kinematics. Manual therapy, v. 10, n. 4, p. 281-291, 2005.

45. TAKAYAMA, L.; MERINO, G. S. A. D.; MERINO, E. A. D.; GARCIA, L. J.; CUNHA, J. M.; DOMENECH, S. C. Hand tool project requirements: the case of banana cultivation and its physical demands (OWAS). Product (IGDP), v. 13, p. 119-130, 2015.

46. TAKAYAMA, L. ; MERINO, E. A. D.; MERINO, G. S. A. D. . Análise postural na pós-colheita da banana: etapa de despencamento. In: 15 ERGODESIGN - USIHC, 2015, Recife. 15 ERGODESIGN - USIHC, 2015.

47. TEÓFILO, R. B.; DE FREITAS, L. S. O uso de tecnologia da informação como ferramenta de gestão. IV Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia (SEGET). Resende, Rio de, p. 1-12, 2007.

48. TILLEY, A.; DREYFUSS, H. The Measure of Man and Woman, Human factors design, Whitney Library of Design, New York, USA, 1993. Apud: BERGMANA, C., et al. Implementation of suitable comfort model for posture and motion prediction in DHM supported vehicle design. 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015). Procedia Manufacturing. Vol. 3, p. 3753 - 3758. 2015. p. 3755.

49. TONIN, L. A. et al. Avaliação de tecnologias de captura de movimentos em projetos de situações produtivas. In: XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 25., 2015, Fortaleza. Anais... Fortaleza: ENEGEP, 2015.

50. VAN PELT, A.; HEY, J. Using TRIZ and human-centered design for consumer product development. Procedia Engineering, v. 9, p. 688-693, 2011.

51. VARNIER, T. Fatores Humanos associados aos projetos de Design: protocolo de coleta para a captura de movimentos. Dissertação (Mestrado em Design) – Programa de Pós-graduação em Design, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 250 p., 2019. Disponível em: http://ngd.ufsc.br/wpcontent/uploads/2019/03/Dissertac%CC%A7a%CC%83o_Thiago_Varnier_FINAL.pdf. Acesso em: 20 mai. 2019.

52. VARNIER, T.; MERINO, G. S. A. D. Motion Capture Protocol: Protocolo de coleta MVN Link Biomech. Florianópolis: NGD/UFSC, 2019. Disponível em: www.ngd.ufsc.br. Acesso em: 12 dez. 2020.

53. VECHAKUL, J.; SHRIMALI, B. P.; SANDHU J. S. Human Centered Design as an Approach for Place-Based Innovation in Public Health: A Case Study from Oakland, California. Matern Child Health J, v.19, p.2552–2559. 2015.

54. WDO. DEFINITION OF INDUSTRIAL DESIGN. 2021. Disponível em: https://wdo.org/about/definition/. Acesso em: 05 set. 2021.

55. WOUDA, F. J., GIUBERTI, M., BELLUSCI, G., & VELTINK, P. H. Estimation of full-body poses using only five inertial sensors: an eager or lazy learning approach? Sensors, v. 16, n.12, p. 2138, 2016.

56. XSENS. Moven: user manual. Moven Motion Capture System. The Netherlands: Xsens Technologies B.V. 2012.

57. ZITKUS, E., FERRARI, A. L. M., REIS, T. D., USÓ, V., MEDOLA, F. O., & PASCHOARELLI, L. C. Ergonomia no BAJA: Análise do Desconforto Percebido. Ergonomia Aplicada: Transporte, 2016.