

ANÁLISE ERGONÔMICA FÍSICA NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO PARA TECNOLOGIA ASSISTIVA: uma revisão sistemática

PHYSICAL ERGONOMIC ANALYSIS IN ASSISTIVE TECHNOLOGY PRODUCT DEVELOPMENT: A Systematic Review

BRENDLER, Clariana Fisher; Professora Doutora; UFRGS
clariana.brendler@ufrgs.br

CARDOSO; Eduardo; Professor Doutor; UFRGS
eduardo.cardoso@ufrgs.br

MIRANDA DA SILVA, Francielle; Mestranda; UFRGS
franmirandacielle@gmail.com

Resumo

Este artigo visa identificar, de forma sistemática, a literatura sobre a aplicação da análise ergonômica física em projetos de produtos para pessoas com deficiência, destacando práticas predominantes, lacunas e tendências emergentes. A pesquisa, conduzida em bases de dados eletrônicas, abrange artigos científicos sobre ergonomia física e tecnologia assistiva. Ferramentas digitais, como softwares de análise postural e simulações, prevalecem na literatura. A colaboração interdisciplinar entre designers, engenheiros e especialistas em ergonomia é essencial para o desenvolvimento de produtos eficazes. Este estudo busca entender a integração da ergonomia física no design de produtos, avaliar sua eficácia e impacto na usabilidade e conforto dos usuários, e sugerir direções para pesquisas futuras. Os resultados indicam que a integração entre captura de movimentos e o Modelo Humano Digital (MHD) é promissora, pois a antropometria do usuário e a precisão dos movimentos são cruciais para atender às suas necessidades.

Palavras Chave: tecnologia assistiva; análise ergonômica; revisão sistemática.

Abstract

This article aims to systematically identify the literature on the application of physical ergonomic analysis in product design for people with disabilities, highlighting predominant practices, gaps, and emerging trends. The research, conducted in electronic databases, covers scientific articles on physical ergonomics and assistive technology. Digital tools such as postural analysis software and simulations prevail in the literature. Interdisciplinary collaboration among designers, engineers, and ergonomics specialists is essential for developing effective products. This study seeks to understand the integration of physical ergonomics in product design, evaluate its effectiveness and impact on user comfort and usability, and suggest directions for future research. The results indicate that integrating motion capture and Digital Human Modeling (DHM) is promising, as user anthropometry and movement precision are crucial to meet their needs.

Keywords: assistive technology; ergonomic analysis; systematic review.

1. Introdução

Projetos de produto ou sistemas que não consideram o conforto, a segurança e a satisfação em relação ao ser humano podem causar não apenas acidentes e doenças ocupacionais, mas também queda na eficiência do trabalho, no lucro de uma empresa e organizações e diversas possíveis falhas no produto ou sistema em si. A ergonomia, objeto central desta revisão sistemática, carrega dentre tantas definições relacionadas, a de ser um estudo das interações entre os seres humanos e outros elementos de um sistema, e a profissão que aplica teorias, princípios, dados e métodos para projetar a fim de otimizar o bem-estar humano e o desempenho geral do sistema, de acordo com a International Ergonomics Association (2023).

Leonardo da Vinci, precursor e empreendedor em diversas áreas do conhecimento, em sua obra “O Homem Vitruviano”, alterou a posição do homem mantendo seu centro fixo e girando e articulando seus membros inferiores e superiores, movimentando as formas do quadrado e da circunferência em relação a ele. Tal noção serviria como um princípio da ergonomia, ou seja, o ambiente, os postos de trabalho e questões periféricas devem se adaptar ao homem e não o contrário (PASCHOARELLI e SILVA, 2010).

Em uma perspectiva abrangente, que reconhece a usabilidade de um produto ou sistema e o bem-estar do usuário como determinantes cruciais para o êxito do processo de desenvolvimento de produto, é plausível sustentar que os princípios fundamentais subjacentes à atuação de um designer de produto ou engenheiro se baseiam na responsabilidade social de compreender e abordar de modo eficaz as demandas do consumidor, bem como de considerar a variedade de produtos e soluções disponíveis que possam contribuir para aprimorar a qualidade desse produto (PIKAAR et al 2007).

Um estudo de caso publicado na revista *International Journal of Industrial Ergonomics* (BROBERG, 1997) e citado posteriormente em mais de 70 artigos cujo tema se relaciona à ergonomia, confirma que designers e engenheiros de produção não apenas têm influência na ergonomia no momento da fabricação de um novo produto, mas também atuação decisiva a respeito dos métodos de produção, compra de equipamentos e design de novos postos de trabalho.

É possível considerar então que, visando eficiência e diminuição de custos, é preciso que uma abordagem ergonômica seja adotada no início e ao longo do processo de design. Essa noção contrasta com a ergonomia corretiva, que envolve modificar produtos já existentes, o que detém em si limites bastante restritivos e pode não solucionar problemas relacionados à saúde, segurança, conforto e eficiência no sistema homem-produto (SAGOT et al 2003).

Quando se pensa em Tecnologia Assistiva, que de acordo com a *Assistive Technology Industry Association* (ATIA) refere-se a produtos, equipamentos e sistemas que aprimoram a aprendizagem, o trabalho e a vida diária de pessoas com deficiências (ATIA, 2023), a integração da ergonomia é essencial para criar soluções que sejam não apenas funcionais, mas também seguras, confortáveis e acessíveis para esses usuários. A integração da ergonomia na tecnologia assistiva enfatiza a necessidade de adaptar o design do produto às características físicas e cognitivas dos usuários, assegurando, assim, a acessibilidade e a usabilidade (LONG, 2011).

Este estudo tem como objetivo identificar, de forma abrangente e sistemática, a literatura existente sobre a aplicação da análise ergonômica física em projetos de produtos para pessoas com

deficiência, identificando práticas predominantes, lacunas de conhecimento e tendências emergentes. Se visa compreender como a ergonomia física tem sido integrada no design de produtos, avaliar sua eficácia e impacto na usabilidade e conforto dos usuários e sugerir direções para futuras pesquisas na área.

2. Metodologia

Diferente das tradicionais revisões de literatura, que normalmente carregam mais da expertise dos autores envolvidos, as revisões sistemáticas tratam as revisões de literatura como um processo científico, aplicando conceitos empíricos e análises baseadas em dados, a fim de tornar o processo mais transparente, replicável e reduzir a possibilidade de viés. Essas revisões se tornaram uma metodologia chave no campo das ciências da saúde, pois desenvolvem ao longo do tempo infraestruturas específicas para lidar com essas revisões e refinar os métodos para novas questões de pesquisa (LAME, 2019).

No design, no entanto, alguns autores como Tranfield (2003) e Van Aken e Romme (2019) propõem que cientistas devam usar essa abordagem para desenvolver proposições com base em revisões sistemáticas de evidências empíricas. O autor Cash (2018) lamenta a adoção limitada do método de revisão sistemática na pesquisa em design, pois isso dificulta nossa capacidade de progredir na pesquisa acumulando e sintetizando os resultados.

No Quadro 1, foram discriminadas e resumidas as etapas metodológicas desta revisão sistemática. Tais etapas serão abordadas nos subcapítulos a seguir.

Quadro 1 - Metodologia

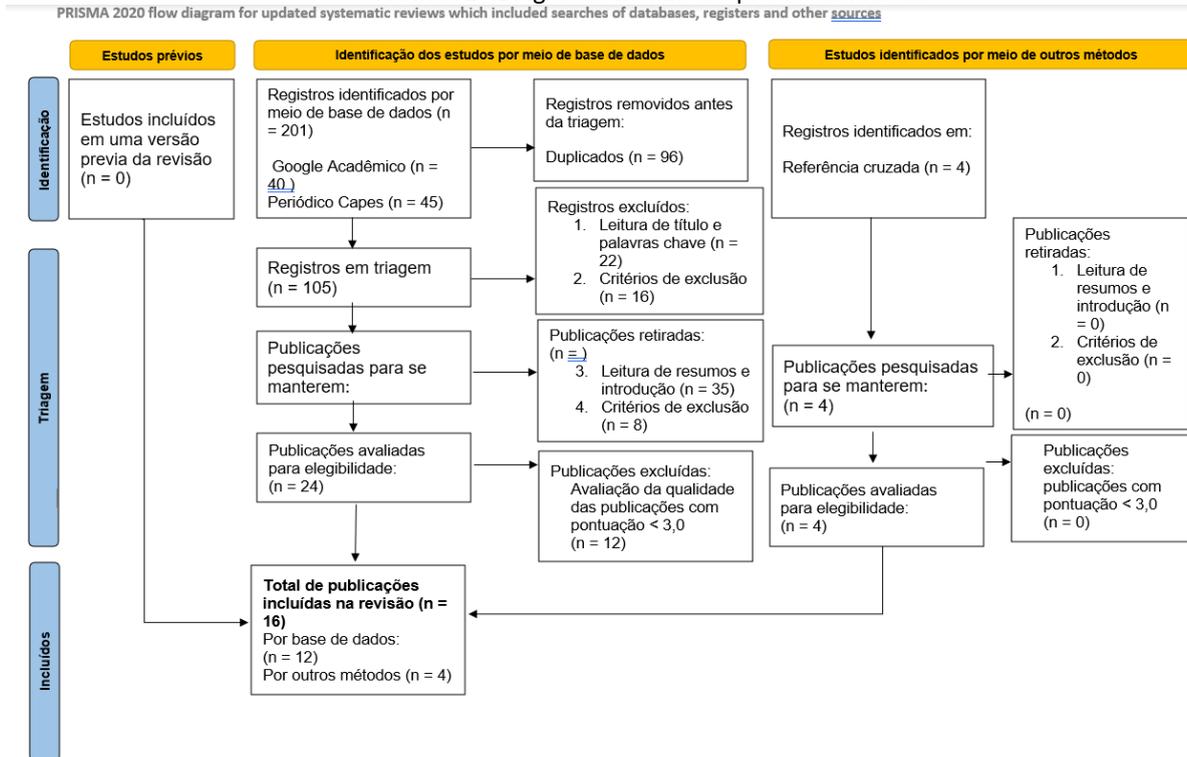
METODOLOGIA	
ETAPA	DESCRIÇÃO
PROTOCOLO	A utilização da plataforma Parsifal e do método PRISMA garantiu a organização e a condução sistemática da revisão (PRISMA, 2023).
QUESTÕES DE PESQUISA	A questão de pesquisa foi formulada com base na literatura existente e nas lacunas identificadas. Utilizou-se a estratégia PICO (População, Intervenção, Comparação e Outcomes) para guiar a formulação da pergunta específica de pesquisa (Xavier Macedo de Azevedo, Heimgärtner e Nebe, 2023).
ESTRATÉGIA DE BUSCA	Definiram-se os critérios de inclusão e exclusão dos estudos a serem analisados. A busca foi realizada em diversas bases de dados acadêmicas, incluindo Google Acadêmico, Periódico Capes e Science Research, com foco em publicações dos últimos cinco anos (Lame, 2019; Egger, Smith e Altman, 2008).
RESULTADOS E DISCUSSÕES	Nesta etapa, os resultados foram interpretados à luz da literatura existente, destacando as implicações práticas e teóricas dos achados. Discutiu-se também as limitações dos estudos analisados e as lacunas que ainda persistem (Lame, 2019).

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

2.1 Protocolo

Para assegurar maior rigor científico, coleta de dados precisos e qualidade dos artigos selecionados, utilizaremos a plataforma Parsifal, reconhecida no mundo acadêmico por seu método organizacional para revisões sistemáticas. Além dele, utilizaremos o método PRISMA (FIGURA 1) que conterá as etapas da revisão sistemática no que tange à seleção e análise dos artigos.

FIGURA 1 - Diagrama de fluxo do protocolo Prisma.



Fonte: Adaptada de Welcome (2021, documento on-line)

2.2 Questões de pesquisa

Temos como questão desta pesquisa: como a integração da análise ergonômica física no design de produtos afeta o conforto e a usabilidade para usuários com deficiência e quais são as práticas dominantes, lacunas de conhecimento e tendências emergentes nesse campo?

Para a definição desta pergunta de pesquisa, aplicou-se a estratégia PICO (METHLEY et al., 2014) – onde define-se o contexto (P), a intervenção (I), os fatores comparativos (C) e os desfechos (O). Na nossa pergunta temos: (P) o processo de desenvolvimento de produto; (I) a aplicação de análise ergonômica física; (C) os diversos fatores envolvidos nas análises ergonômicas físicas, tais como métodos de avaliação, ferramentas utilizadas e práticas de implementação; (O) a eficácia dos métodos e a eficiência das práticas na melhoria do conforto, funcionalidade e segurança dos produtos.

2.3 Estratégia de busca

Seguindo a definição da área de intervenção, a string de busca básica (quadro 1) foi primeiramente descrita em português e após traduzida para inglês tendo em vista sua maior abrangência, mas a busca também foi realizada em português a fim de não excluir publicações

relevantes na língua. Foram necessários testes com diversas combinações para validação das buscas, a fim de garantir combinações com maior assertividade.

QUADRO 2 - Estratégia de pesquisa *string* básica (em inglês)

ÁREA DE PESQUISA		INTERVENÇÃO		COMPARAÇÃO		RESULTADOS
Desenvolvimento de produto de tecnologia assistiva	AND	Aplicação de análise ergonômica	OR	Métodos, ferramentas e práticas de implementação	OR	Eficácia dos métodos
"ASSISTIVE TECHNOLOGY"; "INCLUSIVE DESIGN"; "ACCESSIBILITY"; "DESIGN FOR DISABLE"		"ERGONOMICS"; "COMFORT"; "USABILITY"		"PROTOCOL"; "TOOLS"; "METHODOLOGY"		"OUTCOME"; "RESULTS"

Fonte: elaborado pelos autores (2024)

Para a etapa inicial (identificação), foram considerados estudos, nas três bases de dados escolhidas, que se encaixassem nos seguintes critérios: artigos ou revisões sistemáticas publicados em revistas científicas ou periódicos entre os anos entre 2018 e 2023, considerando a busca atualizada de estudos. A definição das bases de dados se deu pela relevância e abrangência de pesquisa nas áreas investigadas, sendo Google Acadêmico (I), Periódico Capes (II) e Science Research (III). Em uma primeira triagem, foram identificados 201 estudos através da busca nas bases de dados, dos quais 96 eram duplicados, e 4 por referência cruzada.

Na segunda etapa da triagem, os 105 registros foram analisados, com aplicação dos critérios de inclusão e exclusão e posterior leitura de título e palavras-chave (quadro 1). Destes, foram considerados elegíveis para a próxima etapa 67 registros. Destes 67, após a leitura do resumo e da introdução e também da aplicação dos critérios de exclusão e inclusão, 24 se mantiveram elegíveis enquanto 43 foram excluídos das próximas etapas.

QUADRO 3 - Critérios de Inclusão e Exclusão

<p>Critérios de Inclusão</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estudos sobre ergonomia física e tecnologia assistiva • Estudos que apresentam resultados e discussão • Artigos completos • Artigos gratuitos • Tecnologias que sugiram o uso para análise ergonômica • Artigos científicas publicados em revistas ou eventos acadêmicos
<p>Critérios de Exclusão</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estudos com foco em ergonomia cognitiva e/ou visual • Estudos que não abordam análise ergonômica • Estudos que não estejam em português ou inglês • Estudos anteriores a 2018 (aberto a exceções)

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

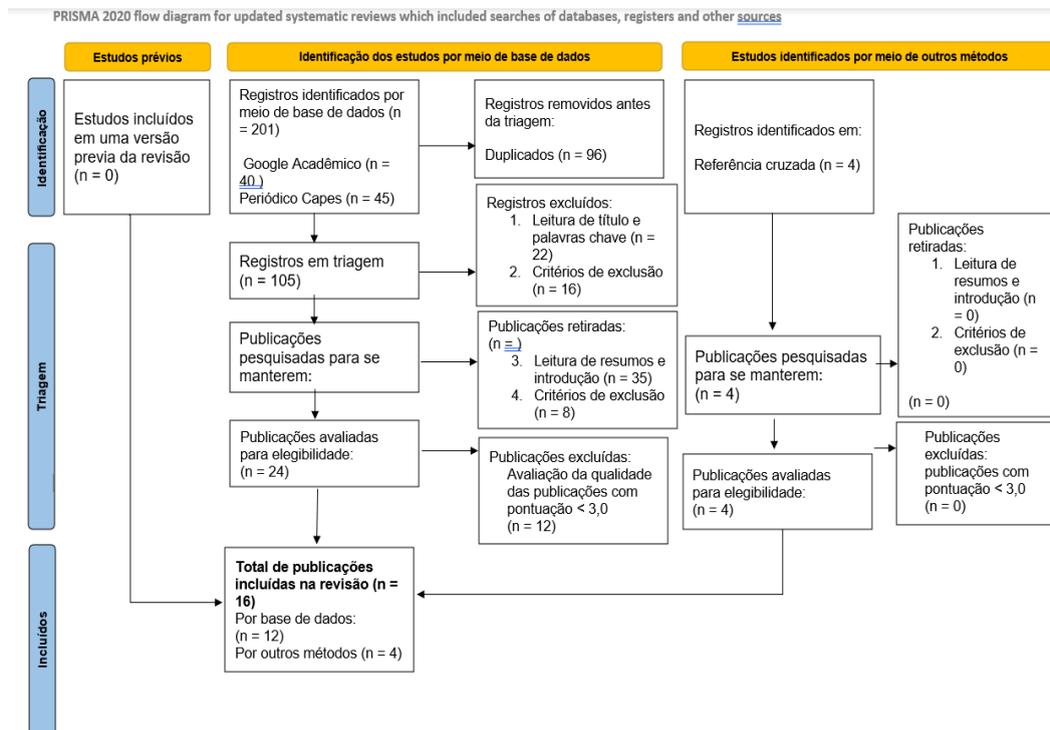
Para a etapa seguinte (elegibilidade) total de 24 registros foram lidos na íntegra e analisados, considerando os critérios de qualidade (Q) dispostos a seguir:

- Q1.** Aborda análise ergonômica física?
- Q2.** Se relaciona com tecnologia assistiva para pessoas com deficiência física?
- Q2.** Especifica os procedimentos metodológicos utilizados?
- Q3.** Indica as limitações do estudo e/ou da aplicação dos métodos considerados?
- Q4.** Indica possibilidades para pesquisas futuras?
- Q5.** Analisa e discute os resultados?

Para cada resposta foi atribuído um valor: sim (1,0), parcialmente (0,5) e não (0,0). Foram excluídos 11 artigos que não atingiram pontuação qualitativa < 4,5, restando 13 trabalhos.

Também participaram da triagem as 4 publicações advindas de referência cruzadas, as quais permaneceram elegíveis após avaliação através da leitura de título, resumo e introdução e da aplicação dos critérios de inclusão e exclusão.

Figura 2 PRISMA, protocolo 2020 para revisões sistemáticas para busca em base de dados



Fonte Adaptado de Welcome (2021, documento online)

Nesta revisão, portanto, foram incluídas 17 publicações (figura 2), as quais serão abordadas a seguir em relação aos dados coletados e discutidas conforme os temas propostos nas questões de pesquisa.

3. Resultados e Discussões

A análise ergonômica para pessoas com deficiências e o desenvolvimento de tecnologia assistiva são campos que têm ganhado atenção significativa nos últimos anos. O esforço multidisciplinar para entender as necessidades ergonômicas específicas desses indivíduos e o subsequente desenvolvimento de produtos assistivos que melhorem sua qualidade de vida são de suma importância. O quadro de resultados (QUADRO 4) revela um leque variado de abordagens metodológicas e considerações ergonômicas, refletindo o amplo espectro de deficiências e requisitos dos usuários.

Quadro 4 – Resultados da revisão sistemática

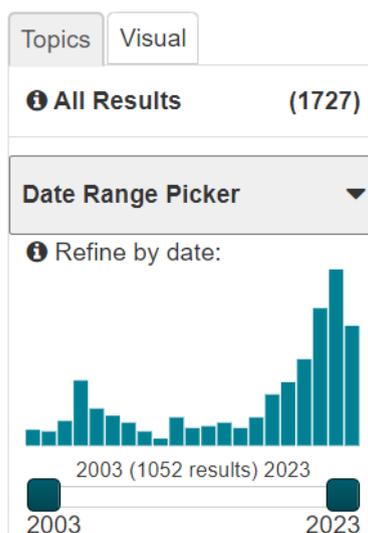
	DESCRIÇÃO
Tendências predominantes	Uso de ferramentas digitais como sensores de movimento (6 publicações) e MHD (2 publicações); colaboração interdisciplinar entre designers, engenheiros e especialistas em ergonomia.
Lacunas presentes	Necessidade de mais pesquisas integrando MHD e sensores de movimento; falta de protocolos específicos para diferentes tipos de deficiências.

Métodos com maior nível de assertividade	Sensores de movimento; uso de MHD; softwares de análise postural.
Métodos com maiores dificuldades	Métodos tradicionais como questionários e observações diretas; limitação técnica de equipamentos específicos; fadiga dos participantes com a aplicação de métodos tradicionais.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Na fase de identificação, passo inicial da revisão sistemática, percebemos que de modo geral o tópico gradualmente tem se feito mais presente nos estudos publicados nos últimos anos. Na base de dados Science Research, que gera automaticamente um gráfico com a presença temporal do tema em estudos acadêmicos, observamos que o aumento foi exponencial de 2017 a 2022, diminuindo suavemente em 2023. Analisando os artigos finais selecionados para leitura na íntegra, também pudemos quantificar que a maior parte dos artigos científicos foram publicados nos anos de 2019, 2020 e 2022 (Gráfico 1).

Figura 3 - Aplicação da string de busca ("inclusive design" AND "ergonomics") AND ("analysis" OR "protocol") AND ("accessibility" OR "assistive technology")



Fonte: Science Research (2023)

Figura 4 - Quantidade de artigos por ano de publicação.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Dos 17 artigos analisados em sua completude, a maior incidência, com 9 estudos, relaciona-se a deficiências físicas gerais, o que indica uma abordagem mais ampla e inclusiva em relação aos recursos e estratégias de Tecnologia Assistiva, com consideráveis referências ao conceito de Design Universal, que de acordo com a Convenção das Nações Unidas sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência (2006), é uma abordagem preferencial de design de produtos, ambientes, programas e serviços utilizáveis por todas as pessoas, na maior extensão possível, sem a necessidade de adaptação ou design especializado.

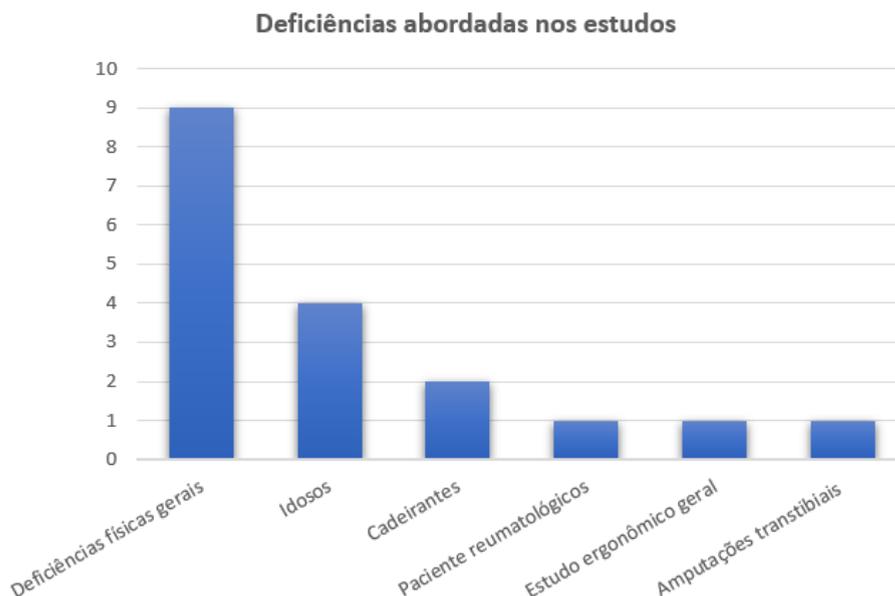
Esse tipo de foco generalista é valorizado na literatura por sua capacidade de abranger uma ampla gama de necessidades, possibilitando soluções que beneficiam um espectro mais vasto de usuários (COOK & POLGAR, 2015).

Os estudos centrados em pessoas usuárias de cadeira de rodas, que totalizam 4, refletem a necessidade de endereçar desafios específicos enfrentados por este grupo, como a necessidade de dispositivos de mobilidade e acessibilidade no ambiente construído (SMITH, 2015). O enfoque em idosos, aparecendo em 2 artigos, é consistente com a crescente preocupação com o envelhecimento da população e a prevalência de deficiências relacionadas à idade (IWARSSON & STÅHL, 2003). Um dos artigos abrange cadeirantes e idosos em conjunto e por isso foi contabilizado duas vezes, uma em cada grupo.

O único estudo direcionado a pacientes reumatológicos destaca a importância de considerar condições crônicas que afetam a mobilidade e a ergonomia diária (STUCKI & SMOLEN, 1998), uma vez que não apenas trauma leva a essas dificuldades. Enquanto a pesquisa sobre amputações transtibiais sublinha a necessidade de tecnologias assistivas específicas que ajudem na reabilitação e melhoria da qualidade de vida (GAILEY et al., 2008).

De acordo com Karwowski (2006), a inclusão de um estudo não específico para deficiências, mas relevante devido aos seus métodos de análise ergonômica, ressalta a importância de abordagens metodológicas robustas no desenvolvimento e avaliação de tecnologias assistivas. Portanto, foi considerada a importância do mapeamento de análises ergonômicas para essa revisão sistemática também com objetivos não relacionados a tecnologia assistiva, compreendendo que métodos e protocolos podem ser adaptados para tal fim.

Figura 5 - Gráfico com os tipos de deficiência abordadas



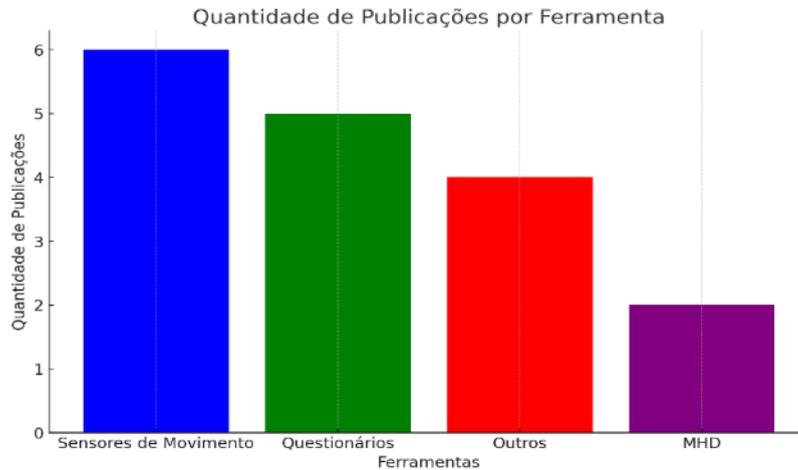
Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

A análise das publicações revelou uma diversidade de ferramentas utilizadas na condução das análises ergonômicas físicas. O gráfico apresentado na Figura 6 ilustra a distribuição da quantidade de publicações por ferramenta utilizada nos estudos selecionados. Observa-se que as ferramentas digitais, como os sensores de movimento, são as mais utilizadas, com um total de 6 publicações. Os questionários foram empregados em 5 estudos, demonstrando a continuidade do uso de métodos tradicionais de coleta de dados ergonômicos. O Modelo Humano Digital (DHM) aparece em 2 publicações, destacando sua relevância apesar do menor número de estudos. Por fim, a categoria "Outros" engloba 4 publicações que utilizaram diversas ferramentas menos comuns, evidenciando a diversidade de abordagens metodológicas na área.

Esses números indicam uma tendência clara na literatura em favor da utilização de tecnologias avançadas para a análise ergonômica, refletindo a busca por maior precisão e abrangência nas avaliações, tendo todavia como contraponto o custo dessas tecnologias e a dificuldade de manejo dos softwares envolvidos. Alguns equipamentos, além de caros e de complicado manejo, também são passíveis de apresentar limitações técnicas, como é o caso do Scanner 3D Artec Eva, que demonstra pouca precisão no mapeamento do movimento específico das mãos a que se propõe o estudo que o utiliza, uma vez que as articulações das mãos são múltiplas, pouco espaçadas entre si e bastante flexíveis (XAVIER MACEDO DE AZEVEDO et al. 2023).

Eldar e Fisher-Gewirtzman (2019) propõem um modelo de avaliação chamado RT-MHV, que busca visualizar o conforto postural dinâmico em tempo real, baseado em volumes de histórico de movimento (MHV) para uso em design ergonômico. Este modelo visa combinar ergonomia, design e tecnologia da informação para criar um modelo assistivo para aplicações de design. Como desafio, temos também nesse estudo a limitação do método a articulações específicas, o que torna o modelo inadequado para análise de todos os tipos de ações e tarefas (GAILEY et al. 2008).

FIGURA 6 - Quantidade de publicações por ferramenta



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

O artigo “ErgoMaps: Towards Interpretable and Accessible Automated Ergonomic Analysis” (2022) compara métodos manuais e métodos automatizados de análise ergonômica, destacando que os métodos manuais são pouco precisos, demorados em coleta de dados e deixam margem para subjetividade na análise, enquanto os automatizados são mais rápidos e precisos. No entanto, destaca também que, ainda que sejam mais oportunos, geralmente têm custo elevado e são pouco acessíveis pela comunidade acadêmica geral, assim como os softwares associados geralmente são complexos e pouco intuitivos.

No estudo realizado por Kermavnar et al. (2021), o objetivo foi explorar o uso de tecnologias de Manufatura Aditiva (MA) no desenvolvimento ergonômico de produtos, com um foco particular nas técnicas de Modelagem por Deposição Fundida (FDM) e Sinterização Seletiva a Laser (SLS). Essas técnicas foram analisadas quanto à sua aplicabilidade na criação de protótipos e produtos finais que atendem a critérios ergonômicos específicos. Um desafio significativo identificado foi a conciliação entre as demandas de personalização ergonômica, como a antropometria dos indivíduos, e as limitações técnicas e econômicas da Manufatura Aditiva. A pesquisa destacou a importância da escolha adequada de materiais, como o Ácido Polilático (PLA) e o Estireno Acrilonitrila Butadieno (ABS), para otimizar a usabilidade e o conforto dos produtos desenvolvidos (KERMAVNAR et al., 2021).

Em conjunto ao uso de sensores de movimento, Dahibhate et al (2023) analisa o uso do MHD¹ como ferramenta complementar e de suma importância para a análise ergonômica, uma vez que as características antropométricas do indivíduo interferem em seu conforto e usabilidade dos produtos e ambientes. Além disso, destaca a relevância de técnicas como a Técnica de Padrão de Tempo Predeterminado (PTS), que é um método usado para calcular o tempo de ciclo necessário para realizar processos ou tarefas específicas por funcionários competentes em um nível esperado de desempenho. A técnica de PTS auxilia na melhoria da identificação, categorização e

¹ O Modelo Digital Humano (MHD) refere-se a uma representação computacional detalhada das características anatômicas e fisiológicas do corpo humano. Essa ferramenta é amplamente utilizada em diversas áreas, incluindo design ergonômico, biomedicina, e estudos de usabilidade, devido à sua capacidade de simular interações complexas entre o ser humano e diferentes produtos ou ambientes. O MHD permite a avaliação de posturas, movimentos e esforços físicos, proporcionando insights precisos sobre o conforto, a segurança e a eficiência das atividades humanas (XAVIER MACEDO DE AZEVEDO et al., 2023).

caracterização dos movimentos realizados para executar tarefas específicas e a integração com o MHD sugere maior precisão na análise ergonômica de produtos e tarefas (DAHIBHATE, 2023).

O estudo de Merino et. al (2018) também sugere o uso de técnicas integradas, utilizando não apenas sensores de movimento com sensores inerciais, mas termografia infravermelha, eletromiografia de superfície e dinamometria manual. Os métodos acabam se complementando e tornando a análise ergonômica mais precisa em contraponto com métodos que utilizam uma única ferramenta de medição, mas por outro lado a análise acaba sendo mais onerosa e levando mais tempo, além de fatigar possíveis voluntários da pesquisa.

Quanto às análises cujo método são os questionários, sejam eles o método principal ou coadjuvante na pesquisa, nos demonstram a necessidade da proximidade com o usuário que utilizará o produto foco da análise ergonômica ou que executará a tarefa em questão. Shore et al (2020) sublinha como desafio desse tipo de método o longo tempo para responder o questionário, o que pode levar os respondentes à fadiga e desencorajar a participação de usuários nesse tipo de coleta de dados. Além disso, não há requisitos pré-definidos de questionários para determinado público ou necessidade, o que pode tornar a abordagem dos mesmos muito diversa e à escolha do pesquisador, podendo comprometer os resultados, uma vez que perguntas inadequadas podem resultar em dados não adequados e, conseqüentemente, pôr em risco o desenvolvimento futuro do produto em questão.

No estudo de Shore et al (2020), além de pontuada a fadiga dos respondentes em relação ao período para responder o questionário, que foi de 2,5h (duas horas e meia), também foi apontado pelos participantes como fator crítico a estética do exoesqueleto, objeto foco da pesquisa. Pesquisadores como Pullin (2009) argumentam que o design de tecnologias assistivas deve transcender a funcionalidade pura, incorporando considerações estéticas para criar produtos que os usuários se sintam orgulhosos de usar. Da mesma forma, Shinohara e Wobbrock (2011) destacam a importância de incluir usuários com deficiência no processo de design, para assegurar que tanto as necessidades funcionais quanto as preferências estéticas sejam adequadamente atendidas.

Rubin e Chisnell (2008) definem o Design Centrado no Usuário como um processo em que os designers focam nas necessidades, desejos e limitações dos usuários finais de produtos, serviços ou processos desde o início do design e em todas as fases de desenvolvimento. Eles enfatizam a importância de envolver os usuários através de métodos de pesquisa e teste para criar produtos que sejam usáveis e atendam às necessidades dos usuários.

Quando falamos de Design Centrado no Usuário e tecnologia assistiva é necessária, além da aprovação por Comitê de Ética, a sensibilidade do pesquisador em elaborar os questionários ou conduzir os testes a que se propõe a pesquisa, uma vez que o participante deve se sentir confortável e em um ambiente seguro para contribuir com sua história de vida e percepções (Rubin e Chisnell, 2008).

De uma perspectiva mais ampla, nota-se a presença de uma vasta gama de métodos de pesquisa, cada qual com seus méritos e limitações distintas, mas podemos sublinhar as tecnologias envolvendo sensores de movimento e integração com MHD e com softwares de leitura dos dados coletados como métodos promissores, com interesse crescente da comunidade científica no tema e os resultados, ainda que muitas vezes preliminares, já apresentam maior precisão no desfecho e conseqüentemente nas análises ergonômicas.

4. Considerações finais

Diante dos resultados, observamos que o uso de ferramentas digitais é predominante, bem como notória a lacuna existente na integração entre uma ou mais ferramentas para um melhor resultado na análise ergonômica no design de produto para pessoas com deficiência física. Os artigos apresentam também a complexidade dos sistemas de análise utilizados e os altos custos associados aos softwares de maior precisão. Esta realidade impõe significativas barreiras ao avanço e à acessibilidade das soluções em tecnologia assistiva, conforme destacado por diversos autores como Andriacchi e Alexander (2000) e Baitel, Deliu e Cordun (2014). Além disso, o baixo número geral de pesquisas focadas na união entre o uso de Modelo Digital Humano (MHD) e sensores de movimento limita a personalização e eficácia dos dispositivos assistivos (AMARAL et al., 2020).

A ausência de protocolos de análise ergonômica específicos para diferentes tipos de deficiências é outro ponto crítico identificado na literatura. Esta falta de padronização dificulta o desenvolvimento de produtos assistivos, restringindo a capacidade dos designers de atenderem às necessidades individuais destes usuários. Este desafio é corroborado pelos trabalhos de LEE et al., (2015) que enfatizam a necessidade de métodos mais adaptáveis e personalizáveis na avaliação ergonômica. Dada a diversidade de deficiências físicas existentes, torna-se necessário um método que permita o uso da antropometria, sem exigir o desenvolvimento de uma metodologia inteiramente nova para cada produto específico voltado a uma determinada deficiência.

Ademais, mesmo os estudos que visam à simplificação dos processos de análise acabam por gerar uma quantidade excessiva de dados, o que pode tornar a interpretação e a aplicação dos resultados uma tarefa complexa e desafiadora (DAMGRAVE e LUTTERS, 2009), onde se observa que a abundância de informações pode ser tão avassaladora que dificulta a tomada de decisões eficazes no design de produtos assistivos. Ainda que o método apoie a análise ergonômica, a dificuldade de analisar os dados ou mesmo de obtê-los pode causar a baixa adesão dos designers e engenheiros, o que diminui a probabilidade do sucesso ergonômico de um produto.

Portanto, há uma clara necessidade de desenvolver ferramentas, protocolos e metodologias mais acessíveis e menos complexas para a análise ergonômica no desenvolvimento de produtos para tecnologia assistiva. A simplificação desses processos permitiria que designers e engenheiros avaliassem mais facilmente a ergonomia postural em tarefas dinâmicas simples, contribuindo assim para a criação de produtos mais eficazes, confortáveis e verdadeiramente adequados às necessidades dos usuários (GOMES FILHO, 2010).

De modo geral o objetivo da revisão sistemática foi alcançado, uma vez que pudemos observar quais as tendências predominantes no campo de pesquisa, as lacunas presentes nas mesmas, os métodos que apresentam maior índice de assertividade e os que apresentam maiores dificuldades, abrindo campo para futuras pesquisas e utilização desses métodos de acordo com o objetivo do pesquisador. Diante de tantos métodos difusos, encontrar o melhor deles para a finalidade almejada se mostra primordial, uma vez que, conforme as diversas pesquisas concluíram, a análise ergonômica é indispensável para um resultados no desenvolvimento de produtos de tecnologia assistiva que sejam inclusivos, acessíveis e confortáveis.

5. Referências

ACESSIBILIDADE DIGITAL. **Convenção das nações unidas sobre os direitos das pessoas com deficiência.** (2006). Nova York: ONU. (<https://www.gov.br/governodigital/pt-br/acessibilidade-e-usuario/acessibilidade-digital/convencao-direitos-pessoas-deficiencia-comentada.pdf>)

- AKEN, V.; ERNST, J.; ROMME, A. **A Design Science Approach to Evidence-Based Management**, in Denise M. Rousseau (ed.), *The Oxford Handbook of Evidence-Based Management*, Oxford Library of Psychology (2012; online edn, Oxford Academic, 18 Sept. 2012). (<https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199763986.013.0003>)
- AMARAL, D. S., AMORIM, B. E. F., ROSA, C. S., SANGUINETTI, D. C. M., CABRAL, A. K. P. S., MERINO, G. S. A. D. (2020). **Aplicabilidade da captura de movimentos na pesquisa interdisciplinar de tecnologia assistiva: um relato de experiência**. *Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional*. Ahead of Print. (<https://doi.org/10.4322/2526-8910.ctoRE2023>)
- ANDRIACCHI, T. P.; ALEXANDER, E. J. **Studies of human locomotion: past, present, and future**. *Journal of Biomechanics*, v. 33, n. 10, p. 1217-24, Oct. 2000. DOI: 10.1016/S0021-9290(00)00061-0.
- ASSISTIVE TECHNOLOGY INDUSTRY ASSOCIATION. **What is Assistive Technology?** ATIA: Assistive Technology Industry Association. (<https://www.atia.org/>)
- BAITEL, I.; DAN, D. **Kinematic Analysis of the Cross Punch Applied in the Full-Contact System Using Inertial Navigation Technology and Surface Electromyography**. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 117, p. 335-340, 2014. DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.02.223.
- BROBERG, O. **Integrating ergonomics into the product development process**. *International Journal of Industrial Ergonomics*, v. 19, n. 4, p. 317-327, 1997. DOI: 10.1016/S0169-8141(96)00041-8.
- CASH, P. J. **Developing theory-driven design research**. *Design Studies*, v. 56, p. 84-119, 2018. DOI: 10.1016/j.destud.2018.03.002.
- COOK, A. M.; POLGAR, J. M. **Cook and Hussey's assistive technologies: Principles and practice**. St. Louis: Elsevier Health Sciences, 2015.
- DAHIBHATE, G.; SHINDE, R.; SAKLE, N. **The use of digital human modeling in ergonomic design and product development**. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, v. 104, n. 5, p. 1133-1138, 2023.
- DAMGRAVE, R. G. J.; LUTTERS, D. **The drift of the xsens moven motion capturing suit during common movements in a working environment**. In: *PROCEEDINGS OF CIRP DESIGN CONFERENCE, 2009, Cranfield, United Kingdom*. Cranfield: Cranfield University Press, 2009. p. 277-292.
- DE LOOZE, M. P.; BOSCH, T.; KRAUSE, F.; STADLER, K. S.; O'SULLIVAN, L. W. (2015). **Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load**. *Ergonomics*, 59(5), 671-681. (<https://doi.org/10.1080/00140139.2015.1081988>)
- EGGER, M.; SMITH, G. D.; ALTMAN, D. G. (Eds.). **Systematic reviews in health care: meta-analysis in context**. 2. ed. London: BMJ Books, 2008.
- GAILEY, R. et al. **The amputee mobility predictor: An instrument to assess determinants of the lower-limb amputee's ability to ambulate**. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, v. 89, n. 5, p. 613-627, May 2008.
- IWARSSON, S.; STÅHL, A. **Accessibility, usability and universal design—positioning and definition of concepts describing person-environment relationships**. *Disability and Rehabilitation*, v. 25, n. 2, p. 57-66, 2003.
- KARWOWSKI, W. **International encyclopedia of ergonomics and human factors**. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2006.

- KERMAVNAR, T.; SHANNON, A.; O'SULLIVAN, L. W. **The application of additive manufacturing / 3D printing in ergonomic aspects of product design: A systematic review.** Applied Ergonomics, v. 97, 103528, 2021. DOI: 10.1016/j.apergo.2021.103528.
- LAME, G. **Systematic Literature Reviews: An Introduction.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN (ICED19), 22., 2019, Delft. Proceedings... Delft: [s.n.], 2019. DOI: 10.1017/dsi.2019.169.
- LEE, B.; JUNG, K.; JEONG, J.; KIM, J.; HONG, W.; PARK, S.; YOU, H. (2015). **Ergonomic Evaluation of Console Chairs for a Weapon Locating Radar.** Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 59(1), 1409-1413. (<https://doi.org/10.1177/1541931215591306>)
- LONG, J. (2011). **Users of assistive technology also require assistance with ergonomics.** Work, 39(1), 79-84. ergonomics.
- MALLETT, R.; HAGEN-ZANKER, J.; SLATER, R.; & DU VENDACK, M. (2012). **The benefits and challenges of using systematic reviews in international development research.** Journal of Development Effectiveness, 4(3), 445–455. (<https://doi.org/10.1080/19439342.2012.711342>)
- METHLEY, A. M.; CAMPBELL, S.; CHEW-GRAHAM, C.; MCNALLY, R.; CHERAGHI-SOHI, S. (2014). **PICO, PICOS and SPIDER: a comparison study of specificity and sensitivity in three search tools for qualitative systematic reviews.** BMC health services research, 14(1), 1-10.
- PIKAAR, R. N.; KONINGSVELD, E. A. P.; SETTELS, P. J. M. **Meeting Diversity in Ergonomics.** Oxford: Elsevier, 2007.
- PRISMA. **Welcome to the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses.** (PRISMA) website. (<https://prisma-statement.org/>)
- PULLIN, G. **Design Meets Disability.** Cambridge: MIT Press, 2011.
- RANIT ELDAR, D.; FISHER-GEWIRTZMAN, D. **Ergonomic design visualization mapping: developing an assistive model for design activities.** International Journal of Industrial Ergonomics, v. 74, 102859, 2019. DOI: 10.1016/j.ergon.2019.102859.
- RUBIN, J.; CHISNELL, D. **Handbook of usability testing: How to plan, design, and conduct effective tests.** (2008). John Wiley & Sons, Second Edition, 2011.
- SAGOT, J.-C.; GOUIN, V.; GOMES, S. **Ergonomics in product design: safety factor.** Safety Science, v. 41, p. 137–154, 2003. DOI: 10.1016/S0925-7535(02)00038-3.
- SHINOHARA, K.; WOB BROCK, K. **In the shadow of misperception: assistive technology use and social interactions.** In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '11). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 705–714. (<https://doi.org/10.1145/1978942.1979044>)
- SHORE, L.; POWER, V.; HARTIGAN, B.; SCHÜLEIN, S.; GRAF, E.; de EYTO, A.; O'SULLIVAN, L. **Exoscore: A Design Tool to Evaluate Factors Associated With Technology Acceptance of Soft Lower Limb Exosuits by Older Adults.** Hum Factors. 2020 May;62(3):391-410. doi: 10.1177/0018720819868122. Epub 2019 Aug 16. PMID: 31419179.
- SILVA, J. C. P. da; PASCHOARELLI, L. C. (Orgs.). **A evolução histórica da ergonomia no mundo e seus pioneiros.** São Paulo: Cultura Acadêmica, 2010.
- SMITH, R. O. **Wheelchair selection and configuration.** New York: Demos Medical Publishing, 2015.

STUCKI, G.; SMOLEN, J. S. **The role of physical therapy in the management of rheumatoid arthritis.** *Journal of Rheumatology*, v. 25, n. 1, p. 18-21, 1998.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. **Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review.** *British Journal of Management*, v. 14, n. 3, p. 207–222, 2003. DOI: 10.1111/1467-8551.00375.

XAVIER MACEDO DE AZEVEDO, F.; HEIMGÄRTNER, R.; NEBE, K. **Development of a metric to evaluate the ergonomic principles of assistive systems, based on the DIN 92419.** *Ergonomics*, v. 66, n. 6, p. 821-848, June 2023. DOI: 10.1080/00140139.2022.212792