



Método de análise ergonômica para interfaces de smartphones através de visão computacional e mapeamento do desconforto

Ergonomic analysis method for smartphone interfaces using computer vision and discomfort mapping

Danilo Fernandes Vitorino, UFPE.
danilo.fernandesvitorino@ufpe.br

Walter Franklin Marques Correia, UFPE.
walter.franklin@ufpe.br

Márcio Alves Marçal, UFVJM.
marcioalvesmarcal@gmail.com

Resumo

Os smartphones são parte essencial da vida contemporânea das pessoas, trazendo benefícios, mas também riscos físicos e psicológicos. Esta pesquisa tem como objetivo propor um método e ferramenta de análise ergonômica, para avaliar interfaces gestuais de aplicativos móveis, auxiliando designers a criar interações mais adequadas às limitações físicas dos usuários, reduzindo desconfortos e riscos de lesões. Foram realizados dois estudos experimentais: [1] com 10 voluntários, utilizando a interface original do Feed do Instagram, em três formas de interação (interfaces A, B e C); [2] com 12 voluntários, comparando a interface A com um redesign (X), baseado em recomendações ergonômicas. A interface X reduziu 31,7% dos gestos; 47,3% da exposição crítica da articulação CMC e 46,6% das queixas de desconforto nas mãos.

Palavras-chave: Smartphone, Desconforto, Avaliação Ergonômica, Polegar, Design de Interação.

Abstract

Smartphones are an essential part of contemporary life, bringing benefits but also physical and psychological risks. This research proposes a method and ergonomic analysis tool to evaluate gesture-based interfaces in mobile applications, helping designers create interactions better suited to users' physical limitations, reducing discomfort and injury risks. Two experimental studies were conducted: [1] with 10 volunteers, using the original Instagram Feed interface in three interaction modes (interfaces A, B, and C); [2] with 12 volunteers, comparing interface A with a redesigned version (X), based on ergonomic recommendations. Interface X reduced the number of gestures by 31.7%, critical exposure of the CMC joint by 47.3%, and reports of hand discomfort by 46.6%.

Keywords: Smartphone, Discomfort, Ergonomic Assessment, Thumb, Interaction Design.





Introdução

Os smartphones se tornaram parte central do cotidiano, com mais de quatro bilhões de usuários em todo o mundo (Cuponation, 2021). A frequência de uso de tais aparelhos pode resultar em riscos à saúde, como distúrbios musculoesqueléticos, associados à má postura e movimentos repetitivos (Eitivipart; Viriyarajanakul; Redhead, 2018; Xie; Szeto; Dai, 2017).

Diante desse cenário, torna-se essencial avaliar se os gestos utilizados são ergonomicamente adequados e considerar intervenções no design ou redesign das interfaces, para reduzir riscos associados ao uso frequente de smartphones.

Assim, para abordar essas questões, foi proposto um novo método e ferramenta para avaliação ergonômica de interfaces gestuais de aplicativos para smartphones baseado em visão computacional e percepção de desconforto, e desenvolvida a seguinte hipótese: procedimentos de avaliação de movimentos articulares, repetitividade e percepção contribuem para o redesign da interface digital de smartphones visto que permitem verificar a diminuição de desconforto e a redução de sobrecarga biomecânica.

Portanto, o objetivo geral dessa pesquisa foi: desenvolver um método para a avaliação da ergonomia física das interfaces gestuais dos smartphones, com o intuito de identificar problemas que comprometam o conforto e as estruturas musculoesqueléticas dos usuários durante a interação e, assim, testar a hipótese.

Proposta de método de avaliação

Selecionaram-se ferramentas práticas, não invasivas e de fácil aplicação, para mapear desconfortos e limitações físicas, orientando melhorias na interação, com foco no conforto do usuário e na redução de riscos físicos.

Etapas do método de avaliação ergonômica da IGS

O método proposto visa apoiar o design ergonômico na avaliação de interfaces gestuais de smartphones (IGS), tanto existentes quanto de protótipos em desenvolvimento. Baseia-se na etapa de Diagnóstico Ergonômico da Intervenção Ergonomizadora, de Moraes e Mont'Alvão (2000).

Alguns ajustes foram realizados para adequar o método, o qual foi estruturado nas seguintes etapas:

1. Definição da tarefa do aplicativo (App);
2. Mapeamento das atividades da tarefa;
3. Registro e aferição das variáveis de interesse: posturas corporais, movimentos articulares do polegar, mapeamento e nível de desconforto corporal;
4. Diagnóstico e Proposições Ergonômicas.

Após a avaliação, desenvolvem-se soluções ergonômicas, com base nas limitações identificadas. Os protótipos são testados com o mesmo método, comparando resultados. Esse ciclo iterativo se repete até alcançar melhorias na interação e reduzir impactos físicos negativos nos usuários (Paschoarelli; Silva, 2006).

A seguir, as etapas de avaliação serão detalhadas e ilustradas com o aplicativo avaliado no Estudo 1 e redesenhado no Estudo 2.

Definição da tarefa do App

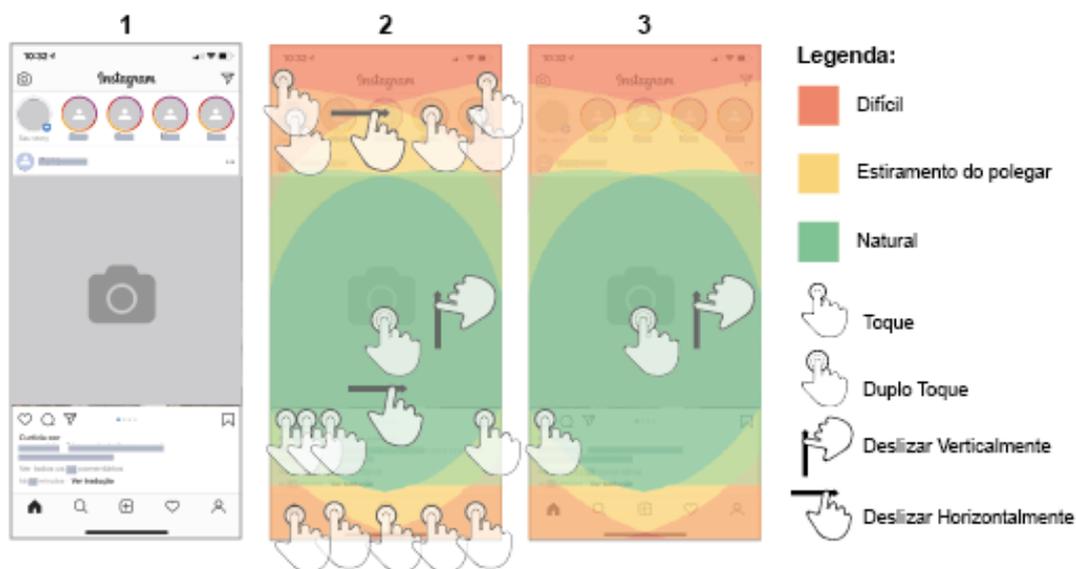
A definição da tarefa ocorre após a criação ou a correção da interface, considerando objetivos, requisitos e participação do usuário. Para validar o método, analisou-se o Feed do Instagram, por ser o aplicativo de rede social mais utilizado e com alta frequência de uso diário pelos brasileiros (App Annie, 2021).

A tarefa definida para o experimento foi a seguinte: navegar no Feed do Instagram, em postura sentada e confortável, com apoio para os cotovelos, sem lesões pré-existentes e com baixo nível de estresse psicológico, verificado por autorrelato. Dessa forma, é possível uniformizar o experimento, evitando variações e complexidade na interpretação dos dados.

Mapeamento das atividades da tarefa

Mapearam-se as ações da tarefa e o tempo necessário para a experimentação. Verificou-se se as áreas interativas estavam nas zonas de alcance dos polegares (Hoover, 2017a). A Figura 1 mostra a tela uniformizada do Feed do Instagram (1), com o mapeamento espelhado das zonas dos polegares e seus níveis de alcance (vermelho, amarelo e verde), os gestos possíveis de interação (2) e os mais prováveis de uso (3), avaliados quanto ao movimento e à repetitividade. As atividades incluíram explorar o Feed por cinco minutos, ler legendas e curtir postagens.

Figura 1: Mapeamento dos Gestos



Fonte: Autores

Registro e aferição das variáveis de interesse

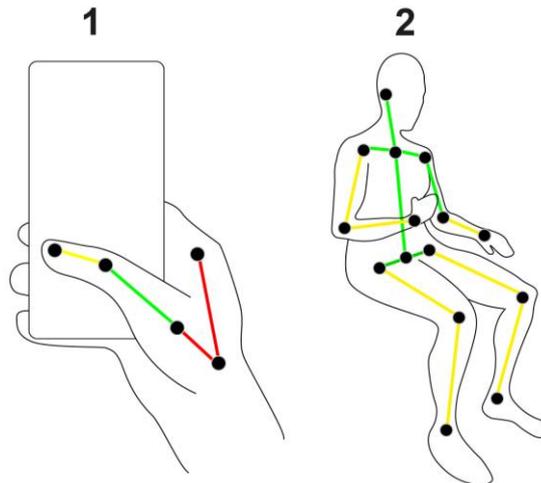
Durante o experimento, registraram-se movimentos, posturas e percepção de desconforto antes e após o uso. O estudo adotou as seguintes diretrizes: mensurar variáveis objetivas (movimentos

e ângulos articulares), subjetivas (regiões e níveis de desconforto) e comparar os resultados entre as interfaces gestuais. As técnicas e procedimentos serão detalhados nas próximas seções.

Análise de postura e movimentos

As posturas e movimentos foram registrados por filmagem contínua e analisados por rastreamento de visão computacional. A Figura 2 exibe duas posições avaliadas, com cores que indicam exposição biomecânica: verde (baixa), amarelo (moderada) e vermelho (elevada).

Figura 2: Posições registradas através de filmagem contínua e segmentos do corpo capturados



Fonte: Autores

Os vídeos foram analisados com o Kinebot (Figura 3), que utiliza inteligência artificial e visão computacional para mapear movimentos e indicar riscos, conforme normas ergonômicas (Kinebot, 2022), sendo analisados ângulos articulares, posturas e tempo de execução, identificando situações de risco, por meio de parâmetros pré-determinados (RULA, REBA ou personalizado).

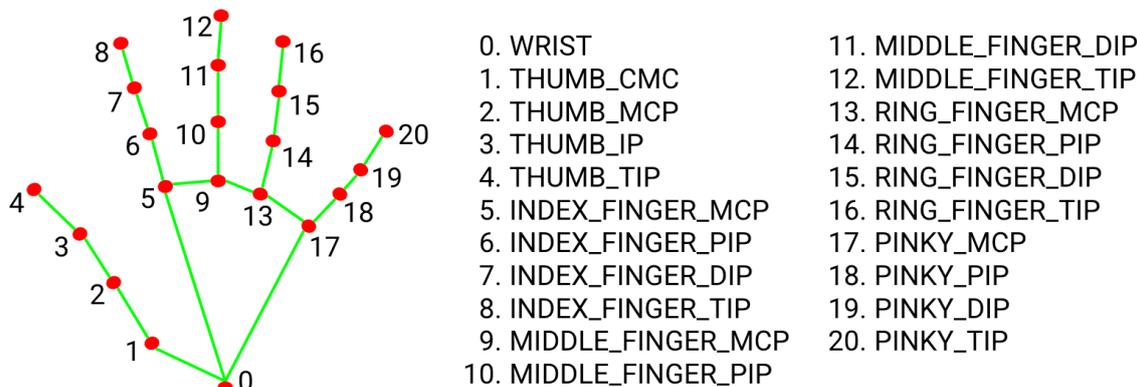
Figura 3: Demonstração de análise do Kinebot



Fonte: Kinebot, 2022

Para analisar os movimentos articulares das mãos e dos dedos, foi desenvolvida uma ferramenta em Python, com o MediaPipe Hands (Google, 2020), que rastreia 21 pontos por mão (Figura 4), com precisão entre 86,22% e 95,7% para essa região (Veluri *et al.*, 2022). Para o polegar, Shinohara *et al.* (2024) relataram correlações entre 0,94 e 0,99 na estimativa do ângulo CMC. Assim, as filmagens foram realizadas sem a necessidade de marcadores reflexivos ou sensores fixados ao corpo, facilitando a coleta de dados.

Figura 4: MediaPipe Hands com 21 pontos de referência 3D de uma mão



Fonte: Google, 2020

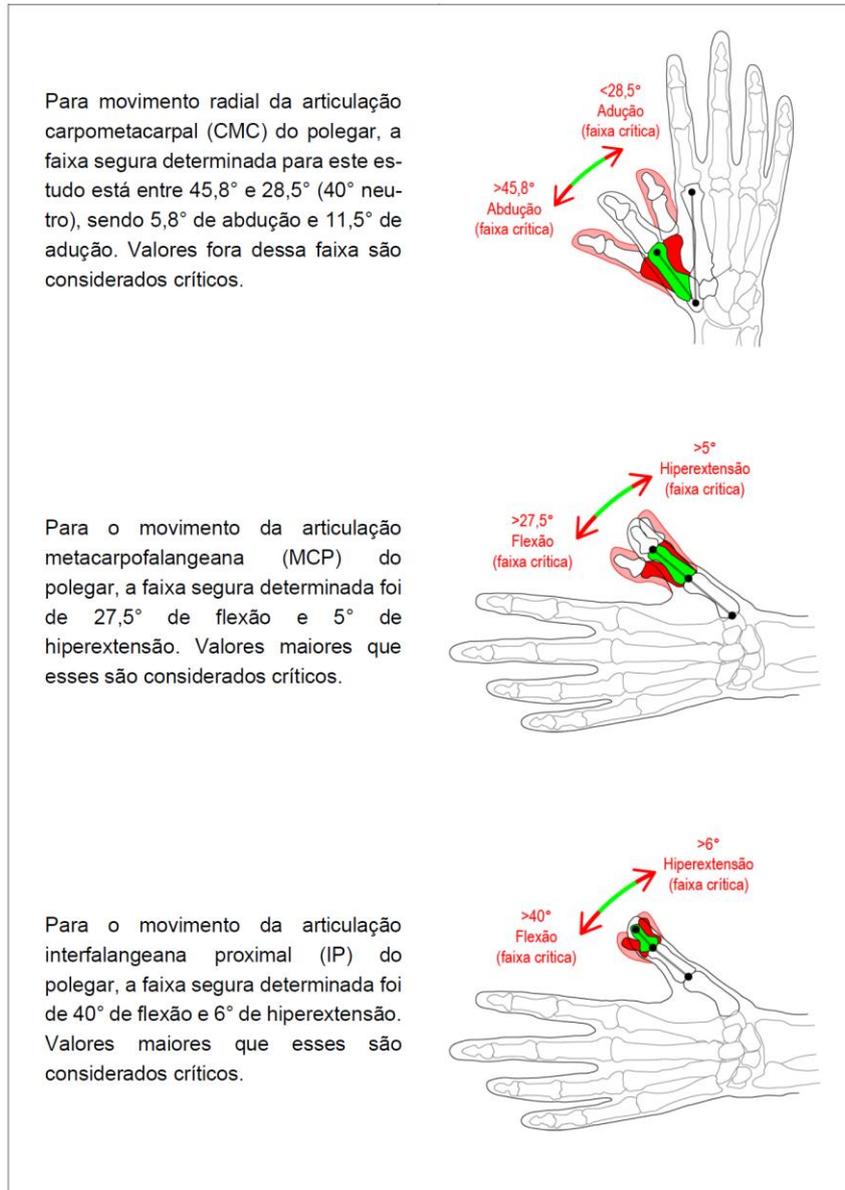
O polegar é o dedo mais utilizado na interação com smartphones (Hooper, 2013, 2017b), embora faltem parâmetros específicos para suas articulações (Tegtmeier, 2018). Por isso, adotaram-se os parâmetros de Drury (1987), que classificam a exposição articular em: até 10% (sem exposição), 10-25% (baixa), 25-50% (moderada) e acima de 50% (elevada). Essa abordagem foi complementada pela ISO 11226:2000, que recomenda limitar posturas fora da zona neutra (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2000).

Desse modo, foram observados os dados de diferentes autores (Barakat; Field; Taylor, 2013; Bergstrom-Lehtovirta; Oulasvirta, 2014; Holzbauer *et al.*, 2021; Marques, 2014; Pitarch, 2008), considerando a articulação carpometacarpal (CMC) para adução/abdução radial, a metacarpofalangeana (MCP) e a interfalangeana proximal (IP) para flexão e hiperextensão. Optou-se pelos valores de Holzbauer *et al.* (2021) para a CMC, devido à similaridade metodológica. Em seguida, aplicaram-se os parâmetros de Drury (1987) para cada articulação.

Para simplificar a análise, os níveis “sem” (até 10%) e “baixa exposição” (10-25%) foram agrupados como “baixa exposição” (0-25%), já que ângulos pequenos dificultam a aferição precisa. A faixa crítica foi definida como acima de 50%, e a moderada (25-50%) como zona de transição, facilitando comparações e decisões.

A Figura 5 ilustra a mão humana, com destaque para as articulações CMC, MCP e IP, indicando faixas seguras (verde) e críticas (vermelho).

Figura 5: Ilustração das faixas seguras e críticas para os movimentos do polegar das articulações CMC Radial, MCP e IP



Fonte: Autores

Percepção do desconforto

Utilizou-se um formulário, com escala de desconforto, aplicado antes e após o uso da interface. Os participantes marcavam, em figura humana, as regiões afetadas e a intensidade (0 a 10). Se houvesse queixas nas mãos, aplicava-se um formulário complementar, detalhando áreas e níveis de desconforto.

Diagnóstico ergonômico e proposições ergonômicas

Ao final, é desenvolvido um diagnóstico ergonômico, que identifica todos os problemas da interface e sugere soluções ergonômicas para adequá-la.

Validação do método

Dois estudos experimentais avaliaram o método proposto: o Estudo 1 comparou formas de interação no Feed do Instagram; o Estudo 2 analisou os efeitos de um redesign, com base em princípios ergonômicos.

Estudo 1

Os estudos realizados foram experimentais e transversais, com participação voluntária e individual, sem risco aos participantes. Como envolvem seres humanos, o projeto foi submetido ao Comitê de Ética, da Universidade Federal de Pernambuco, e aprovado para a realização dos experimentos.

Procedimentos

A coleta foi realizada individualmente. A Figura 6 apresenta a sequência dos experimentos, em que as etapas 2, 4 e 5 são repetidas, para contemplar o uso das diferentes versões da interface.



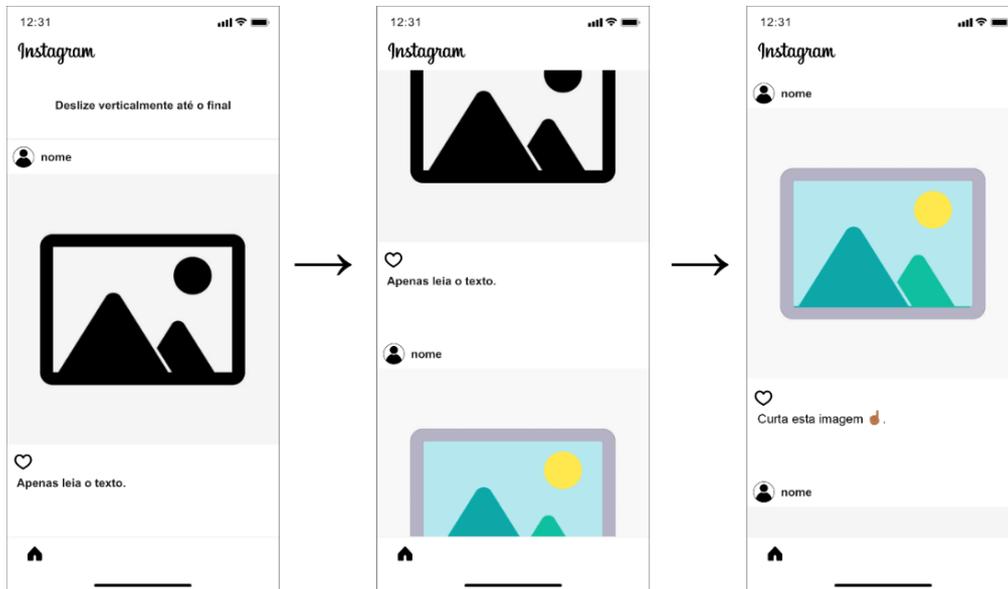
Fonte: Autores

Antes do experimento, os voluntários foram orientados a ajustar a cadeira, sentar-se confortavelmente e utilizar cada interface por cinco minutos, na ordem sorteada. Deviam explorar o conteúdo, curtir postagens, conforme instruções, e fazer pausas entre as versões, seguindo o tipo de manuseio que utilizam habitualmente.

Para isso, a interface do Feed do Instagram foi simplificada, através do desenvolvimento de um protótipo digital, no software Figma. Esse protótipo incluiu o recurso de rolagem infinita e a possibilidade de curtir conteúdos com um duplo toque na imagem ou um toque no ícone de coração. A Figura 7 ilustra o movimento de rolagem da interface.

Foram testadas três formas de interação: na interface A, o voluntário “curtia” com duplo toque na imagem; na B, com um toque no ícone de coração; e, na C, alternou entre essas duas ações, conforme a legenda. As variações simularam diferentes possibilidades de uso da interface avaliada, permitindo comparar os efeitos ergonômicos de cada tipo de gesto.

Figura 7: Rolagem vertical da tela do Feed do Instagram



Fonte: Autores

Amostra

Nos Estudos 1 e 2, foram utilizadas amostras compostas por 10 e 12 participantes, respectivamente, com distribuição equilibrada entre os sexos (50% masculino e 50% feminino), todos com experiência no uso do Instagram, com média diária de uso de 01h17min e desvio padrão de $\pm 00h47min$. Apesar do número reduzido de participantes, estudos anteriores sobre interação gestual em smartphones também obtiveram resultados relevantes, com amostras menores que 30, como Ahn *et al.* (2021), com 26 voluntários; Jin *et al.* (2019), com 14, e Trudeau *et al.* (2012), com 10. Ademais, conforme aponta Lueder (1983 *apud* Paschoarelli, 2003), os estudos sobre conforto apresentam maior consistência nos resultados quando conduzidos com um grupo reduzido de participantes treinados, ao invés de amostras amplas e heterogêneas.

Resultados e Discussões do Estudo 1

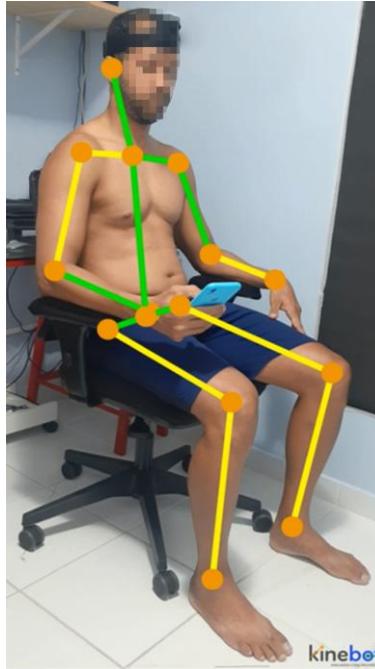
A seguir, serão apresentados os resultados da primeira experimentação.

Análise da postura corporal

As filmagens focadas na parte superior do corpo (tronco, membros superiores, pescoço e cabeça) foram processadas pelo Kinebot, com base no RULA (McAtamney; Corlett, 1993), permitindo verificar a estabilidade postural. As orientações para os participantes se sentarem confortavelmente, em cadeira ajustável e com apoio para os cotovelos, contribuíram para posturas

adequadas. A Figura 8 confirma que nenhuma articulação dos membros superiores apresentou risco alto ou extremo.

Figura 8: Quadro de vídeo do voluntário durante o experimento processado no Kinebot

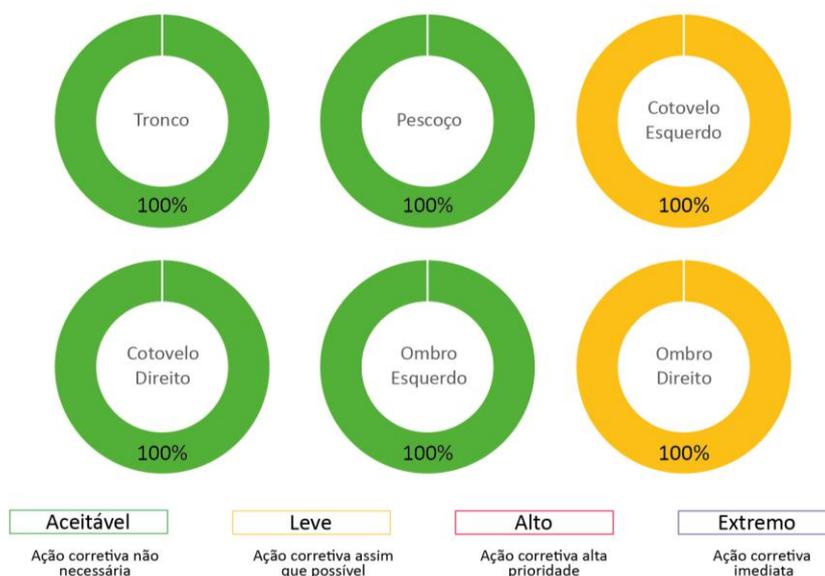


Fonte: Kinebot, 2023

Os dados da porcentagem média de todos os voluntários em seis segmentos, da parte superior do corpo, durante o uso das interfaces A, B e C, podem ser vistos na Figura 9. É possível verificar que a porcentagem não variou em nenhum dos segmentos.

Figura 9: Média de exposição de cada região avaliada no sistema Kinebot (A, B e C)

Média de exposição no posto de trabalho: **Aceitável**



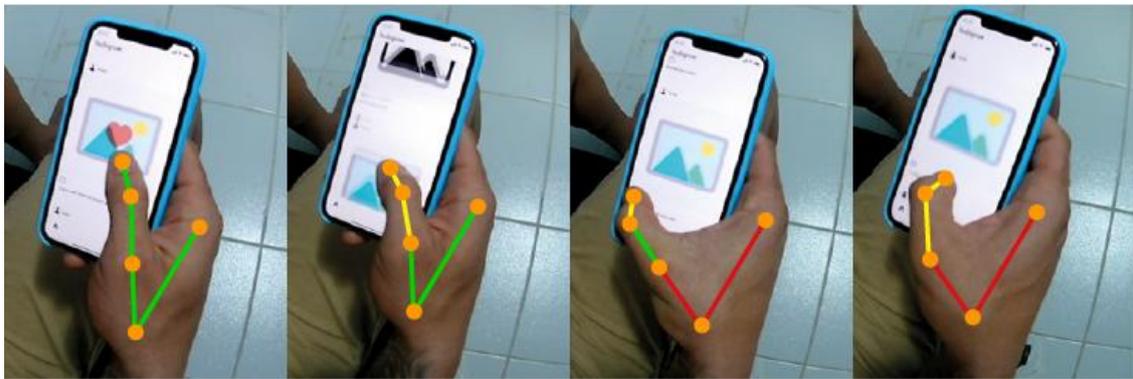
Fonte: Kinebot, 2023

Nas três situações, os movimentos articulares variaram pouco, mantendo-se em faixas de exposição leve ou aceitável. Isso reforça que o uso de cadeira ajustável contribui para reduzir riscos posturais (Kroemer; Kroemer, 2016).

Amplitude dos movimentos do polegar

Ao analisar a distribuição percentual das faixas de exposição nas três situações (Figura 10), observaram-se poucas variações nas articulações MCP e IP, com uma baixa frequência de situações de elevada exposição. A distribuição foi mais equilibrada entre baixa e moderada exposição para o MCP, predominando a baixa exposição no IP.

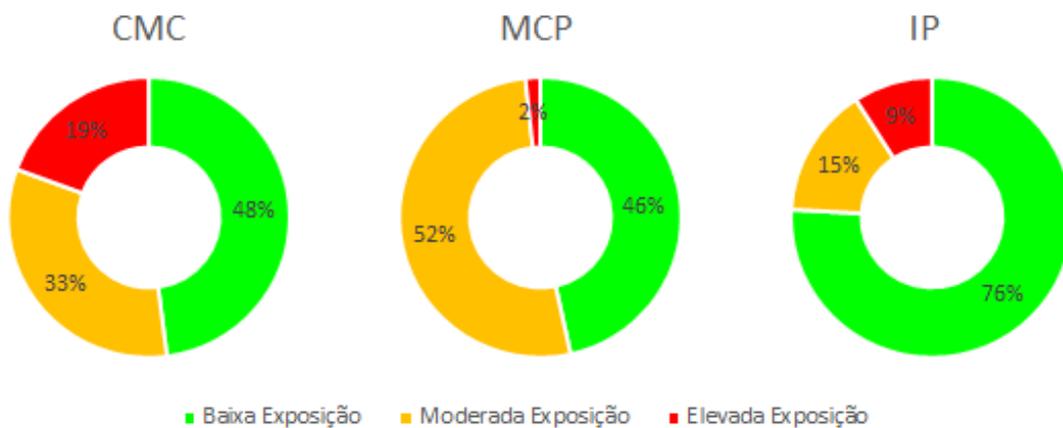
Figura 10: Imagens do rastreamento das articulações do polegar de um dos voluntários



Fonte: Autores

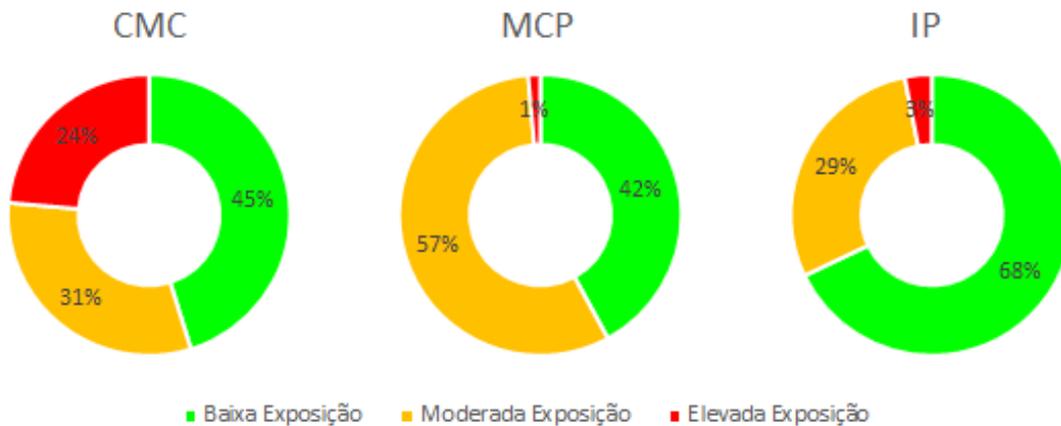
Em relação ao CMC, observou-se uma maior frequência de situações com elevada exposição: 19% para A, 24% para B e 32% para C, conforme evidenciado nas Figuras 11, 12 e 13. Portanto, na análise dos movimentos e dos parâmetros adotados para as três faixas de exposição, a situação C é a mais deficiente, com quase 1/3 do uso dessa interface na faixa crítica. No entanto, as situações A e B também merecem atenção, pois apresentam frequências significativas na faixa crítica.

Figura 11: Gráficos da porcentagem da média geral em faixas de exposição para interface A



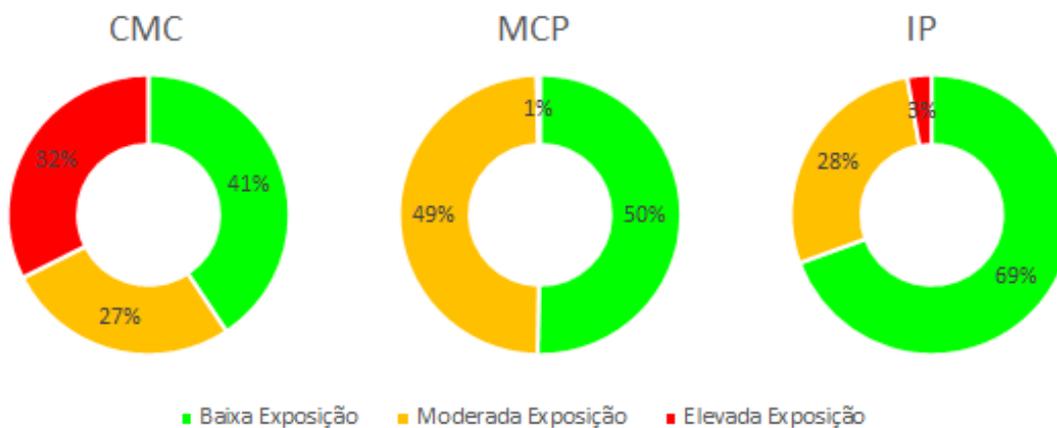
Fonte: Autores

Figura 12: Gráficos da porcentagem da média geral em faixas de exposição para interface B



Fonte: Autores

Figura 13: Gráficos da porcentagem da média geral em faixas de exposição para interface C



Fonte: Autores

Repetitividade dos gestos

A análise de vídeo contabilizou ações gestuais de rolagem de tela, toques e quantidade de conteúdos curtidos em cada interface. A Tabela 1 apresenta a média de repetição de cada ação gestual (rolagem, toque e curtidas) e o desvio padrão.

Tabela 1: Média de repetição de ações gestuais

Interface	Repetitividade de Ações					
	Rolagem		Toque		Curtidas	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
A (Duplo Toque)	262,5^a	53,11	126,8^a	35,38	63,4^a	17,69
B (Toque no Ícone)	224,4 ^b	43,10	50^b	12,78	50 ^b	12,78
C (Alternado)	229,3 ^b	51,87	78,15^c	25,77	52,1 ^b	17,18

As letras ^a, ^b, ^c após o valor da média indicam que houve diferença significativa, enquanto ^b repetido após o valor (por coluna) indica que não houve diferença.

Fonte: Autores

A análise estatística com o Teste de Friedman (rolagem) e ANOVA para medidas repetidas (toques e curtidas) indicou diferenças significativas ($p < 0,05$). A interface A apresentou mais interações repetidas. A interface C obteve maior número de toques, mas rolagens e curtidas semelhantes à interface B.

A interface A apresentou maior repetição: 262,5 rolagens; 126,8 toques e 63,4 curtidas, no mesmo tempo das demais. Entre B e C, a interface C obteve mais toques (78,15 contra 50), com médias similares de rolagens e curtidas (52,1 e 50).

A interface A apresentou mais repetições em todas as ações, possivelmente por oferecer navegação prática, mesmo com mais movimentos. A área de toque ampliada e o gesto de duplo toque reduzem erros. Essa forma de manuseio foi favorecida pelos usuários, pois reflete seu uso cotidiano e amplia a habilidade com a interface.

Percepção do desconforto

Antes do uso, foram relatados desconfortos em pescoço ($n = 1$), escápula esquerda ($n = 1$) e ombro direito ($n = 1$). Após o uso: na interface A, pescoço ($n = 1$) e ombro direito ($n = 3$); na B, pescoço, ombro, trapézio e cotovelo direitos; e, na C, pescoço, ombro, trapézio e antebraço (Figura 14).

Figura 14: Regiões com queixas de desconforto no pré e pós-uso



Fonte: Autores

A Tabela 2 apresenta os níveis de desconforto relatados antes e após o uso das interfaces, incluindo valores mínimo e máximo, média, desvio padrão e os resultados do teste de normalidade.

Tabela 2: Descritiva do nível de desconforto físico corporal

Momento	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Shapiro-Wilk p
Antes	0	7	1,1	2,23	< 0,001
A (Duplo Toque)	0	5	1,4	2,96	0,003
B (Toque no Ícone)	0	5	2,4	2,22	0,014
C (Alternado)	0	4	1,4	1,84	< 0,001

Para uma distribuição normal, o valor p precisa ser > 0,05.

Fonte: Autores

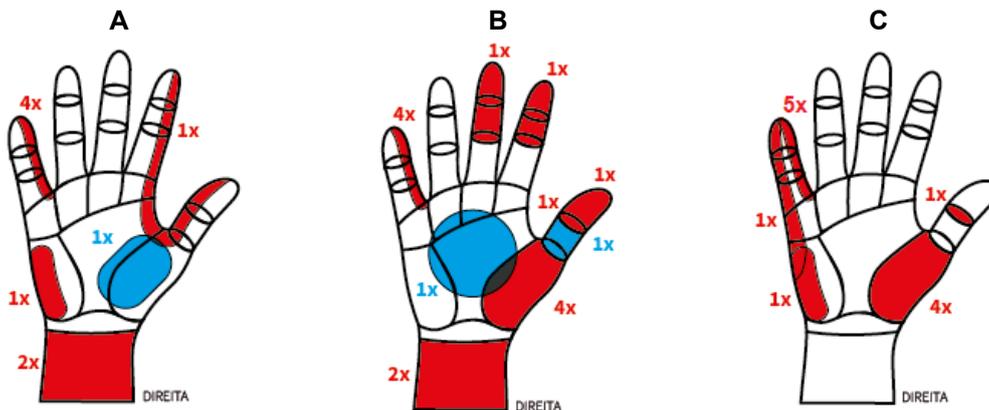
Como a amostra não apresentou distribuição normal, utilizou-se o Teste de Friedman. Os resultados indicaram que não há evidência estatística de desconforto físico após o uso das interfaces, com p-valor acima de 0,05 em todas as situações.

Como não houve queixas relevantes e os dados do Kinebot indicaram posturas adequadas no tronco, pescoço, ombros e cotovelos, confirma-se que essas regiões não foram negativamente afetadas, sem gerar desconforto ou posturas críticas durante o uso das interfaces.

Os resultados confirmaram a eficácia da recomendação de Kroemer e Kroemer (2016) para utilizar apoio ou suporte para os cotovelos, constituindo uma estratégia eficaz de ergonomia. Além disso, ajustar a cadeira, tanto na altura do assento quanto nos apoios para os cotovelos e na inclinação das costas, induziu os voluntários a manterem a cabeça ereta, proporcionando uma postura confortável e evitando a inclinação do pescoço.

Ao analisar a região da mão, os valores foram mais expressivos que outras regiões do corpo. No pré-uso, não houve queixas ($n = 0$), mas, no pós-uso, 9 de 10 voluntários se queixaram após o uso de cada interface (A, B e C). A Figura 15 apresenta o mapa de desconforto das mãos nas três situações e as regiões indicadas pelos voluntários. As áreas em vermelho representam locais de desconforto na face palmar da mão direita, enquanto as áreas em azul sinalizam desconforto na face dorsal, com números indicando a quantidade de vezes que a região foi mencionada.

Figura 15: Resultado do Mapa de Desconforto das mãos nos três momentos de uso (A, B e C)



Fonte: Baseado em Forcelini e Merino (2019)

A quantidade de queixas em cada momento foi verificada e os níveis de desconforto indicados para cada região foram somados. Observou-se um maior quantitativo (pontuação total) para a interface B, com 62 pontos, seguida da interface A, com 48 pontos, e, por último, a interface C, com 46 pontos.

Para avaliar diferenças estatísticas, foi necessário uniformizar os dados. Em cada momento (A, B e C), consideraram-se apenas os participantes que relataram mais de uma região com queixa de dor, padronizando o uso da queixa com maior pontuação em cada situação. Com base nisso, a Tabela 3 mostra valores mínimos e máximos, média e desvio padrão para cada momento avaliado, antes e após o uso das interfaces A, B e C.

Tabela 3: Descritiva das queixas de desconforto da mão no pré e pós-usos

Momento	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Shapiro-Wilk p
Desconforto Antes	0,00	0,00	0,00	0,00	-
A (Duplo Toque)	0,00	7,00	3,60	1,84	0,531
B (Toque no Ícone)	0,00	5,00	3,50	1,65	0,062
C (Alternado)	0,00	6,00	3,10	1,60	0,609

Para uma distribuição normal, o valor p precisa ser > 0,05.

Fonte: Autores

Foi aplicado o Teste de Friedman entre os momentos pré-uso e pós-uso das interfaces A, B e C, para verificar a presença de desconforto e diferenças entre os níveis de desconforto das três interfaces. Os resultados mostraram uma diferença significativa ($p < 0,05$). Em seguida, aplicou-se o teste post hoc, de Durbin-Conover, para identificar os momentos com diferenças significativas, conforme indica a Tabela 4.

Tabela 4: p-valor para o nível de desconforto no pré e pós-usos

Comparação	p-valor
Antes – A	< 0,001
Antes – B	< 0,001
Antes – C	< 0,001
A – B	0,555
A – C	0,046
B - C	0,147

Os valores em negrito indicam a diferença significativa ($p < 0,05$)

Fonte: Autores

Assim, há diferença significativa entre o momento pré-uso e pós-uso nas três situações (A, B e C), e entre os momentos A-C ($p < 0,05$). Não há diferença entre A-B e B-C. Portanto, A é mais desconfortável que C, sugerindo que uma interface mais flexível pode reduzir o desconforto.

Diagnóstico Ergonômico e Proposições Ergonômicas do Estudo 1

A avaliação das três interfaces no Estudo 1 revelou um interessante equilíbrio entre "amplitude do movimento do polegar" e "repetitividade". A interface A destacou-se por ter a maior porcentagem de movimentos seguros, mas com alta repetitividade. As interfaces B e C apresentaram maiores amplitudes de movimento, com a interface C superando a B em ambas as variáveis.

A interface A manteve os movimentos na faixa segura de amplitude, mas requer alta repetitividade, aumentando o risco de desconforto a longo prazo. Esse achado está alinhado aos estudos de Xie, Szeto e Dai (2017), que indicaram que a alta repetitividade é um fator de risco para distúrbios musculoesqueléticos em usuários de dispositivos móveis.

As interfaces B e C exigem mais esforço muscular, mas oferecem menor repetitividade, o que poderia reduzir a fadiga. No entanto, a interface C apresentou desafios ergonômicos significativos.

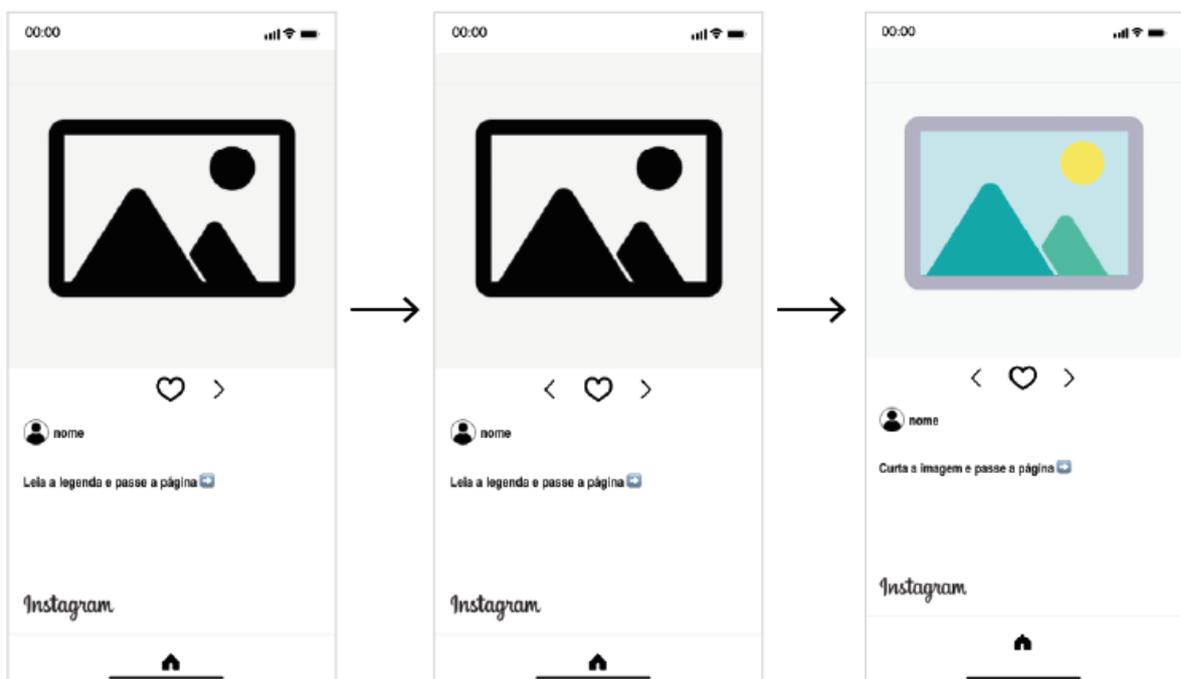
A implementação de recomendações ergonômicas, como a alternância de gestos e a personalização das interfaces, de acordo com parâmetros antropométricos dos usuários, pode melhorar a experiência e minimizar os riscos de desconforto e lesões. Essa abordagem é suportada por Drury (1987), que enfatiza a adaptação das interfaces às necessidades dos usuários, para promover saúde e bem-estar.

Por fim, a análise dos resultados do Estudo 1 destaca a necessidade de um design de interface que minimize tanto a amplitude extrema dos movimentos quanto a repetitividade, seguindo princípios ergonômicos bem estabelecidos.

Estudo 2

Os procedimentos foram os mesmos do experimento anterior (Estudo 1), mas com alterações em uma das interfaces avaliadas. Foi proposta uma interface de design ergonômico para o Feed do Instagram (Figura 16), que alterou o alcance do ícone de curtir, manteve a opção de curtir com dois toques na imagem e proporcionou flexibilidade na navegação de conteúdo. A passagem de conteúdo pode ser feita de duas maneiras: tocando na seta para a direita ou deslizando horizontalmente a tela.

Figura 16: Redesign ergonômico do Feed do Instagram



Fonte: Autores

Resultados e Discussões do Estudo 2

A seguir, serão apresentados os resultados da segunda experimentação. Para isso, foram analisados os dados obtidos nas filmagens, respostas dos formulários e imagens térmicas, seguindo os mesmos critérios do Estudo 1.

Análise da postura corporal

Seguindo as mesmas etapas do estudo anterior, as filmagens dos corpos dos voluntários foram processadas no Kinebot. Os resultados das interfaces A e X mostraram as mesmas porcentagens para os seis segmentos avaliados, todos dentro de faixas de exposição aceitável ou leve. A análise indica que os resultados foram semelhantes, sem posturas de risco alto ou extremo em nenhum dos segmentos, com poucas variações de movimentos e dentro das faixas seguras de amplitude para ambas as interfaces (A e X).

Amplitude dos movimentos do polegar

Ao analisar a distribuição percentual das faixas de exposição nas duas situações (interfaces A e X), percebemos que, para a articulação MCP, houve poucas variações e uma baixa frequência de situações de elevada exposição. No entanto, para a articulação IP, a interface A apresentou uma maior quantidade de situações na faixa de risco (14%), enquanto a interface X obteve apenas 2% nessa faixa. Em relação à articulação CMC, observou-se uma maior frequência de situações com elevada exposição: 19% para a interface A (mesmo valor da primeira experimentação) e 10% para a interface X, conforme ilustrado nas Figuras 17 e 18.

Figura 17: Porcentagem da média geral em faixas de exposição para interface A

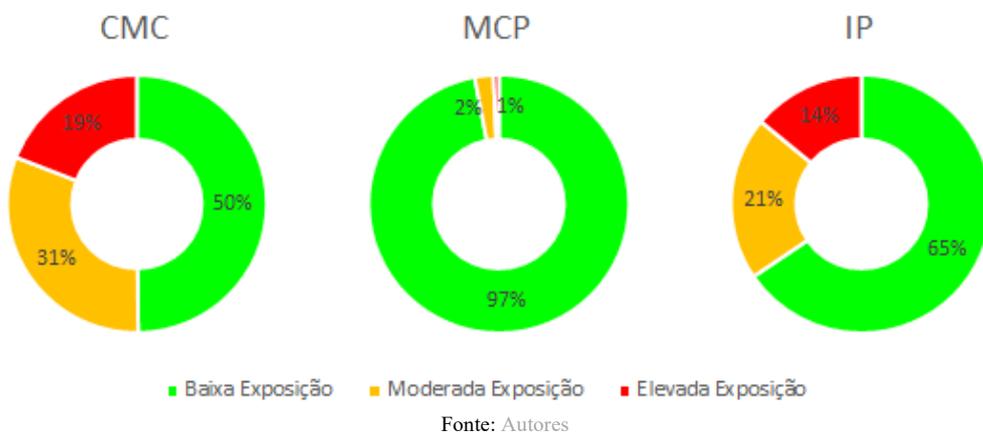
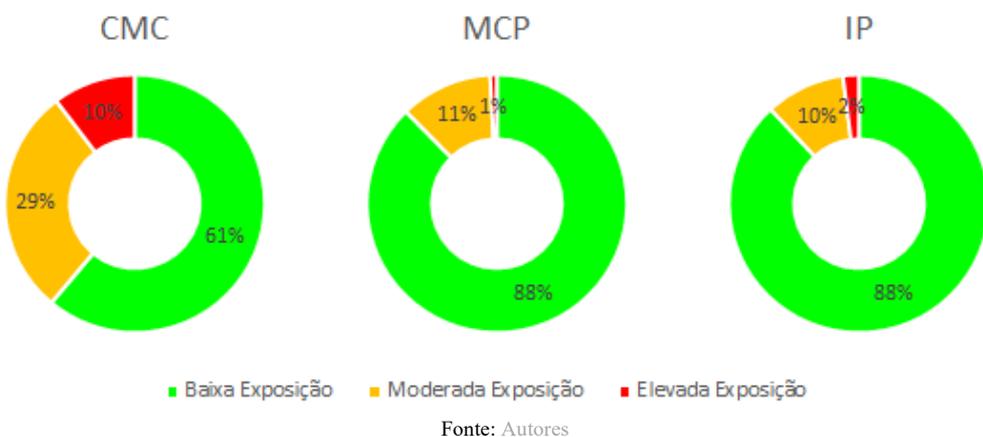


Figura 18: Porcentagem da média geral em faixas de exposição para interface X



A redução de 19% para 10% na exposição crítica da articulação carpometacarpal (CMC) representou não apenas um ganho estatístico, mas também um avanço ergonômico relevante. Essa variação equivale a uma redução relativa de 47,3%, reforçando o impacto positivo do redesign na minimização da sobrecarga biomecânica. Conforme parâmetros de Drury (1987), exposições acima de 15% já indicam alerta para riscos biomecânicos em tarefas repetitivas. Portanto, reduzir essa carga para 10% pode implicar menor probabilidade de fadiga, lesões por esforço repetitivo e maior conforto em interações prolongadas. Em outras palavras, sua significância prática está no afastamento da zona de risco.

Portanto, com base na análise dos movimentos e dos parâmetros das três faixas de exposição, foi possível identificar que o redesign (interface X) superou a interface atual (interface A) e as outras interfaces avaliadas no estudo anterior (Estudo 2). A interface X atingiu maiores valores nas faixas seguras e menores valores nas três articulações avaliadas.

Repetitividade

Através da análise de vídeo, foram contabilizadas as ações gestuais de rolagem de tela, toques e a quantidade de conteúdos curtidos em cada uma das interfaces. A Tabela 5 apresenta as médias de repetição de cada ação gestual, acompanhadas dos respectivos desvios padrão e indicações por sobrescritos (a, b), os quais evidenciam diferenças estatísticas entre as médias. A análise estatística, realizada por meio do Teste t para Amostras Pareadas, revelou diferença significativa ($p < 0,05$) em todas as situações analisadas.

Tabela 5: Média de repetição de ações gestuais

Interface	Repetitividade de Ações					
	Rolagem		Toque		Curtidas	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
A (Duplo Toque)	278,75 ^a	93,26	141,66 ^a	40,17	70,83 ^a	20,09
X (Redesign)	0,00 ^b	0,00	242 ^b	77,65	60,5 ^b	19,41

A letras ^{a, b} após o valor da média indicam que houve diferença significativa.

Fonte: Autores

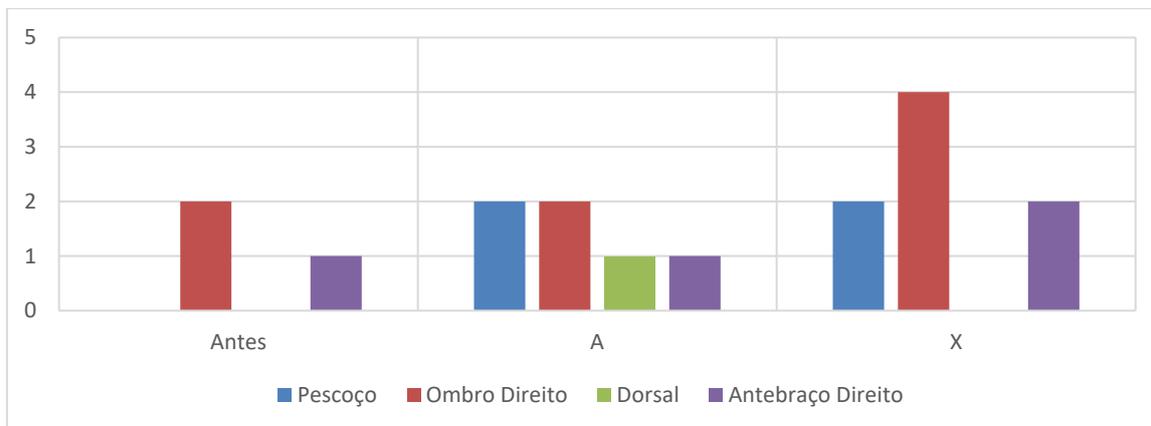
Os resultados mostraram que a interface A obteve uma média maior de repetições para rolagem (278,75 vezes) e curtidas (70,83 vezes). Isso ocorreu, porque a interface X não usou o gesto de rolagem, totalizando uma média de zero. No entanto, a interface X apresentou mais toques na tela (242 vezes), pois esse gesto substituiu a rolagem e se somou ao gesto de curtir, realizado em diferentes locais da tela. A eliminação da rolagem, na interface X, resultou em uma redução média de 188,75 gestos em comparação à interface A, o que representa uma diminuição de aproximadamente 31,7% no total de gestos por tarefa. Em relação às curtidas, a interface X também se mostrou 14,6% mais eficiente, exigindo menos movimentos para cada ação executada.

Percepção do desconforto

As queixas de desconforto antes do uso (pré-uso), para regiões da parte superior do corpo, foram: ombro direito ($n = 2$) e cervical ($n = 1$). Para o pós-uso da interface A, foram: cervical (n

= 2) e ombro direito (n = 2), dorsal (n = 1) e antebraço direito (n = 1). Enquanto para interface X, foram: ombro direito (n = 4), cervical (n = 2), antebraço (n = 1), conforme a Figura 19.

Figura 19: Regiões com queixas de desconforto no pré e pós-uso



Fonte: Autores

A Tabela 6 apresenta a estatística descritiva do nível de desconforto físico, relatado pelos participantes, no pré e pós-uso das interfaces A e X, com os valores mínimo, máximo, média do nível de desconforto, desvio padrão e teste de normalidade Shapiro-Wilk.

Tabela 6: Descritiva do nível de desconforto físico corporal

Momento	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Shapiro-Wilk p
Antes	0,0	7	1,00	1,86	< 0,001
A (Duplo Toque)	0,0	8	1,92	2,31	0,006
X (Redesign)	0,0	6,0	2,33	2,10	0,060

Para uma distribuição normal, o valor p precisa ser > 0,05.

Fonte: Autores

Após verificar que as distribuições dos momentos "Antes" e "A" não seguem uma distribuição normal, aplicou-se o Teste de Friedman para avaliar a ocorrência de desconforto corporal. Os resultados mostraram uma diferença significativa ($p = 0,031$). Com o teste post hoc, de Durbin-Conover, observou-se uma diferença significativa entre o pré-uso e o pós-uso da interface X, mas não entre os momentos A e X, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7: p-valor para o nível de desconforto no pré e pós-uso

Pré x pós-uso	p-valor
Antes – A	0,138
Antes –X	0,014
A–X	0,275

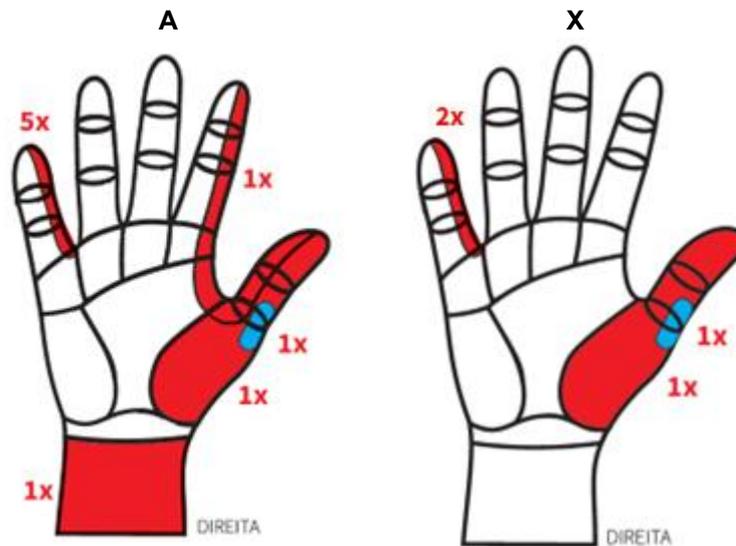
Os valores em negrito indicam a diferença significativa ($p < 0,05$)

Fonte: Autores

Entre as regiões superiores, pescoço e ombro foram os pontos com maior relato de desconforto. O pescoço obteve queixas iguais nas interfaces A e X, mas o ombro foi mais citado após o uso da interface X, com o dobro de ocorrências. Dois dos quatro participantes já haviam relatado desconforto anteriormente. Ainda assim, os voluntários atribuíram o incômodo à repetição gestual, sugerindo alternância de gestos como estratégia ergonômica.

Em relação à região das mãos, os valores foram mais expressivos. No momento pré-uso, não houve queixas ($n = 0$), mas, no pós-uso, houve queixas para a interface A ($n = 9$) e interface X ($n = 4$). A Figura 20 apresenta o mapa de desconforto das mãos nas duas situações e as regiões indicadas pelos voluntários. As áreas destacadas em vermelho representam os locais de desconforto na face palmar da mão direita, enquanto as áreas em azul indicam desconforto na face dorsal, com números mostrando a frequência das queixas.

Figura 20: Resultado do Mapa de Desconforto das mãos nos dois momentos de uso (A e X)



Fonte: Baseado em Forcelini e Merino (2019)

Inicialmente, foram verificadas as quantidades de queixas em cada momento e somados os níveis de desconforto, indicados para cada região. Observou-se um maior quantitativo de desconforto na interface A, com 30 pontos, em comparação com a interface X, que apresentou 16 pontos, o que representa uma redução de 46,6% na percepção de desconforto entre as interfaces.

Para a análise estatística, os dados foram uniformizados, considerando, em cada momento (A e X), apenas os participantes que relataram mais de uma região com dor, adotando a de maior pontuação. Com essa abordagem, elaborou-se a Tabela 8, que apresenta os valores mínimo, máximo, média e desvio padrão antes do teste e após o uso das interfaces.

Tabela 8: Descritiva das queixas de desconforto da mão no pré e pós-uso

Momento	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Shapiro-Wilk p
Desconforto Antes	0	0	0	0,00	-
A (Duplo Toque)	0	8	2,8	2,39	0,095
X (Redesign)	0	6	1,6	2,32	< 0,001

Fonte: Autores

Após o teste de Shapiro-Wilk, foi verificado que a distribuição das respostas do pós-uso da interface X não era normal, portanto, foi realizado o Teste de Friedman para investigar se existia diferença significativa entre os momentos. Os resultados indicaram que existiu diferença significativa ($p < 0,05$). E, considerando esse resultado, foram realizadas comparações múltiplas (Durbin-Conover), para verificar em quais momentos ocorre diferença significativa no nível de desconforto, conforme aponta a Tabela 9.

Tabela 9: p-valor para o nível de desconforto no pré e pós-uso

Comparação	p
Antes – A	<0,001
Antes – X	0,038
A – X	0,038
Os valores em negrito indicam a diferença significativa ($p < 0,05$)	

Fonte: Autores

Dessa forma, é possível confirmar a existência de diferença, estatisticamente significativa, entre todos os momentos pré e pós-uso, indicando que há ocorrência de desconforto após a utilização das interfaces. Observa-se que a interface A gerou maior nível de desconforto em comparação à interface X; contudo, esta última ainda provocou certa percepção de desconforto entre os participantes.

Diagnóstico Ergonômico e Proposições Ergonômicas do Estudo 2

O redesign superou a interface anterior, com redução de 46,6% nas queixas de desconforto nas mãos. O tipo de gesto influencia ângulos articulares, repetição e preensão. Na interface A, o gesto de rolagem exigia apoio no dedo mínimo para estabilizar o aparelho. Já na interface X, embora alguns relatassem desconforto, não houve necessidade de apoio, pois os elementos estavam mais acessíveis, evitando o risco de queda do smartphone.

A interface X reduziu a necessidade de apoio no dedo mínimo, favorecendo uma preensão mais natural. No entanto, ainda houve relatos de desconforto, indicando espaço para melhorias. Como destacam Paschoarelli e Silva (2006), o design deve seguir uma abordagem iterativa, com ajustes contínuos, baseados em avaliações e feedbacks, para alcançar maior conforto e usabilidade.

Considerações Finais

Este estudo propôs e validou um método de avaliação ergonômica para interfaces gestuais de smartphones, integrando visão computacional e percepção de desconforto. A hipótese foi confirmada: procedimentos de análise, baseados em movimentos articulares, repetitividade e percepção dos usuários contribuíram efetivamente para o redesign de interfaces digitais, promovendo redução de sobrecarga biomecânica e desconforto físico.

A aplicação do método permitiu identificar a articulação carpometacarpal (CMC) como o principal ponto de sobrecarga biomecânica, com altos índices de exposição crítica. Com base nesse diagnóstico, o redesign da interface (interface X) promoveu melhorias significativas: reduziu em 46,6% as queixas de desconforto nas mãos; 47,3% da exposição crítica da CMC e 31,7% dos gestos repetitivos. Também diminuiu a necessidade de apoio no dedo mínimo, favorecendo a estabilidade e a acessibilidade dos elementos de interação, com impacto direto no conforto do usuário.

Além de validar o método, os resultados mostraram que considerar apenas a zona de alcance do polegar não garante conforto nas interações. A combinação entre medições objetivas, repetitividade gestual, ângulos articulares e percepção de desconforto orienta o redesign de interfaces. Alterações baseadas nesses critérios reduzem a sobrecarga biomecânica e promovem melhorias na postura, preensão e bem-estar do usuário.

Como limitações, destacam-se a amostra reduzida, composta por jovens familiarizados com o Instagram, e o viés de autorrelato, que pode comprometer a precisão dos dados. Estudos futuros devem incluir amostras maiores e mais diversas, especialmente com idosos e usuários com baixa experiência digital, além de testar o método em diferentes contextos.

Durante a realização dos experimentos e observações dos voluntários, utilizando as interfaces, algumas recomendações foram formuladas para o design ergonômico de interfaces gestuais para smartphones:

1. Planeje a localização dos elementos visuais, para evitar que sejam ocultados pelos dedos durante o uso, mantendo uma distância dentro da faixa segura de exposição biomecânica.
2. Determine dimensões maiores para os botões, para evitar erros nos toques e repetições desnecessárias.
3. Proporcione mais de uma forma de ação gestual, para realizar a mesma função na interface.
4. Selecione gestos estáveis, que evitem preensões desconfortáveis ou a necessidade de apoiar o dispositivo no dedo mínimo.
5. Ofereça, se possível, a possibilidade de que a interface se ajuste aos parâmetros antropométricos (tamanho das mãos e alcance do polegar) e de conforto do usuário.

Por fim, destaca-se a importância da aplicação do método proposto para a avaliação e desenvolvimento de interfaces e de futuras pesquisas para ampliar o conhecimento e aprimorar esse tipo de interação no âmbito da ergonomia física. Considerando que o smartphone é uma parte significativa da vida de muitas pessoas, os desenvolvedores de interfaces e sistemas devem estar mais conscientes das causas e consequências de suas aplicações no corpo humano.

Referências

AHN, S. H. *et al.* Grasp Behavior Analysis Using Muscle and Postural Hand Synergies for Smartphones. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing**, v. 22, n. 4, p. 697–707, 2021.

APP ANNIE. **O padrão do app analytics e de dados de aplicativos | App Annie**, 2021. Disponível em: https://www.appannie.com/dashboard/home?app_group_id=WZR2D2VW2ASQNZFV4UW6EARFZWEIIMN3HF7TIEUTTCY5TCMPQQDQ====&homepage.selected-chart=quadrant&homepage.topType=apps. Acesso em: 3 ago. 2021.

BARAKAT, M. J.; FIELD, J.; TAYLOR, J. The Range of Movement of the Thumb. **Hand**, v. 2, n. 8, p. 179–182, 2013.

BERGSTROM-LEHTOVIRTA, J.; OULASVIRTA, A. Modeling the functional area of the thumb on mobile touchscreen surfaces. *In: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA: Association for Computing



Machinery, 2014. p. 1991–2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/2556288.2557354>. Acesso em: 30 set. 2021.

CUPONATION. **Smartphones 2020**, 2021. Disponível em: <https://www.cuponation.com.br/insights/smartphones-2020>. Acesso em: 2 ago. 2021.

DRURY, C. G. A biomechanical evaluation of the repetitive motion injury potential of industrial jobs. **Seminars in Occupational Medicine**, 02 (01): 41-49, 1987.

EITIVIPART, A.C.; VIRIYAROJANAKUL, S.; REDHEAD, L. Musculoskeletal disorder and pain associated with smartphone use: A systematic review of biomechanical evidence. **Hong Kong Physiotherapy Journal**, v. 38, n. 2, p. 77–90, 2018.

FORCELINI, F.; MERINO, G. S. A. D. **GUIA DE ORIENTAÇÕES THERMOS**. [S. l.]: Florianópolis: Ngd/Ufsc, 2019. Disponível em: www.ngd.ufsc.br/thermos-protocol/.

GOOGLE. **MediaPipe Hands**, 2020. Disponível em: <https://google.github.io/mediapipe/solutions/hands.html>. Acesso em: 26 maio 2022.

HOLZBAUER, M. *et al.* Radial and palmar active range of motion measurement: reliability of six methods in healthy adults. **Journal of Plastic Surgery and Hand Surgery**, v. 55, n. 1, p. 41-47, 2021.

HOOBER, S. **Design for Fingers, Touch, and People, Part 1 :: UXmatters**, 2017a. Disponível em: <https://www.uxmatters.com/mt/archives/2017/03/design-for-fingers-touch-and-people-part-1.php>. Acesso em: 25 set. 2020.

HOOBER, S. **Design for Fingers, Touch, and People, Part 2 :: UXmatters**, 2017b. Disponível em: <https://www.uxmatters.com/mt/archives/2017/05/design-for-fingers-touch-and-people-part-2.php>. Acesso em: 25 set. 2020.

HOOBER, S. **How Do Users Really Hold Mobile Devices? :: UXmatters**. [S. l.], 2013. Disponível em: <https://www.uxmatters.com/mt/archives/2013/02/how-do-users-really-hold-mobile-devices.php>. Acesso em: 25 set. 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 11226:2000 – Ergonomics – Evaluation of static working postures**. Geneva, 2000. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/25573.html>. Acesso em: 23 abr. 2025.

JIN, S. *et al.* A comparison of biomechanical workload between smartphone and smartwatch while sitting and standing. **Applied Ergonomics**, v. 76, p. 105–112, 2019.

KINEBOT. **Kinebot**, 2022. Disponível em: <https://www.kinebot.com.br/>. Acesso em: 26 maio 2022.

KROEMER, A. D.; KROEMER, K. H. E. **Office Ergonomics: Ease and Efficiency at Work**, Second Edition. CRC Press, 2016.

MARQUES, A. P. **Manual de Goniometria**. 3. ed. Barueri: Editora Manole, 2014.

MCATAMNEY, L; CORLETT, E. N. RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. **Applied Ergonomics**, v. 24, n. 2, p. 91–99, 1993.

MORAES, A.; MONT’ALVÃO, C. **Ergonomia: conceitos e aplicações: 2AB**, 2000.

PASCHOARELLI, L. C.; SILVA, J. C. P. Design Ergonômico: uma revisão dos seus aspectos metodológicos. **Conexão-Comunicação e Cultura**, v. 5, n. 10, 2006.

PITARCH, E. P. **Virtual human hand: Grasping strategy and simulation**. Universitat Politècnica de Catalunya, 2008.

SHINOHARA, I. *et al.* Posture Estimation Model Combined With Machine Learning Estimates the Radial Abduction Angle of the Thumb With High Accuracy. **Cureus**, v. 16, n. 10, p. e71034, 2024.



TEGTMEIER, P. A scoping review on smart mobile devices and physical strain. **Work**, v. 59, n. 2, p. 273–283, 2018.

TRUDEAU, M. B. *et al.* Thumb motor performance varies with thumb and wrist posture during single-handed mobile phone use. **Journal of Biomechanics**, v. 45, n. 14, p. 2349–2354, 2012.

VELURI, R. K. *et al.* Hand Gesture Mapping Using MediaPipe Algorithm. *In*: Bindhu, V.; TAVARES, J. M. R. S.; DU, K. L. (Orgs.). **Proceedings of Third International Conference on Communication, Computing and Electronics Systems**. Singapore: Springer, 2022. p. 597–614.

XIE, Y.; SZETO, G.; DAI, J. Prevalence and risk factors associated with musculoskeletal complaints among users of mobile handheld devices: A systematic review. **Applied Ergonomics**, v. 59, p. 132–142, 2017.

Sobre os autores

Danilo Fernandes Vitorino

Doutor em Design pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) na linha de pesquisa Design, Ergonomia e Tecnologia (2023), Mestre em Design na linha de pesquisa Ergonomia e Usabilidade de Produtos, Sistemas e Produção pela UFPE (2017) e Bacharel em Design pela UFCG (2013).

ORCID. <https://orcid.org/0000-0003-3546-5687>

Walter Franklin Marques Correia

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) com período Sanduíche na Universidade Técnica de Lisboa (UTL), em Portugal (2007), Mestre em Engenharia de Produção pela UFPE (2002), Especialista (Lato Sensu) em Ergonomia pela UFPE (2001), e Bacharel em Desenho Industrial com Habilitação em Projeto do Produto pela UFPE (1999).

ORCID. <https://orcid.org/0000-0002-6491-9783>

Márcio Alves Marçal

PhD em Ergonomia com ênfase em Biomecânica Ocupacional pela Queens University (1999), Mestre em Ergonomia pela University of Southern California (1995) e Graduado em Fisioterapia pela Universidade Federal de Minas Gerais (1985). Pós-graduação Profissional em Termografia Infravermelha pela ABRATERM na FMUSP (2016).

ORCID. <https://orcid.org/0000-0002-5349-6252>