

ERGOMOTION: Simulador Digital para Análises Ergonômicas Baseadas em Cinesiologia

ERGOMOTION: Digital Simulator for Ergonomic Analysis Based on Kinesiology

DEWES, Gustavo Luiz dos Santos; Doutor em Design; UFRGS

dewes.design@gmail.com

BRENDLER, Clariana Fischer; Doutora em Design; UFRGS

clariana.brendler@ufrgs.br

TEIXEIRA, Fábio Gonçalves; Doutor em Engenharia Mecânica; UFRGS

fabiogt@ufrgs.br

Resumo

A evolução das tecnologias digitais têm transformado significativamente as abordagens em análises ergonômicas. Nesta linha, foi desenvolvido o ErgoMotion, um simulador digital para análises de movimentos baseado em cinesiologia. O sistema utiliza o Kinect® V.1 da Microsoft® para captura de movimentos e foi desenvolvido na plataforma Unity 3D®. O software emprega representações cromáticas intuitivas, fundamentadas em conceitos de goniometria e cinesiologia, para facilitar a análise das amplitudes e dos movimentos humanos. Uma biblioteca específica inclui 42 análises de movimentos articulares, cada uma com animações ilustrativas. A escala tonal de seis cores, variando do verde ao vermelho, permite a identificação rápida de desconfortos e amplitudes máximas articulares. O objetivo é apresentar uma ferramenta acessível e eficaz para avaliações ergonômicas, com potencial para expandir suas aplicações no futuro.

Palavras Chave: Análises ergonômicas; Captura de movimentos; Cinesiologia.

Abstract

The evolution of digital technologies has significantly transformed approaches to ergonomic analysis. In this context, ErgoMotion, a digital simulator for movement analysis based on kinesiology, was developed. The system utilizes Microsoft's Kinect® V.1 for motion capture and was developed on the Unity 3D® platform. The software employs intuitive chromatic representations, grounded in concepts of goniometry and kinesiology, to facilitate the analysis of human movement ranges and amplitudes. A specific library includes 42 joint movement analyses, each with illustrative animations. The six-color tonal scale, ranging from green to red, allows for the quick identification of discomforts and maximum joint amplitudes. The aim is to present an accessible and effective tool for ergonomic evaluations, with the potential to expand its applications in the future.

Keywords: Ergonomic analysis; Motion capture; Kinesiology.

1 Introdução

Desde os primórdios da humanidade, houve uma incessante vontade de compreender e melhorar a interação entre os seres humanos e suas tecnologias. Civilizações antigas, como as greco-romanas, até os estudos detalhados de Leonardo da Vinci sobre a anatomia humana no Renascimento, buscaram otimizar essa relação. No entanto, foi com a Revolução Industrial que a ergonomia emergiu como uma disciplina interdisciplinar crucial, dedicada à melhoria da interface entre as atividades humanas e seus sistemas (Silva & Paschoarelli, 2010).

A evolução das tecnologias digitais transformou significativamente as abordagens em análises ergonômicas. A captura de movimentos, por exemplo, expandiu as fronteiras das análises ergonômicas, permitindo uma integração mais tangível entre dados reais e simulações virtuais. Ferramentas avançadas de captura de movimento possibilitam avaliações precisas e detalhadas, essenciais para o desenvolvimento de produtos ergonômicos e para o entendimento aprofundado das interações dos seres humanos com suas tecnologias e atividades.

Neste contexto foi desenvolvido o software ErgoMotion que foi impulsionado por essa evolução tecnológica, utilizando o Kinect® V.1 da Microsoft® para captura de movimentos devido à sua acessibilidade e baixo custo, o software foi construído na plataforma de desenvolvimento de jogos, Unity 3D®, empregando programação orientada a objetos com scripts em C#. Representações cromáticas intuitivas foram incorporadas para visualizar e analisar os movimentos capturados, facilitando a interpretação das amplitudes articulares e dos padrões de movimento humano. Essa abordagem se baseia em conceitos fundamentais da goniometria que estuda as amplitudes do corpo humano, e da cinesiologia, que analisa como os músculos e articulações trabalham em conjunto para produzir movimentos.

A biblioteca específica de cinesiologia desenvolvida para o ErgoMotion inclui 42 análises detalhadas de movimentos articulares, cada uma acompanhada de animações ilustrativas. Essa biblioteca não apenas serve como uma ferramenta educacional valiosa para estudantes de diversas áreas, mas também como um recurso essencial para análises ergonômicas no desenvolvimento de produtos. O software possui uma escala tonal de seis cores, iniciando com o verde-lima para a posição inicial ou neutra. À medida que o movimento progride, a representação passa por várias nuances, incluindo um tom de verde mais amarelado, seguidos pelo amarelo, laranja claro e escuro, até chegar ao vermelho, estas cores foram estrategicamente escolhida para permitir uma rápida identificação de desconfortos e amplitudes máximas articulares, melhorando assim a eficiência e a precisão das avaliações.

O ErgoMotion foi projetado com o objetivo central de ser um software *user-friendly*, acessível mesmo para usuários sem conhecimento avançado em computação gráfica. Com treinamento, profissionais de diversas áreas podem utilizar o software para analisar movimentos em interações com produtos, ambientes e atividades humanas. Essa abordagem visa democratizar o acesso à análise ergonômica, permitindo que mais pessoas compreendam e otimizem as suas interações com seus artefatos.

Além disso, o desenvolvimento do ErgoMotion visa alcançar resultados que possam ser generalizados para diferentes contextos. Segundo Dresch, Lacerda e Antunes Jr. (2014), isso significa que o conhecimento gerado durante o desenvolvimento do software pode ser aplicado não apenas na ergonomia, mas também em outros campos onde a análise dos movimentos humanos seja essencial.

O ErgoMotion destaca-se pela sua capacidade educacional. Sua biblioteca de cinesiologia

oferece análises detalhadas de 42 movimentos articulares, complementadas com a nomenclatura precisa de termos como abdução, adução, flexão, extensão e rotações.

Essa característica torna o software uma ferramenta valiosa não apenas para profissionais como educadores físicos, fisioterapeutas e terapeutas ocupacionais, mas também para estudantes que desejam aprender e compreender conceitos complexos de cinesiologia de maneira prática e visualmente intuitiva.

Além disso, o ErgoMotion pode ser amplamente utilizado por médicos esportivos, que podem avaliar e monitorar a recuperação de atletas após lesões, garantindo um retorno seguro e eficaz às atividades. Consultores de ergonomia que trabalham em empresas para melhorar o bem-estar dos funcionários através de análises detalhadas de posturas e movimentos no ambiente de trabalho também encontrarão no ErgoMotion uma ferramenta essencial.

Finalmente, designers, arquitetos e engenheiros, que projetam e otimizam produtos para atender às necessidades dos usuários, podem validar e refinar seus projetos com base na ergonomia e na biomecânica, garantindo produtos que se alinham melhor com a anatomia e a movimentação humana.

2 Fundamentação teórica

Nesta seção, são apresentados os principais conceitos sobre cinesiologia e goniometria, explicando como esses fundamentos científicos sustentam o desenvolvimento do ErgoMotion. Detalhamos a criação da Escala Tonal da Cinesiologia e o processo de captura de movimentos utilizando o Microsoft Kinect® V.1 como *Hardware* e o *Ipi Soft®* como *software* para compor a biblioteca de cinesiologia.

2.1 Cinesiologia

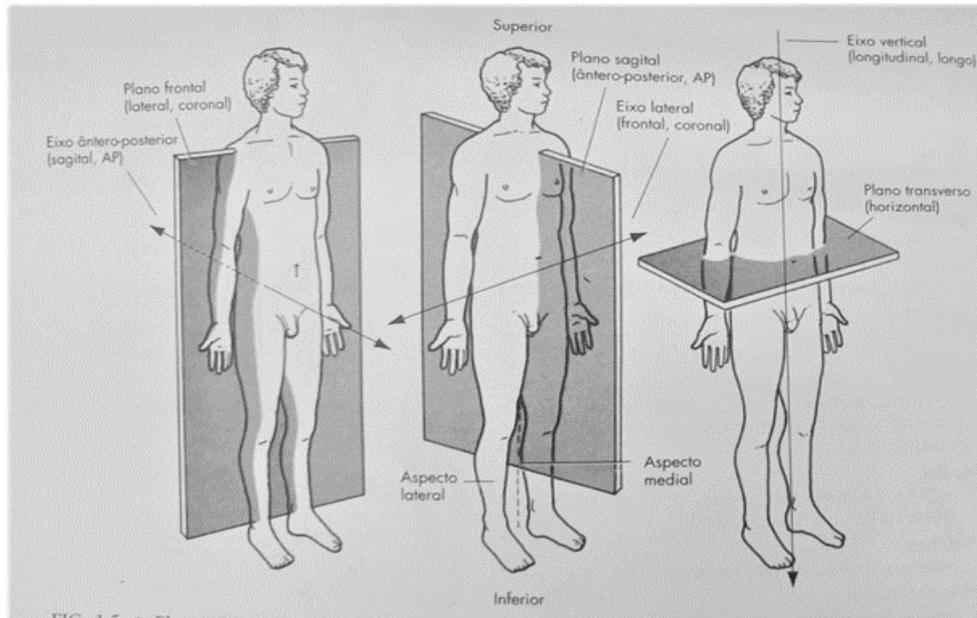
A Cinesiologia estuda como os músculos e articulações trabalham juntos para produzir movimento, além disso ela analisa as interações entre ossos, músculos, tendões e ligamentos, ajudando a compreender como otimizar a performance física e prevenir lesões. Existem numerosas articulações no corpo humano, cada uma com a capacidade de executar diversos movimentos. A amplitude de movimento de uma articulação, ou seja, sua capacidade de mover-se livremente, é crucial para diversas atividades, desde tarefas cotidianas até as mais complexas (THOMPSON; FLOYD, 2016).

Três tipos de articulações são identificadas: sinartrose (fibrosa e imóvel), anfiartrose (cartilaginosa e com mobilidade limitada) e diartrose (com grande amplitude de movimento, como joelho e ombro) (KIM et al., 2003). Para o desenvolvimento do ErgoMotion, foram selecionadas as articulações diartroses, devido à sua mobilidade e relevância na medição de ângulos articulares em contextos ergonômicos, além de serem compatíveis com a captura de movimento realizada pelo Microsoft Kinect V.1®.

Segundo Thompson e Floyd (2016), existem três planos específicos de movimentos (Figura 1), cada um com suas características distintas. O primeiro deles é o plano sagital, também conhecido como anteroposterior. O segundo plano é o plano frontal, também chamado de lateral ou coronal. O terceiro e último plano é o plano transversal, também conhecido como plano horizontal. Isso

ressalta a complexidade e a variedade de movimentos possíveis nas articulações diartrodiais.

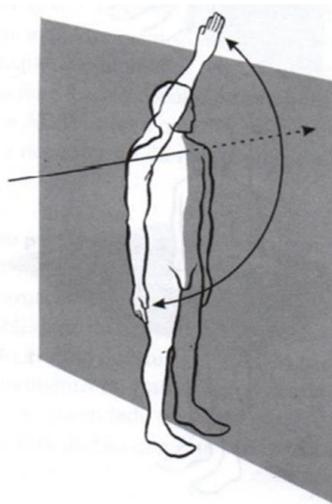
Figura 1 – Representação dos planos perpendiculares



Fonte: Thompson e Floyd (2016)

De acordo com Isabel de Camargo Sacco e Clarice Tanaka (2008), no livro "Cinesiologia e biomecânica dos complexos articulares", os movimentos primordiais do corpo humano podem ser condensados em seis tipos: flexão e extensão, abdução e adução, e por fim, rotação lateral e medial. A Flexão e extensão, por exemplo, ocorrem no plano sagital ao redor do eixo latero-lateral, envolvendo a aproximação (flexão) e afastamento (extensão) dos segmentos do corpo, como dobrar ou esticar o antebraço (Figura 2).

Figura 2 – Flexão e Extensão

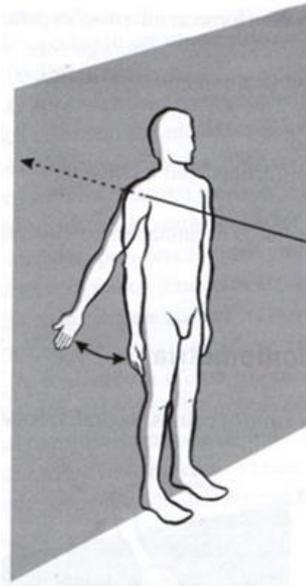


Fonte: Marques (2003)

Os movimentos de Abdução e Adução (Figura 3), são movimentos que transcorrem no plano

frontal, o qual divide o corpo em partes frontal e traseira. Abdução consiste no afastamento de um segmento do corpo em relação à linha média, como elevar o braço para o lado. Por sua vez, adução abrange a aproximação de um segmento em relação à linha média, como trazer o braço de volta ao lado do corpo (THOMPSON; FLOYD, 2016).

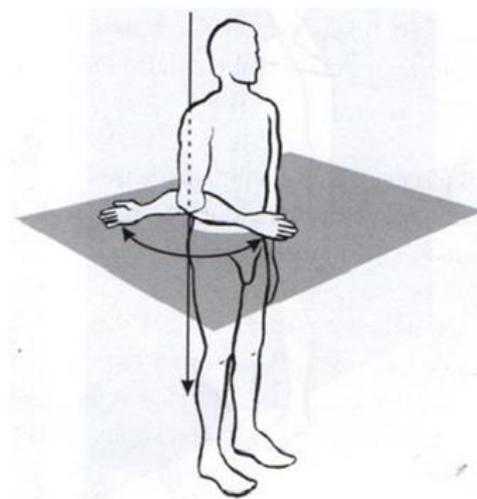
Figura 3 – Abdução e Adução



Fonte: Marques (2003)

Os movimentos de Rotação Medial e Rotação Lateral (Figura 4) são movimentos que ocorrem no plano transversal, responsável por dividir o corpo em partes superior e inferior. Rotação medial engloba a ação em que uma parte do corpo gira para dentro, em direção à linha média. Já a rotação lateral se refere ao oposto, no qual a parte do corpo gira para fora, se afastando da linha média.

Figura 4 – Rotações



Fonte: Marques (2003)

Esses são os principais movimentos do corpo humano, repetidos em diversas articulações. Algumas articulações mais complexas, como as esferoides dos ombros e quadris, conseguem

realizar uma maior combinação de movimentos, incluindo flexão, extensão, abdução, adução e rotações. Em contraste, articulações como as do joelho e cotovelo realizam principalmente movimentos de extensão e flexão, demonstrando a variedade de capacidades e especificações das articulações humanas.

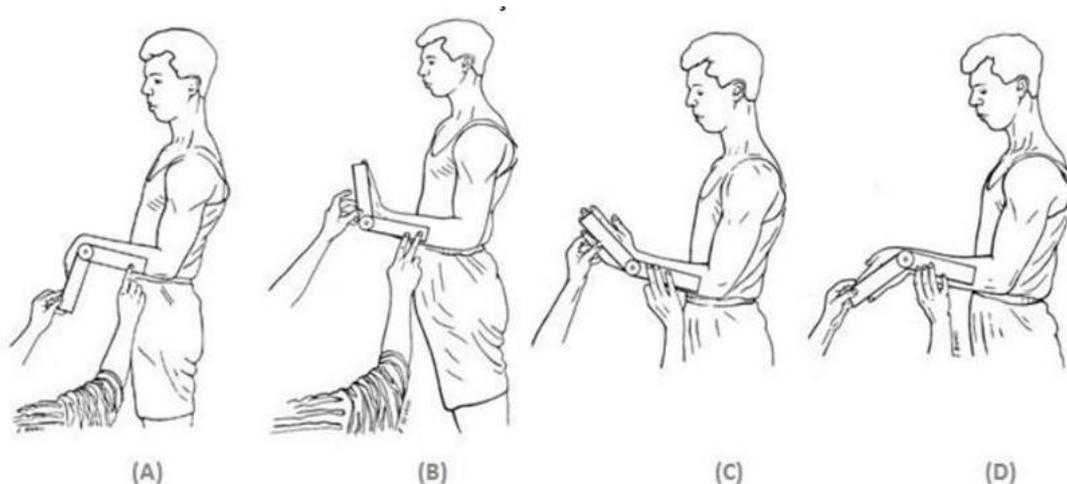
2.2 Goniometria

A goniometria é uma disciplina das ciências da saúde dedicada à medição dos ângulos articulares. Com raízes na Grécia Antiga, o termo deriva das palavras gregas "gônia" (ângulo) e "metron" (medida). Ao longo do tempo, a goniometria evoluiu para uma técnica precisa, essencial na avaliação dos movimentos articulares. Atualmente, desempenha um papel crucial em áreas como a fisioterapia e na terapia ocupacional, permitindo a quantificação objetiva da amplitude de movimento das articulações (MARQUES, 2003). Essa técnica ajuda a identificar limitações e disfunções articulares, fornecendo uma base sólida para o desenvolvimento de soluções tecnológicas que promovam saúde e eficácia nas atividades diárias.

O principal instrumento utilizado na goniometria é o goniômetro, um dispositivo projetado para medir os ângulos formados pelas articulações. O goniômetro consiste geralmente em um braço fixo, um braço móvel e um centro rotacional, permitindo uma medição precisa da amplitude de movimento.

No projeto ErgoMotion, foram estudadas as amplitudes de movimento das seguintes articulações: punho, cotovelo, ombro, coluna vertebral cervical, coluna vertebral lombar, quadris, joelhos e tornozelos. A coluna vertebral é dividida em três partes: cervical (pescoço), torácica (sem amplitude na literatura pois não pode ser medida com um goniômetro) e lombar (também presente no ErgoMotion). Estes estudos proporcionam uma base detalhada para o desenvolvimento de análises ergonômicas precisas. Como exemplo, os movimentos do punho incluem (Figura 5): Flexão: 0 a 90 graus; Extensão: 0 a 70 graus; Abdução (desvio radial): 0 a 20 graus; Adução (desvio ulnar): 0 a 45 graus.

Figura 5 - Representação dos Movimentos do Punho: (A) Flexão, (B) Extensão, (C) Abdução e (D) Adução.



Fonte: Marques (2003)

2.3 Escala Tonal da Cinesiologia no ErgoMotion

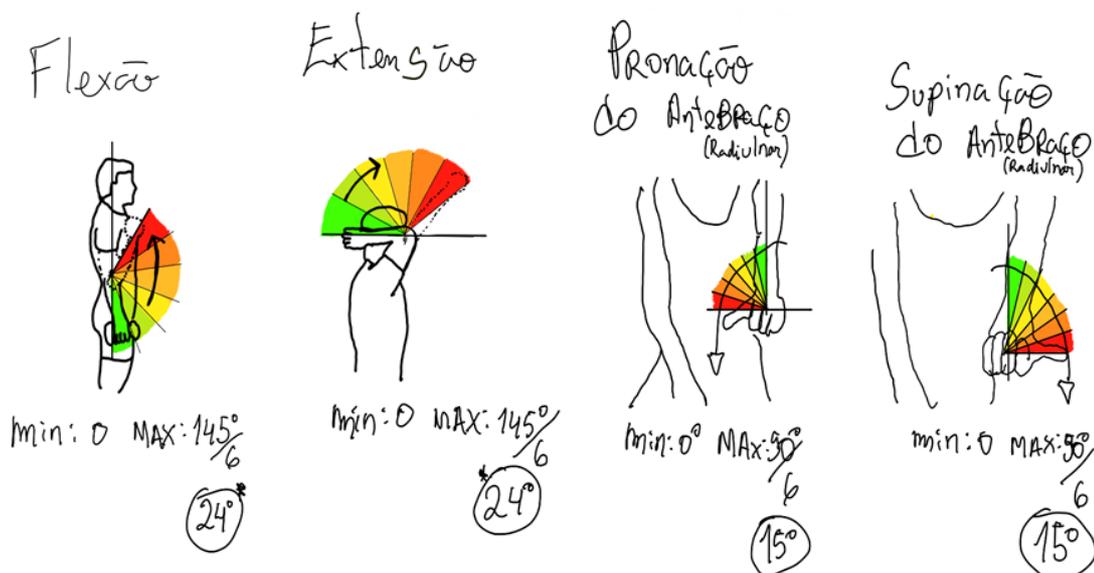
Inspirados por outros Modelos Humanos Digitais (MHDs), decidimos representar os movimentos no ErgoMotion usando uma escala tonal de seis cores. Esta abordagem facilita a interpretação dos níveis de conforto e risco associados a diferentes posturas e movimentos. A escolha das cores foi cuidadosamente pensada para transmitir de maneira intuitiva os diferentes graus de desconforto, indo do verde-lima que representa o estado mais confortável ou neutro, ao vermelho, que indica o nível mais alto de desconforto ou a amplitude máxima do movimento. É importante ressaltar que, embora a amplitude máxima de um movimento geralmente cause desconforto, existem exceções, e a escala tonal foi projetada para refletir essas nuances na interpretação ergonômica dos movimentos corporais (a sequência de cores é a seguinte: verde-lima, verde com tons de amarelo, amarelo, laranja claro, laranja escuro e culminando no vermelho)

Para criar esta escala tonal, foi necessário um trabalho de desenho dos movimentos do corpo humano. Utilizando um tablet e uma caneta touch, o autor desenhou os movimentos com base nas descrições detalhadas de Thompson e Floyd (2016), sobre cinesiologia. Além disso, os ângulos articulares foram divididos em seis estágios diferentes, baseado nas informações descritas por Amélia Pascal Marques (2003), em seu manual de goniometria. Esses desenhos cobrem todas as articulações capturadas pelo Kinect®.

O processo de desenvolvimento da escala tonal envolveu a identificação e categorização dos movimentos de cada articulação. Para isso, foi necessário interpretar e adaptar as amplitudes de movimento descritas na literatura de goniometria. Cada grau da amplitude foi associado a uma cor específica da escala, facilitando a visualização e compreensão das diferentes intensidades de movimento e dos níveis de conforto ou desconforto relacionados. Este método não apenas torna a análise mais acessível aos usuários, mas também proporciona uma base sólida para intervenções ergonômicas.

A representação visual dos movimentos utilizando a escala tonal permite uma avaliação clara e imediata dos níveis de conforto e risco, contribuindo para análises ergonômicas e biomecânicas mais precisas e eficientes. A seguir, uma ilustração exemplificando a aplicação da escala tonal aos movimentos do cotovelo (Figura 6).

Figura 6 - Estudo dos movimentos do cotovelo em seis etapas de cores no ErgoMotion



Fonte: Dewes (2024)

Essa representação visual é essencial para a eficácia do ErgoMotion, pois torna os resultados das análises mais intuitivos e facilita a tomada de decisões informadas sobre ergonomia e prevenção de lesões. É importante evitar a amplitude máxima ao utilizar produtos ou realizar atividades, pois isso pode causar lesões ou desconforto.

2.4 Captura de Movimentos para a biblioteca de Cinesiologia do ErgoMotion

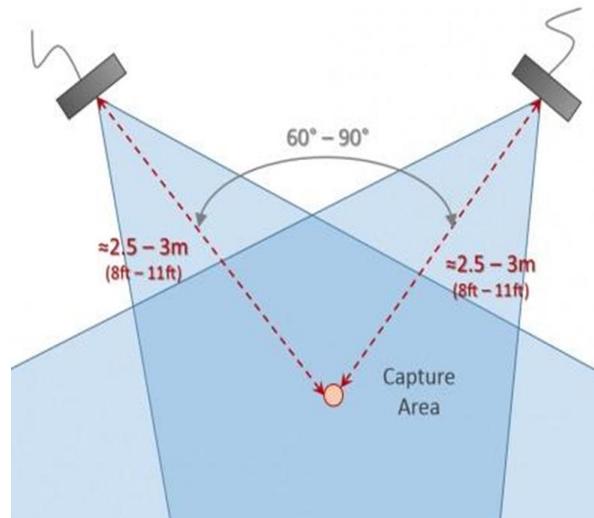
A técnica de captura de movimentos, conhecida como *motion capture*, permite registrar movimentos humanos para reprodução em ambientes virtuais. No projeto ErgoMotion, foram utilizados dois sensores Kinect® para garantir uma captura mais precisa, sem possíveis obstruções causadas pelo corpo do indivíduo. Um dos dispositivos foi o Kinect® Microsoft® v.1, para Windows®, e o outro, um Kinect para o Xbox 360® adaptado para Windows®. É possível utilizar até seis sensores em versões pagas; quanto mais sensores cobrindo o ambiente, melhor é a fluidez e qualidade do processo.

A operacionalização dos sensores exigiu a instalação de drivers específicos para Windows® e a configuração do software Kinect®. Inicialmente, o projeto tinha como meta uma análise biomecânica em tempo real, ou seja, ligada diretamente ao ErgoMotion, mas isso se mostrou desafiador, especialmente com a complexidade da programação em C#. Por isso, escolhemos o software iPi Soft® para gravar os movimentos de cinesiologia, permitindo focar no desenvolvimento de programação para os indicadores de conforto nas articulações. Após o processo de captura de movimento, é necessário importar as animações para dentro do ErgoMotion.

O software russo iPi Soft® utiliza sensores de profundidade, como o Kinect® V.1 e V.2, e câmeras de ação, como a GoPro®, PlayStation Eye®, entre outros sensores de baixo custo, e divide-se em iPi Recorder para a gravação dos movimentos e o iPi Mocap Studio para transformar os dados capturados em animação 3D. Além disso, permite que os usuários utilizem uma versão com 30 dias gratuitos.

Inicialmente, é necessário fazer uma calibração do ambiente. Para que o software identifique onde estão os múltiplos sensores, este requer um espaço amplo, sem obstruções, com iluminação uniforme. As capturas foram realizadas na residência do autor e em um laboratório de informática, sendo este último superior devido à sua iluminação e espaço. A calibração do ambiente e dos sensores é essencial para a precisão dos dados. Calibrar as câmeras determina a relação entre as coordenadas da imagem capturada e o espaço tridimensional. Para a configuração dos sensores, optou-se por um ângulo de 60 a 90 graus devido às limitações de espaço e alcance dos cabos (Figura 07).

Figura 07 - Layout do estúdio utilizado nas gravações de cinesiologia.



Fonte: IPI SOFT® (2024)

Em um cenário ideal, uma configuração de 180 graus poderia ser utilizada com cabos mais longos. Após posicionar as câmeras em um ângulo ideal, é necessário calibrar as câmeras. Neste processo, foi utilizada uma placa de MDF de 60 cm por 60 cm. Este quadro deve ser mostrado lentamente para as câmeras que estão gravando no iPi Recorder. Em seguida, é necessário importar essa gravação para o iPi Mocap Studio, que realizará o processo de calibração do ambiente.

Esse arquivo será necessário para a gravação dos movimentos. Depois disso, retornamos para o iPi Recorder e gravamos 42 movimentos descritos no Manual de Cinesiologia Estrutural de Thompson & Floyd (2016). Esse é o número de movimentos que o Kinect® consegue capturar. Existem ainda movimentos dos dedos das mãos e dos pés que, infelizmente, não podem ser gravados neste processo de baixo custo. Após gravar os movimentos no iPi Recorder, é necessário voltar ao iPi Mocap Studio, abrir o arquivo de calibração do ambiente e, em seguida, o arquivo do movimento de cinesiologia gravado (Figura 08).

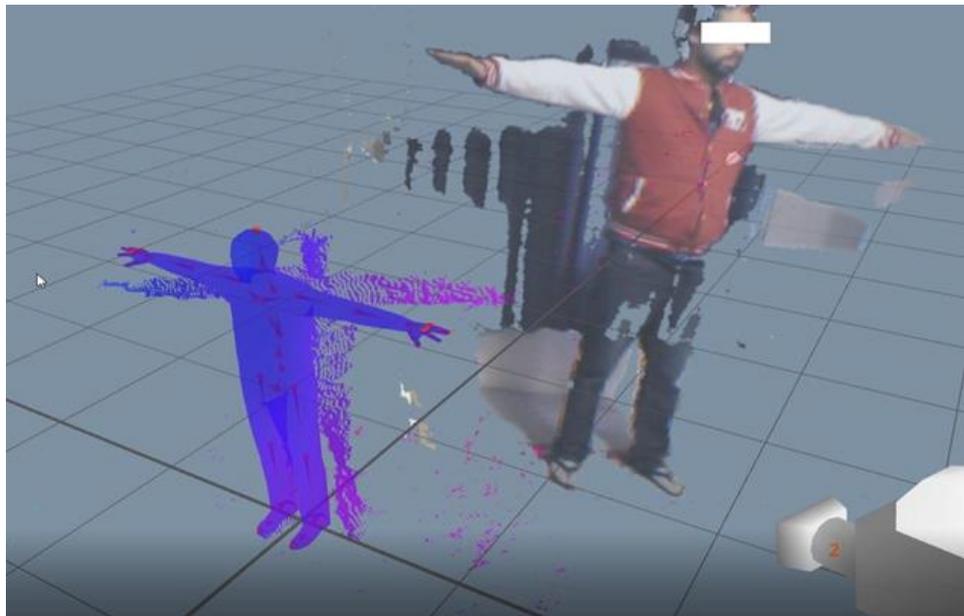
Figura 08 - Captura dos movimentos com Kinect (Extensão do Ombro)



Fonte: Dewes (2024)

Uma nuvem de pontos é gerada, e é necessário encaixar um avatar bípede dentro dessa nuvem de pontos. Depois disso, um processo de renderização fará com que esse avatar siga os movimentos da nuvem de pontos, gerando um arquivo BVH ou FBX, que pode ser aplicado a qualquer personagem 3D em programas de computação gráfica (Figura 09).

Figura 09 - Nuvem de Pontos Formada no iPi Mocap Studio



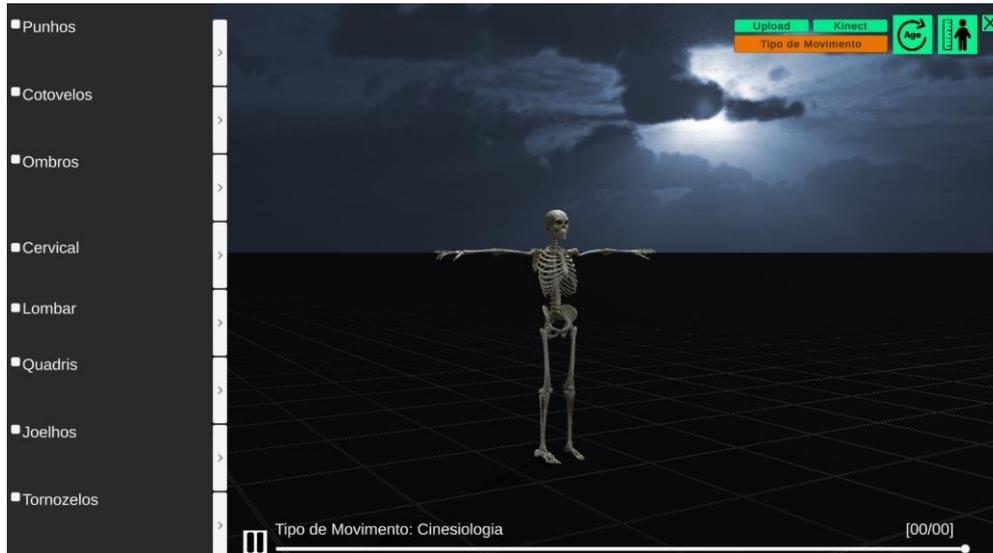
Fonte: Dewes (2024)

3 Desenvolvimento do Cenário do ErgoMotion na Unity

O cenário para o ErgoMotion (Figura 10), foi modelado para aprimorar a experiência do usuário. A construção do ErgoMotion envolveu a utilização de dois softwares principais: o 3Ds Max®, para a modelagem dos personagens, e a plataforma de desenvolvimento de jogos Unity 3D®. Embora o Unity 3D® também funcione como software de modelagem tridimensional, ele não é tão específico no tratamento das malhas quanto o 3Ds Max®. Entretanto, uma das vantagens do Unity® desde o início do projeto é que ele já oferece, por padrão, elementos como luz, câmera e um céu diurno. Além disso, o software disponibiliza objetos pré-definidos como: cubos, cilindros, entre outros.

Para este projeto, o cenário foi projetado para reproduzir um ambiente noturno. Esta foi uma escolha criativa, influenciada pela ideia de que o modelo esquelético harmoniza com um ambiente mais sóbrio e escuro. Ademais, há estudos que indicam que telas escuras ou modos escuros podem ser menos cansativos para os olhos, especialmente quando se passa muito tempo na frente delas. Isso ocorre porque telas escuras geralmente emitem menos luz azul, que é associada à fadiga ocular e à perturbação do sono. Portanto, ao optar por um cenário noturno, a interface pode oferecer uma experiência visual mais confortável para os usuários, minimizando a fadiga ocular. Além disso, é notável que os sinalizadores de conforto se destacam com mais brilho contra o chão e o céu escuros.

Figura 10 - Visão geral do cenário ErgoMotion

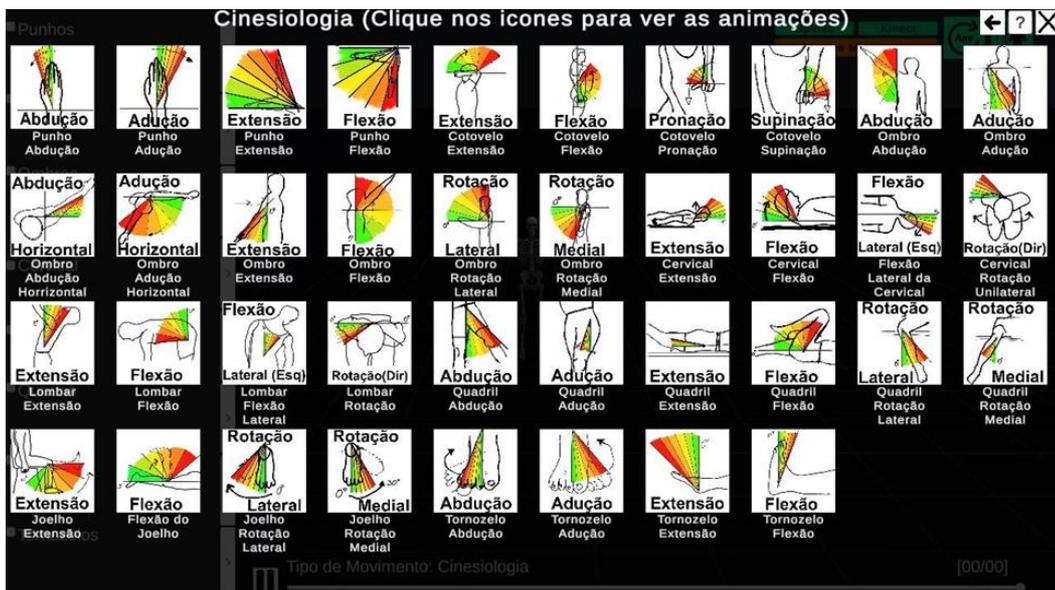


Fonte: Dewes (2024)

4 Desenvolvimento da programação do ErgoMotion

A utilização de cores na cinesilogia do ErgoMotion é viabilizada por scripts desenvolvidos em C# no Unity 3D®. O projeto foi criado para simular movimentos humanos em tempo real, com 45 scripts C# estruturando o software. Esses scripts foram codificados e depurados no Microsoft Visual Studio®, organizados em três categorias principais: Comportamento, Dados e Interface. Os scripts de comportamento definem as interações e dinâmicas, como o script que regula a movimentação da câmera e o que permite a gestão de modelos de personagens. Scripts de dados armazenam informações precisas sobre movimentos e articulações, sendo essenciais para a análise biomecânica. Esses scripts permitem que os dados de movimento sejam traduzidos em cores, variando do verde inicial ao vermelho periférico. Esses scripts também armazenam e acionam as animações feitas por captura de movimento. Na figura 11, podemos ver os ícones da biblioteca de cinesilogia que “ligam” as animações desenvolvidas pelo autor.

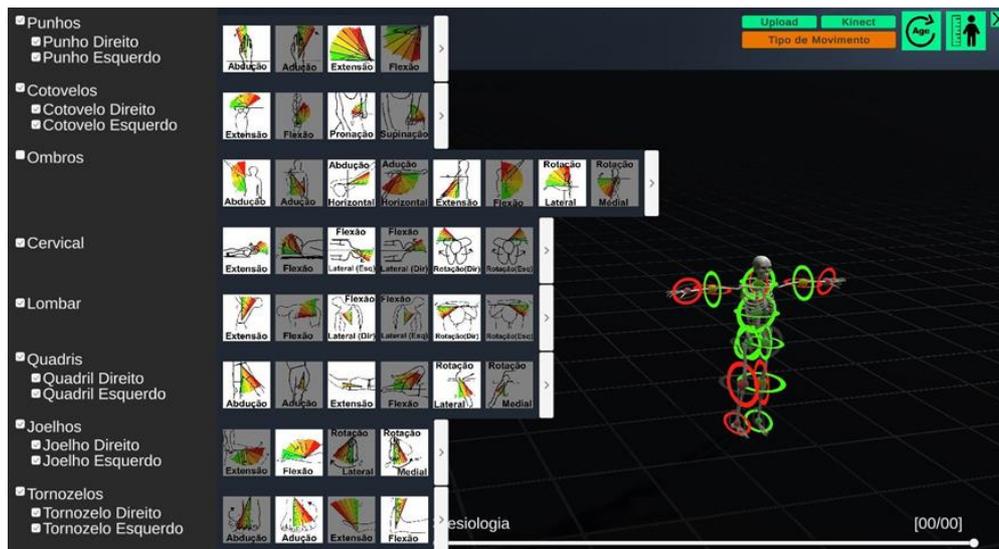
Figura 11 - Interface das animações de cinesilogia com ícones dos movimento



Fonte: Dewes (2024)

Os scripts de interface facilitam a interação do usuário com o aplicativo, gerenciando elementos gráficos como botões e menus. Scripts específicos controlam a visualização das cores das articulações, comunicando-se com os dados de movimento para definir as cores dos sinalizadores de conforto. Outros scripts são utilizados para indicar a direção dos movimentos do personagem, uma articulação pode conter ao mesmo tempo até 3 sinalizadores de conforto representando movimentos nos eixos, X, Y e Z. Na figura 12, podemos ver todos os 42 ícones de cinesiologia que acionam os sinalizadores de conforto para a análise dos movimentos de cinesiologia.

Figura 12 - Menu Lateral das articulações e movimentos no ErgoMotion.



Fonte: Dewes (2024)

Além disso, scripts aprimoram a experiência do usuário, permitindo ajustes visuais e de interação. Um script específico controla a escolha do modelo esquelético, que pode ser de diferentes faixas etárias. Ao ser acionado, esse ícone desencadeia a exibição de botões animados, apresentando faixas etárias diferentes: zero meses (correspondente à fase neonatal), 2 anos, 7 anos e o modelo adulto. A seleção de uma dessas opções resulta na substituição imediata do modelo esquelético central, permitindo ao usuário uma análise específica para a faixa etária escolhida. Conforme Lida (2005), o corpo humano passa por mudanças significativas nessas fases. Em resumo, existe uma complexa estrutura de scripts em C# desenvolvida para o ErgoMotion que permite uma simulação e análise detalhada dos movimentos humanos, utilizando uma paleta de cores dinâmica que facilita a interpretação da biomecânica.

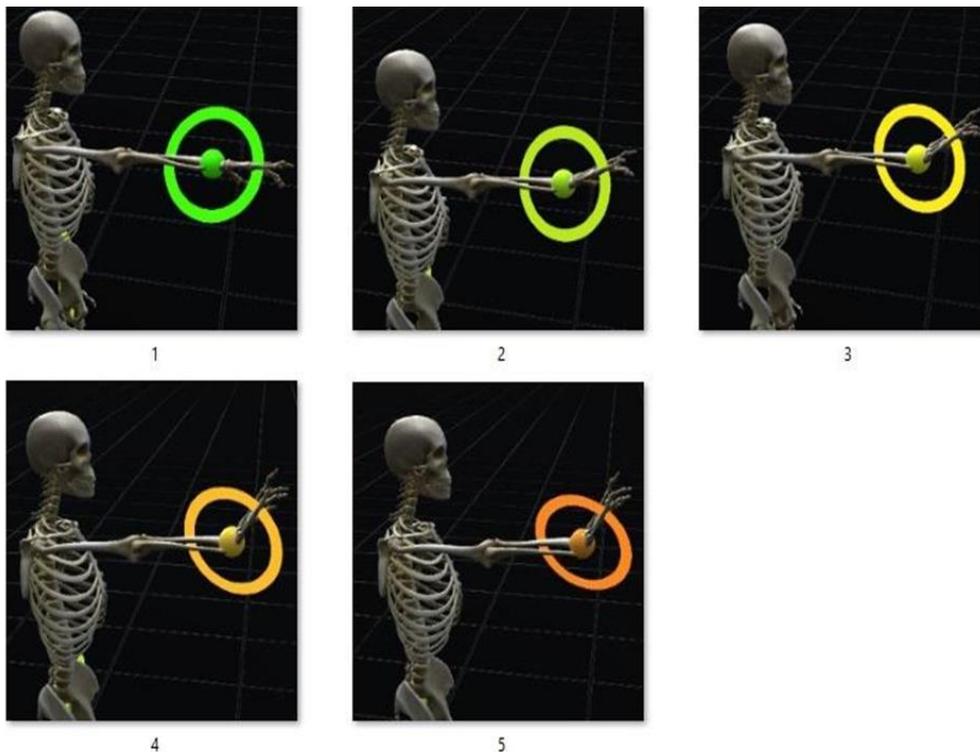
5 Avaliação da Biblioteca de Cinesiologia

Para validar a eficácia do simulador de movimentos em demonstrar os movimentos do corpo humano conforme descritos por Thompson e Floyd (2016), após a fase de captura dos movimentos, procedeu-se à programação dos valores correspondentes às amplitudes máximas e mínimas. Estes foram divididos em seis estágios distintos, cada um representado por uma cor específica. É importante salientar que, quando uma articulação executa um movimento significativamente além dos ângulos estipulados, os indicadores de conforto são representados na cor cinza com transparência. Contudo, observou-se que a maioria dos movimentos capturados da cinesiologia não excedeu consideravelmente os ângulos de movimento predefinidos, resultando em uma ocorrência

rara desta coloração nos indicadores. Por essa razão, essa variação específica de cor não é evidenciada nas imagens apresentadas.

Outro aspecto relevante a ser destacado é a possibilidade de o ator não ter alcançado a amplitude máxima indicada na literatura ou, em alguns casos, ter ultrapassado esse limite. Na figura 13 podemos observar que o ator não consegue executar toda a extensão do punho chegando até o laranja escuro.

Figura 13: Visualização da extensão do punho incompleta

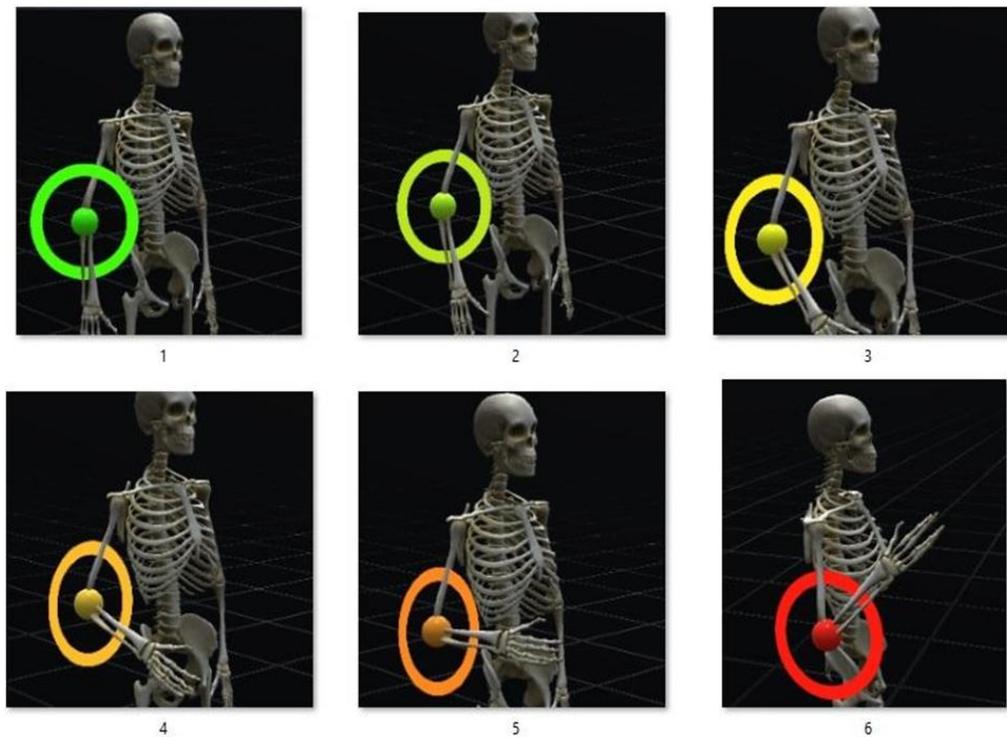


Fonte: Dewes (2024)

O foco primordial nesta fase do projeto era o desenvolvimento de um software funcional, capaz de alterar dinamicamente as cores em resposta às variações de amplitude de movimento, priorizando a funcionalidade sobre a precisão absoluta em cada detalhe. Pesquisas futuras terão a oportunidade de aprofundar a precisão dos movimentos capturados pela cinesiologia, realizando comparações diretas entre as medições obtidas pelo software e aquelas feitas com um goniômetro, tanto para o ator em ação quanto para o próprio software.

Dos 42 movimentos avaliados, apenas três apresentaram problemas potencialmente relacionados à capacidade de captura de movimentos do Kinect V.1®. No movimento de abdução do ombro, adução do ombro e flexão da cervical, observou-se que as cores não percorreram pelo menos cinco dos seis estágios esperados de amplitude. Essas limitações sugerem áreas específicas para futuras melhorias no ErgoMotion, visando aprimorar a precisão e abrangência da captura de movimentos, especialmente em movimentos mais complexos e detalhados. Na Figura 14 temos o movimento de flexão do cotovelo demonstrando a eficácia do software, passando por todos os estágios de cores.

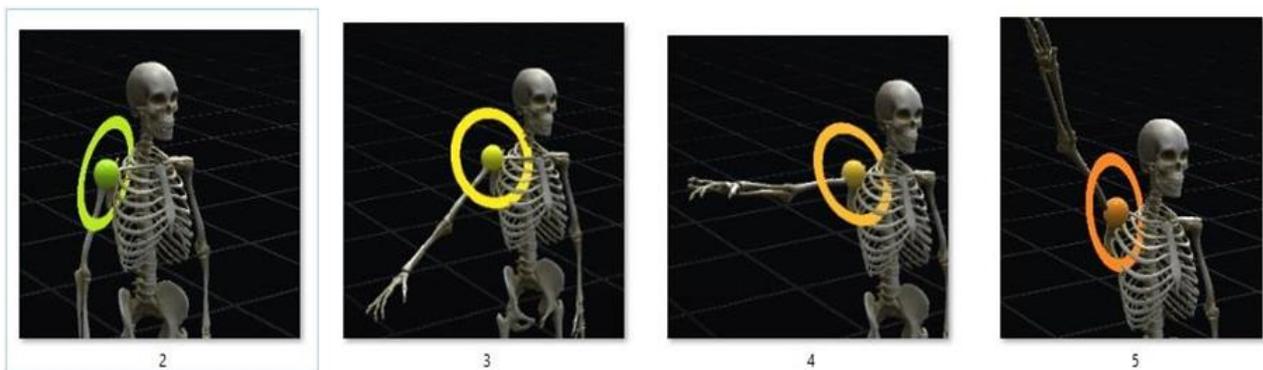
Figura 14: Visualização dos estágios de flexão do cotovelo no ErgoMotion.



Fonte: Dewes (2024)

Na Figura 15, observamos o movimento de abdução do braço, que consiste em elevar o braço para longe do corpo, direcionando-o em direção à cabeça. A imagem revela que, nesta experiência específica, o ErgoMotion mostra apenas quatro estágios de cores, iniciando no segundo estágio verde e culminando no laranja, ao invés de progredir até o vermelho. Esta limitação pode indicar que o ator não alcançou a amplitude máxima de movimento, possivelmente não começando na posição neutra, ou pode refletir uma restrição na capacidade de captura de movimentos pelo Kinect V.1®. Este é um dos três movimentos que não foram corretamente capturados na biblioteca de cinesiologia do ErgoMotion.

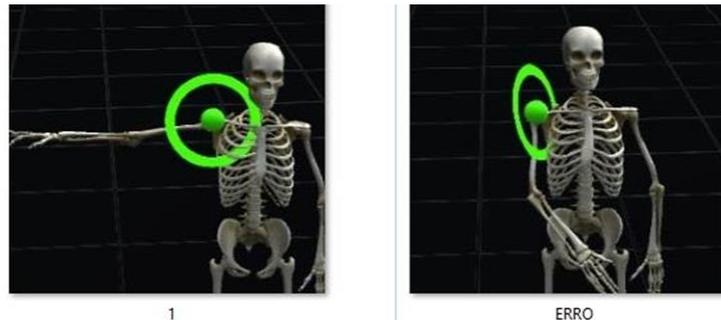
Figura 15: Visualização dos estágios de abdução do ombro no ErgoMotion.



Fonte: Dewes, 2024.

Na Figura 16, é apresentado o movimento de adução do braço, com uma amplitude de 0 a 40 graus. Este movimento implica em levar o braço em direção ao corpo, oposto ao movimento de abdução. Na visualização obtida pelo ErgoMotion, o movimento é consistentemente representado na cor verde, sem variações significativas de amplitude. Este resultado sugere uma possível limitação do Kinect V.1® em capturar adequadamente o movimento específico do tubérculo maior do úmero, que envolve uma rotação interna difícil de ser detectada pelos sensores. Esta observação destaca a necessidade de melhorias na tecnologia de captura para movimentos mais sutis e internos do corpo, visando alcançar maior precisão no sistema.

Figura 16: Interpretação do movimento de adução do braço no ErgoMotion com predominância da cor verde



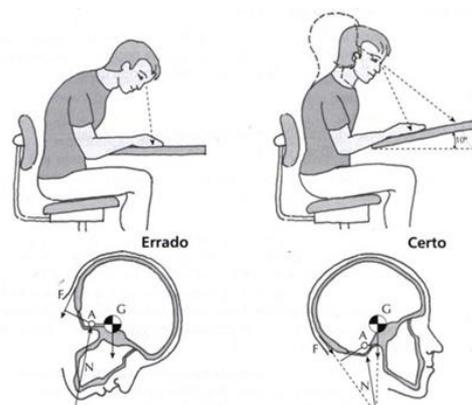
Fonte: Dewes, 2024.

Em resumo, o projeto apresenta um bom início com 39 dos 42 movimentos validados corretamente. Para projetos futuros, o foco estará na investigação e desenvolvimento de métodos que possam aprimorar a captura dos três movimentos que não foram adequadamente representados. Isso incluirá investigações mais aprofundadas sobre as limitações técnicas do Kinect® V1 e a aplicação de novas estratégias para melhorar a precisão da captura de movimentos, contribuindo assim para a evolução contínua do ErgoMotion.

6 Discussão

Segundo De Wall (1991), pesquisas laboratoriais demonstraram que inclinar tampos em um ângulo de 10° confere um benefício substancial para atividades de leitura e escrita. Essa inclinação resulta numa redução de cerca de 9° no ângulo do corpo conforme ilustrado na Figura 17, proporcionando uma significativa melhoria no conforto durante a execução dessas tarefas. Essa constatação oferece uma orientação valiosa no que se refere ao ângulo ideal pelo qual um produto pode otimizar a realização das atividades de leitura e escrita, embasando-se em evidências empíricas provenientes de experimentos.

Figura 17 – Exemplos angulares de uma mesa para estudos



Fonte: IIDA (2005)

Segundo Thompson e Floyd (2016), o movimento que a cabeça faz para estudar envolve a flexão da cervical. No manual de Goniometria, esse movimento vai de 0º na posição neutra até 65º na amplitude máxima. Dividindo em 6 estágios, temos a dízima periódica de 10,833º. Portanto, para uma mesa ser adequada para estudos, deve permitir que a postura fique dentro dos dois primeiros graus do ErgoMotion, representados pelas cores verde-lima e verde com tons de amarelo. A partir do amarelo, pode-se causar fadiga em algumas horas de estudo.

Cada equipamento e atividade humana tem seu ângulo ideal de uso, desde a análise ergonômica da posição de um piloto de Fórmula 1 no *cockpit*, visando melhorar a aerodinâmica do veículo, até a ergonomia de um violino, cujo design é cuidadosamente ajustado para se adequar à postura e aos movimentos do músico, melhorando tanto a qualidade sonora quanto o conforto durante a performance.

O software ErgoMotion pode ser programado para avaliar uma determinada atividade e ajustar as cores para indicar o ideal. A biblioteca de cinesiologia desenvolvida nesta pesquisa, com suas seis cores, pode ser usada para avaliações ergonômicas, mas requer a interpretação de um ergonomista com conhecimento dos ângulos ideais.

Por exemplo, para uma mesa de estudos, o verde com tons de amarelo é o ideal, mas é necessário que o ergonomista conheça esses valores. Assim, o software é ideal tanto para o estudo da cinesiologia quanto para a interpretação de um ergonomista. Além disso, como o ErgoMotion é programável, podem ser criadas outras bibliotecas com diferentes escalas cromáticas para avaliar situações específicas.

7 Conclusão

O desenvolvimento do ErgoMotion representa um avanço significativo na integração das tecnologias digitais com a análise ergonômica e a cinesiologia. O desenvolvimento de um simulador digital que utiliza o Kinect V.1® da Microsoft® para captura de movimentos, associado à plataforma Unity 3D®, demonstra a viabilidade de ferramentas acessíveis e de baixo custo para avaliações ergonômicas detalhadas. A adoção de representações cromáticas intuitivas, baseadas em princípios de goniometria e cinesiologia, contribui para uma análise mais eficaz das amplitudes de movimento e identificação de desconfortos articulares.

O sistema de tonalidades cromáticas, que varia do verde ao vermelho, oferece uma visualização clara e imediata dos níveis de conforto e risco associados aos movimentos e posturas. Esta abordagem facilita a interpretação dos dados e permite uma rápida tomada de decisão quanto a intervenções ergonômicas. Além disso, a biblioteca de cinesiologia com 42 análises de movimentos articulares, cada uma acompanhada de animações ilustrativas, enriquece o potencial educacional do ErgoMotion, tornando-o uma ferramenta valiosa tanto para profissionais quanto para estudantes de diversas áreas, incluindo fisioterapia, educação física, terapia ocupacional e medicina esportiva.

Os testes realizados com o ErgoMotion demonstraram sua eficácia na captura e análise dos movimentos humanos, proporcionando dados que podem ser utilizados para otimizar o design de produtos e ambientes, bem como para melhorar a performance física e prevenir lesões. A capacidade de realizar análises ergonômicas detalhadas de forma acessível e intuitiva democratiza o acesso a essas avaliações, beneficiando um público mais amplo e diversificado.

Adicionalmente, o desenvolvimento do ErgoMotion ressalta a importância da interdisciplinaridade na criação de soluções tecnológicas. A combinação de conhecimentos em ergonomia, cinesiologia, goniometria, computação gráfica e design resultou em um produto único

e capaz de atender às necessidades de diferentes usuários.

Esta abordagem integrativa não só melhora a qualidade das análises ergonômicas, mas também promove a inovação e a evolução das práticas em saúde, conforto e bem-estar.

O uso de tecnologias como o Kinect V.1® e a plataforma Unity 3D® exemplifica como recursos relativamente simples podem ser empregados para alcançar resultados detalhados. A escolha do Kinect V.1®, por sua acessibilidade e baixo custo, abre caminho para futuras pesquisas e aplicações em contextos variados, onde a análise dos movimentos humanos é essencial. Além disso, o desenvolvimento do ErgoMotion em um ambiente de programação orientada a objetos, utilizando C#, demonstra a flexibilidade e a capacidade de personalização do software, permitindo ajustes e melhorias contínuas.

8 Referências

- DE WALL, M.; VAN RIEL, M. P. J. M.; SNIJDERS, C. J. **The effect on sitting posture a desk with 10° inclination for reading and writing.** *Ergonomics*, v. 34, n. 5, p. 575-584, jun. 1992.
- DEWES, G. L. S. ErgoMotion: **Simulador digital para análises ergonômicas com captura de movimentos.** 2024. 345 f. Tese (Doutorado em Design) – Escola de Engenharia / Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.
- DRESCH, A; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia.** Porto Alegre: Bookman, 2015.
- IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção.** 2. ed. rev. e ampliada, ed. São Paulo: Blucher, 2005.
- IPI SOFT. **User Guide for Multiple Depth Sensors Configuration.** 2024. Disponível em: https://docs.ipisoft.com/User_Guide_for_Multiple_Depth_Sensors_Configuration#iPi_Recorder. Acesso em: 15 jul. 2024.
- KIM, K. et al. **Biomechanical Tissue Characterization of the Superior Joint Space of the Porcine Temporomandibular Joint.** *Journal of Dental Research*, v. 82, n. 11, p. 883-887, 2003.
- MARQUES, Amélia Pasqual. **Manual de Goniometria.** Editora Manole, 2003.
- SACCO I. C. N., TANAKA C. **Cinesiologia e biomecânica dos complexos articulares.** Rio Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.
- SILVA, J. C. P.; PASCHOARELLI, L. C. (Orgs.). **A evolução histórica da ergonomia no mundo e seus pioneiros.** Editora UNESP, 2010. 103 p. ISBN: 9788579831201.
- THOMPSON, J.; FLOYD, R. **Manual de Cinesiologia Estrutural.** 19. ed. São Paulo: Editora Manole Saúde, 2016. ISBN 978-8520445921.