

CÍNTIA FREITAS DE MOURA

Orientador: Amanda Sávio Nascimento e Silva

**APLICAÇÃO PARA O AUXÍLIO DO TRATAMENTO DE
PESSOAS COM LESÃO NO PLEXO BRAQUIAL, POR
MEIO DA ANÁLISE DE MOVIMENTOS DO MEMBRO
AFETADO**

Ouro Preto
Dezembro de 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

**APLICAÇÃO PARA O AUXÍLIO DO TRATAMENTO DE
PESSOAS COM LESÃO NO PLEXO BRAQUIAL, POR
MEIO DA ANÁLISE DE MOVIMENTOS DO MEMBRO
AFETADO**

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Ciência da Computação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

CÍNTIA FREITAS DE MOURA

Ouro Preto
Dezembro de 2018

M865a Moura, Cintia Freitas.
Aplicação para o auxílio do tratamento de pessoas com lesão no plexo braquial, por meio da análise de movimentos do membro afetado [manuscrito] / Cintia Freitas Moura. - 2018.

48f.: il.: color; grafs; tabs.

Orientadora: Profª. Drª. Amanda Sávio Nascimento e Silva.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Biológicas. Departamento de Computação.

1. Fisioterapia. 2. Reconhecimento de padrões. I. Silva, Amanda Sávio Nascimento e . II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 004.42:615.8

Catálogo: ficha.sisbin@ufop.edu.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aplicação para o auxílio do tratamento de pessoas com lesão no plexo braquial, por meio da análise de movimentos do membro afetado

CÍNTIA FREITAS DE MOURA

Monografia defendida e aprovada pela banca examinadora constituída por:


Dr. AMANDA SÁVIO NASCIMENTO E SILVA – Orientador
Universidade Federal de Ouro Preto


Dra. DAYANNE GOUVEIA COELHO
Universidade Federal de Ouro Preto


Me. REINALDO SILVA FORTES
Universidade Federal de Ouro Preto

Ouro Preto, Dezembro de 2018

Resumo

A lesão no plexo braquial, atinge os nervos dos membros superiores, e sua incidência é recorrente em motociclistas que sofrem acidentes de trânsito. Devido ao grande número de ocorrências, o estudo do tema e o desenvolvimento de novas ferramentas de auxílio no tratamento dessa lesão é de suma importância, visando acelerar o processo de recuperação e minimizar as sequelas. Nesse contexto, este trabalho propõem uma aplicação que visa facilitar o tratamento fisioterapêutico pós traumático. Nessa aplicação é possível realizar o cadastro de profissionais de saúde, pacientes e movimentos, capturados pelo Kinect, um sensor de movimentos desenvolvido para o Xbox 360 e Xbox One. Após o cadastro, o profissional define uma sequência de movimentos a ser executada pelo paciente, gerando um relatório de análise de desempenho e da evolução. Ao fim da sequência de repetições é calculado o erro em relação ao modelo cadastrado pelo profissional de saúde, e é apresentado um relatório com o índice de erro médio para cada um dos movimentos da rotina. Existe, ainda a possibilidade de uma visualização mais detalhada do erro de cada repetição. Nessa visualização, além da taxa de erro, é apresentado vídeo integral de cada uma das execuções. Adicionalmente, foi realizada a análise de usabilidade da aplicação proposta, em que os resultados indicam que a interface pode ter melhorias para facilitar seu uso.

Palavras chaves: lesão no plexo braquial; fisioterapia, tele terapia, visão computacional, Kinect, reconhecimento de padrões.

Dedico esse trabalho àqueles que foram primordiais nesse processo: A meus pais, Terezinha e Miguel, aos meus irmãos Mateus e Aline e, à meu admirador e companheiro, Lucas.

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço à Deus por toda força, superação e conquistas alcançadas até aqui.

Expresso minha gratidão a todos que, de alguma forma, fizeram parte desse processo: À toda minha família, de forma muito especial aos meus pais, Terezinha e Miguel, aos meus irmãos Mateus e Aline, e ao meu namorado Lucas;

À minha orientadora Amanda e os demais professores do departamento de Computação da Universidade Federal de Ouro Preto;

Ao "Bando", que permite minha experiência universitária ser mais leve e produtiva;

E, por fim, mas não menos importante, aos colegas do curso que estiveram presentes nessa caminhada.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Definição do problema e justificativa	2
1.2	Objetivo geral e objetivos específicos	3
1.3	Métodos	3
1.4	Organização do documento	4
2	Revisão da literatura	5
2.1	Fundamentação teórica	5
2.1.1	Plexo braquial (PB)	5
2.1.2	Tecnologias	7
2.2	Trabalhos relacionados	14
3	Desenvolvimento	16
3.1	Extração de requisitos	17
3.2	Arquitetura da aplicação	19
3.3	Modelagem entidade relacionamento	20
3.4	Implementação do sistema	22
3.4.1	Métodos de comparação entre os movimentos	28
4	Estudo de caso	30
4.1	Abordagem da análise dos ângulos (Método I)	31
4.2	Abordagem da padronização física (Método II)	33
4.3	Comparação entre métodos	33
4.4	Avaliação de usabilidade	34
5	Conclusão e trabalhos futuros	36
	Referências Bibliográficas	37

Lista de Figuras

2.1	Estrutura do plexo braquial	6
2.2	Áreas da visão computacional	8
2.3	Fluxograma detecção de movimento	10
2.4	Hardware do Kinect produzido pela Microsoft	11
2.5	Estrutura interna do Kinect	11
2.6	Proposta do questionário SUS	13
3.1	Cronograma de atividades	17
3.2	Arquitetura do sistema	20
3.3	Diagrama Entidade Relacionamento	21
3.4	Evolução do desenvolvimento do sistema	22
3.5	Login no sistema	23
3.6	Cadastro de profissional	23
3.7	Cadastro de paciente	24
3.8	Cadastro de movimentos	25
3.9	Criação da ficha para execução	26
3.10	Execução da sessão	27
3.11	Evolução do paciente	28
4.1	Medidas do membro superior utilizados no Modelo	30
4.2	Movimentos estudados	31
4.3	Gráfico: Comparativo dos métodos	34
4.4	Gráfico: Avaliação do sistema	35

Lista de Tabelas

2.1	Comparação entre os sistemas	15
3.1	Requisitos funcionais	18
3.2	Requisitos não funcionais	19
4.1	Características físicas dos pacientes	31
4.2	Erro por articulação, método com angulo	32
4.3	Erro geral, método com angulo	32
4.4	Erro por articulação, método com angulo	32
4.5	Erro geral, método com angulo	33
4.6	Erro por articulação, método com angulo	33

Capítulo 1

Introdução

A lesão do plexo braquial(LPB) é uma lesão nervosa nos membros superiores que pode atingir recém-nascidos na hora do parto natural ¹ e adultos envolvidos em acidentes automobilísticos ou esportes de contato [14]. O plexo braquial (PB) é um conjunto complexo de nervos com aproximadamente 15 centímetros de comprimento (no adulto), que se origina da medula espinhal na região do pescoço, passa debaixo da clavícula e alcança a axila, onde origina cinco nervos², que vão controlar os movimentos e a sensibilidade do ombro, braço, antebraço e mão [15].

”O PB é uma região particularmente crítica do sistema nervoso periférico quanto à sua exposição ao trauma. Devido as suas especiais relações anatômicas com as estruturas móveis do pescoço e ombro, pode ser envolvido quando os vetores de força provocam tração sobre essas estruturas. Além disso, devido à sua relativa falta de proteção muscular e óssea, pode também ser lesado por ferimentos penetrantes desta região ”. [16]

Entre as diversas causas de lesão do plexo braquial (LPB), aquelas decorrentes de acidentes automobilísticos são as mais frequentes. Estudos americanos e europeus demonstram que 10% a 20% das lesões do sistema nervoso periférico envolvem o PB. Dessas, de 80% a 90% são devidas aos traumas auto/motociclísticos, que geram mecanismos de tração sobre o pescoço e ombro[16]. Apesar de existir poucas estatísticas brasileiras sobre o tema, de acordo com dados do Departamento Nacional de Trânsito (Denatran), em 2017 haviam 50 milhões de carros e 30 milhões de motocicletas no Brasil e a frota seguiu com tendência ascendente no ano de 2018. O Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS) afirma que foram registrados mais 180 mil internações graves e 34.850 óbitos em 2016 por acidentes de trânsito.

¹Parto natural é aquele realizado sem intervenções ou procedimentos desnecessários durante todo o período de trabalho de parto, e pós parto também conhecido como parto humanizado

²O plexo braquial é formado por quatro espinhais cervicais inferiores (C5,C6,C7,C8), e pelo primeiro nervo torácico (T1)[16].

Neste cenário, faz-se necessário propor soluções que visam facilitar o tratamento de lesões do plexo braquial, tal como esse trabalho, cujo a proposta do trabalho foi elaborada em parceria com o Centro de Pesquisa, Inovação e Difusão em Neuromatemática (NeuroMat) [19], sediado na Universidade de São Paulo (USP) [3]. O centro de pesquisa surgiu em 2013 com o objetivo de integrar modelagem matemática e neurociência teórica, coordenado pelo matemático Antônio Galves e financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) [1], o NeuroMat reúne pesquisadores em matemática, ciência da computação, estatística, neurociência, biologia, física e comunicação, entre outros, de universidades brasileiras e estrangeiras.

1.1 Definição do problema e justificativa

O estudo da LPB é importante para a melhoria da qualidade de vida dos atingidos por essas lesões. Procedimentos cirúrgicos têm sido utilizados no tratamento desses pacientes para reconstrução parcial da inervação perdida. No entanto, a reconstrução completa dos feixes motores que inervam o braço após uma LPB ainda não é possível [14]. Nesse sentido, o acompanhamento pós-operatório é de extrema importância, pois é nesse momento que se avaliam as possíveis sequelas da lesão e é criado um plano de minimização para todas elas. Logo, a fisioterapia é de essencial [31], pois a estimulação dos movimentos é um fator decisivo para a recuperação do plexo braquial.

”Fisioterapia é uma ciência da saúde que estuda, previne e trata os distúrbios cinéticos funcionais intercorrentes em órgãos e sistemas do corpo humano, gerados por alterações genéticas, por traumas e por doenças adquiridas. Fundamenta suas ações em mecanismos terapêuticos próprios, sistematizados pelos estudos da biologia, das ciências morfológicas, das ciências fisiológicas, das patologias, da bioquímica, da biofísica, da biomecânica, da cinesiologia, da sinergia funcional e da cinesiopatologia de órgãos e sistemas do corpo humano e as disciplinas comportamentais e sociais.” [36]

No que tange a realização de fisioterapia para finalidades diversas, são recorrentes alguns desafios tais como dificuldade de locomoção do paciente até o centro de tratamento e disponibilidade de especialistas ou fisioterapeuta que atenda todas as demandas. Diante disso, a realização de sessões de fisioterapia fica, muitas vezes, comprometida, podendo resultar numa baixa eficácia da fisioterapia assistida.

Outro fator que influencia o tratamento é, quando ao realizar os exercícios sem acompanhamento, o paciente não os executa adequadamente; devido à falta de supervisão e referências, ou mesmo devido ao cansaço ou dor.

Neste sentido, há diversas soluções computacionais que visam facilitar a especificação e o acompanhamento de exercícios de fisioterapia, dando ao paciente a liberdade de fazer tais

exercícios em locais de sua preferência [2] [37] [21] [4] [7]. Contudo, não foram encontrados trabalhos voltados exclusivamente para a LPB. Essa diferenciação se faz importante pelo fato da lesão ocorrer em uma parte muito específica do corpo humano, com características exclusivas e muito bem definidas [16].

1.2 Objetivo geral e objetivos específicos

Este trabalho tem como principal objetivo implementar uma aplicação que auxilie no tratamento de pessoas adultas com lesão no plexo braquial utilizando mecanismos computacionais para analisar os movimentos do paciente, de forma a acompanhar sua evolução no quadro clínico e gerar relatórios detalhados para o profissional da saúde.

Como objetivos específicos temos:

Objetivo específico 1: Desenvolver uma aplicação que permita ao profissional de saúde consultar e cadastrar movimentos e pacientes em uma base de dados, a fim de selecionar a sequência de movimentos a serem executados por cada um.

Objetivo específico 2: Definir e implementar uma métrica para o cálculo do erro de precisão a cada um dos movimentos cadastrados, especificando de forma simples a diferença entre os movimentos propostos e os realizados.

Objetivo específico 3: Analisar diferentes formas de mostrar esses valores ao profissional de saúde, definindo a forma que mais facilite a interpretação dos resultados obtidos.

1.3 Métodos

A partir de um cadastro de movimentos preestabelecidos por um profissional de saúde, o paciente deverá realizá-los de forma que seja possível estabelecer uma comparação entre seus movimentos executados e aqueles provenientes da base de dados. Fazendo uso de técnicas de visão computacional e com auxílio de um Kinect, um sensor de movimentos desenvolvido para o Xbox 360 e Xbox One, a solução deverá facilitar o cálculo do índice de erro (variação entre o movimento proposto e o executado) de cada articulação, visando ajudar os profissionais da saúde a realizarem uma avaliação mais precisa e detalhada da evolução de cada caso, possibilitando definir a forma de tratamento mais eficaz. Com a finalidade de avaliar o quanto a aplicação proposta é fácil de ser utilizada, será realizada uma avaliação mediante a aplicação do questionário SUS (System Usability Scale), um dos métodos mais simples para averiguação do nível de qualidade de um sistema de software [33].

1.4 Organização do documento

O Documento está organizado em 6 capítulos de forma que no **Capítulo 1**, é apresentado a contextualização do problema, e os objetivos geral e específicos deste trabalho.

No **Capítulo 2**, é realizada uma revisão literária abordando o plexo braquial, a lesão no plexo braquial e as tecnologias utilizadas no desenvolvimento da aplicação. Além de uma comparação entre os sistemas propostos e os já existentes no mercado

Já no **Capítulo 3**, é detalhado todo o processo de preparação e criação do sistema proposto explicitando os métodos, requisitos funcionais e não funcionais do sistema, arquitetura do banco de dados, e a proposta de avaliação do sistema.

O resultado do trabalho é apresentado em **Capítulo 4**, no qual é descrito os testes realizados no desenvolvimento do protótipo apresentado nesse documento.

Finalizando este documento o **Capítulo 5** contém uma breve discussão sobre os resultados, as considerações finais e os trabalhos futuros.

Capítulo 2

Revisão da literatura

Neste capítulo, serão apresentados conceitos essenciais para o entendimento deste trabalho (Seção 2.1) e os trabalhos correlatos (Seção 2.2).

2.1 Fundamentação teórica

Esta seção traz a definição do plexo braquial, explicações sobre a lesão a ser tratada e todo embasamento tecnológico necessário para a compreensão da solução proposta.

2.1.1 Plexo braquial (PB)

O PB é composto por um conjunto de nervos periféricos responsáveis pela inervação sensitiva, motora e autonômica dos membros superiores. É formado pelos ramos ventrais das raízes cervicais C5, C6, C7, C8 e pela raiz torácica T1, [39] como mostra a Figura 2.1. O PB é dividido em: o tronco superior (C5 e C6), responsável pelos movimentos do ombro e flexão do cotovelo; o tronco médio (C7), responsável pelo comando do grupo muscular extensor do cotovelo, punho e extrínseco do polegar e dedos, e o tronco inferior (C8 e T1), responsável em grande parte pela motricidade e capacidade preensora da mão.

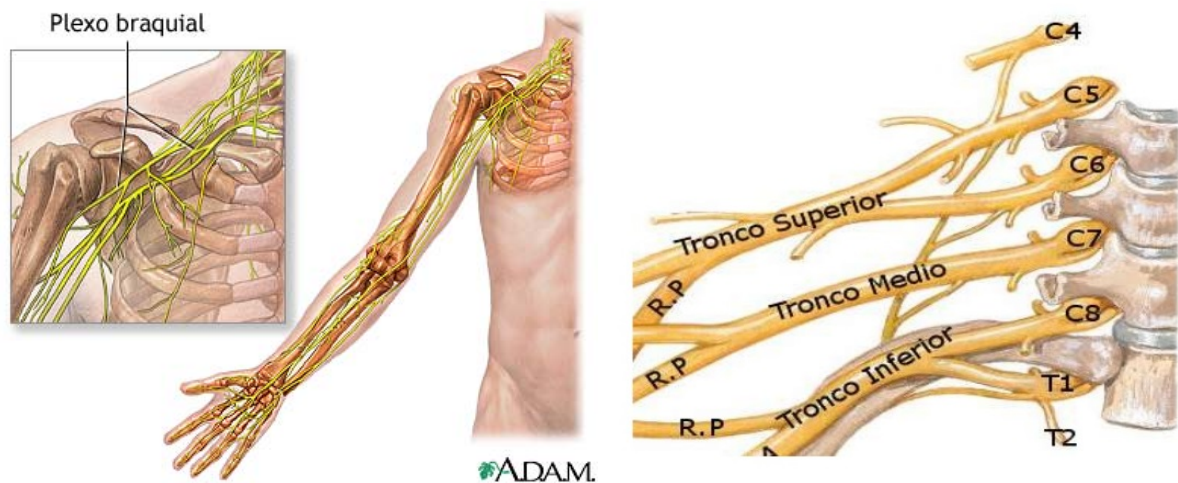
Dada sua importância funcional, o PB merece grande atenção, em particular, porque suas relações anatômicas com estruturas ósseas, articulares e musculares de pescoço e ombro o tornam altamente suscetível à lesões [39].

2.1.1.1 Lesão no plexo braquial

Entre as diversas causas de LBP, acidentes automobilísticos estão entre as mais recorrentes, e atingem em sua grande maioria homens entre 15 e 25 anos [29]. A lesão decorre de compressão ou tração (95% dos casos), sendo mais frequente na região supra clavicular ¹ (70 a 75% dos casos, [29]), levando à mudanças nas representações corticais, frequentemente associadas a

¹Localizado acima da clavícula

Figura 2.1: Estrutura do plexo braquial



Fonte: ARMS México

(Disponível em: <https://armsmexico.com/category/plexo-braquial/>, acesso em maio/2015)

dor neuropática [6]. A incidência anual aproximada de lesões traumáticas do plexo braquial no Brasil é de 1,75 casos/100.000 habitantes[16].

”Traumas com ombro para baixo agravam-se quando a cabeça é forçada na direção oposta. Traumas em abdução exagerada lesam os troncos inferiores. Quanto mais energia tiver o trauma maiores serão as lesões e estruturas anatômicas envolvidas como vasos, tendões e ossos.” [12]

As desordens do PB são classificadas em lesões traumáticas e não traumáticas. As traumáticas representam aproximadamente 50% de todas as desordens dos plexos e podem ser provocadas por compressão, estiramento ou ruptura das raízes [26]. As LBP podem ocorrer em qualquer local, desde a origem das raízes até os nervos periféricos, sendo classificadas em relação à localização em pré e pós-ganglionares², na tentativa de separar as lesões intradurais³, provocadas por “arrancamento”, das extradurais⁴ [16].

As lesões pré-ganglionares ocorrem entre o espaço epidural e forame intervertebral, e as pós-ganglionares se estendem do forame intervertebral até a axila [25]. Estudos americanos e europeus demonstram que 10% a 20% das lesões do sistema nervoso periférico envolvem o plexo braquial, acarretando em sérias limitações físicas.

Geralmente relacionadas a traumas de maior gravidade, é comum observar alta incidência de lesões concomitantes a LBP, especialmente as fraturas de clavículas e ossos longos. A

²Corpos celulares de neurônios localizados fora do sistema nervoso central

³Dentro da mais externa das 3 membranas que envolvem medula espinal

⁴Fora da mais externa das 3 membranas que envolvem medula espinal

realização de tratamentos prévios para outras complicações do trauma, como fraturas, lesões vasculares ou viscerais, em geral, além de aumentarem a morbidade, atrasam o tratamento da lesão neurológica [26]. Nos pacientes que submetidos a cirurgia da região supra ou infra clavicular para correção de lesões ortopédicas ou vasculares, esse atraso é mais marcante[16].

As prioridades funcionais no tratamento da lesão completa são flexão do cotovelo, estabilização do ombro, sensibilidade da mão, extensão do punho e flexão dos dedos, pois os músculos mais proximais têm maior capacidade de reinervação em comparação com os mais distais [26]. Nesses casos, a fisioterapia tem como metas manter a amplitude de movimento articular, retardar a atrofia muscular por desuso e reeducar os grupamentos musculares.

Já em lesões mais simples, em que há continuidade do nervo, pode-se realizar a neurólise⁵, com a liberação das aderências ao redor do nervo. Caso contrário são utilizados enxertos de nervo. Nesses casos, os cotos nervosos devem ser sadios para correto alinhamento dos fascículos⁶ [12]. Existe, também, uma grande incidência da lesão em recém-nascidos por parto natural o que não é objeto do estudo deste trabalho.

2.1.2 Tecnologias

Esta seção traz definições e explicações sobre as tecnologias estudadas no desenvolvimento da aplicação. Apresentando conceitos de visão computacional, Kinect e análise de usabilidade.

2.1.2.1 Visão computacional

Visão computacional é o estudo da extração de informações de uma imagem, desenvolvendo, inclusive, teoria e tecnologia para a construção de sistemas artificiais que obtém informação de imagens ou quaisquer dados multidimensionais[38]. A visão computacional difere do processamento de imagens pois o processamento de imagens trata apenas da transformação de imagens em outras imagens, já a visão computacional trata explicitamente da obtenção e manipulação dos dados de uma imagem e do uso deles para diferentes propósitos. É formada pela integração de quatro grandes áreas da computação: processamento digital de imagens e sinais, inteligência artificial e reconhecimento de padrões [30] como exemplificado na Figura 2.2.

Diferente da visão biológica, onde a percepção visual dos humanos e outros animais é estudada, resultando em modelos de processos fisiológico⁷ [38], a visão computacional estuda e descreve sistemas de visão artificial implementados por *hardware* ou *software*. Existe uma série de etapas, descritas a seguir, para que a visão computacional consiga reproduzir com maior precisão a visão biológica, podendo ou não ser necessária a aplicação de todas as etapas;

⁵Destruição de qualquer parte do sistema nervoso (células ou fibras). Esgotamento nervoso.

⁶Fascículo muscular é um conjunto de fibras musculares esqueléticas cobertas por um tipo tecido conjuntivo.

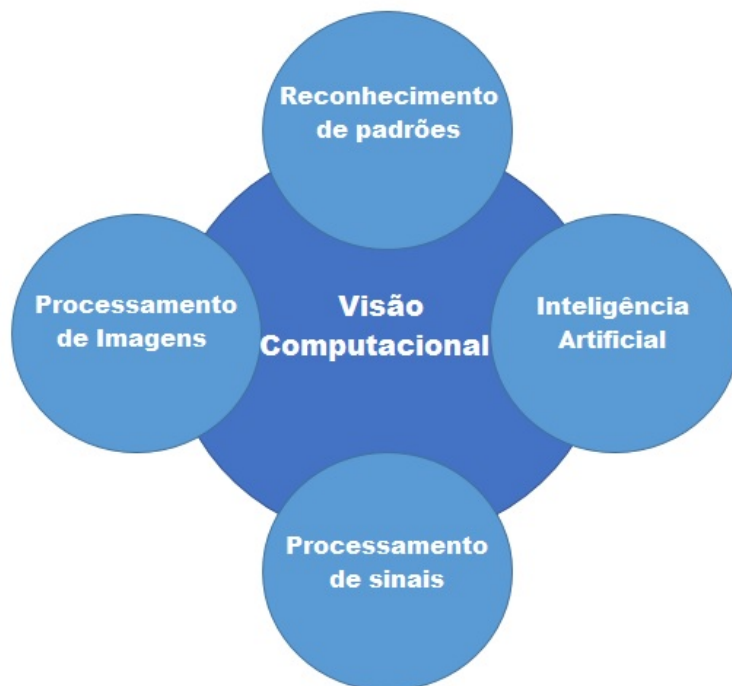
⁷Processo que envolve as funções bioquímicas, físicas e mecânicas nos seres vivos

pois essas dependem do contexto do problema, do formato da imagem e da ferramenta de manipulação da imagem.

Na etapa de pré-processamento, ocorrem processos como a redução do ruído, realce das imagens e suavização de bordas com intuito aumentar a qualidade da imagem evidenciando os objetos de estudo e diminuir o erro causados por essas imperfeições [32]. A segmentação vem em seguida, e tem como objetivo dividir a imagem de acordo com os objetos de interesse identificando, por exemplo, o corpo humano. Depois da imagem segmentada, são aplicados os algoritmos de reconhecimento de padrão, de onde são extraídas as informações relevantes para o processo de visão computacional.

A inteligência artificial, em especial na área de aprendizado de máquina, é muito empregada juntamente ao reconhecimento de padrão, para o entendimento da informação gerada a partir da imagem[32], utilizando algoritmos e técnicas que permitam ao computador aprender e aperfeiçoar seu desempenho em alguma tarefa. Suas aplicações estão presentes em diversos segmentos tecnológicos que envolvem análise de imagens, reconhecimento de padrões e controle inteligente, abrangendo múltiplas áreas do conhecimento, tais como agronomia, astronomia, biologia, biometria, medicina e muitas outras.

Figura 2.2: Áreas da visão computacional



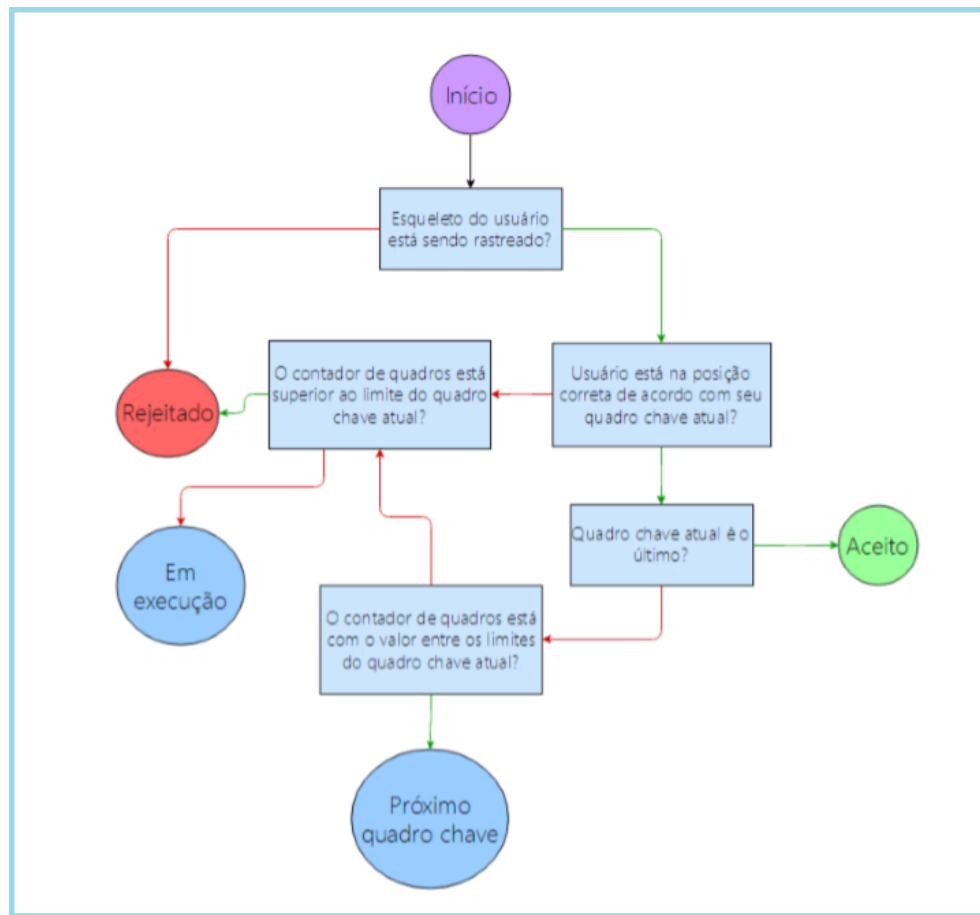
Visão computacional para detecção de movimentos:

Para detectar que objetos ou áreas estão se movendo numa cena existem diversos métodos

diferentes, em relação a diversos referenciais, que visam analisar quais pontos se moveram na imagem e com que velocidade. O fluxo óptico descreve a velocidade e a direção do movimento de cada pixel em relação à imagem anterior. Objetos mais distantes na cena em relação ao observador, se movem mais lentamente na imagem que objetos próximos, por isso não é possível calcular a velocidade do objeto [27].

Outra maneira para se seguir o movimento de um determinado objeto seria localizá-lo nos quadros do vídeo mediante uso de técnicas de reconhecimento de padrão que visam identificar objetos de interesse na cena. Esse método se chama vídeo *tracking* [32], ilustrado em detalhes nas Figura 2.3. Nesse processo, ao detectar o esqueleto inicia o processo de identificar a posição do usuário em relação ao quadro atual, se as posições forem próximas verifica-se o contador de quadros e passa para o próximo cenário repetindo o processo até o último quadro chave. Caso contrário o sistema aguarda a compatibilidade entre o quadro atual e o usuário desde que o quadro esteja em uma faixa aceita pelo contador. Com o vídeo *tracking* é possível detectar movimentos de translação, bem como rotação, de um objeto em específico. Geralmente, um modelo bidimensional, ou tridimensional, se necessário, é usado para detectar o objeto nas imagens do vídeo, o que torna possível saber o deslocamento absoluto do objeto no ambiente. Entretanto, esse método é mais complicado para objetos que se movem muito rapidamente em relação à taxa de quadros por segundo. Além disso, um modelo tridimensional é obrigatório caso haja muitas mudanças no sentido do movimento[32].

Figura 2.3: Fluxograma detecção de movimento



Fonte: Microsoft Kinect: Crie aplicações interativas [10]

2.1.2.2 Kinect: Um sensor de movimentos

Como proposta de interface natural,⁸ inicialmente focada para a área de jogos, a *Microsoft*, em parceria com a empresa israelita PrimeSense, construiu o sensor de movimentos que hoje é chamado de Kinect. Inicialmente, o sensor era conhecido pelo codinome "Projeto Natal", fazendo referência à cidade brasileira Natal, devido à um dos idealizadores do projeto ser o brasileiro Kipman [10].

⁸Interface natural é aquela efetivamente invisível, ou se torna invisível com os sucessivos níveis de imersão, para o usuário, e é baseado na natureza ou elementos naturais humanos.

Figura 2.4: Hardware do Kinect produzido pela Microsoft



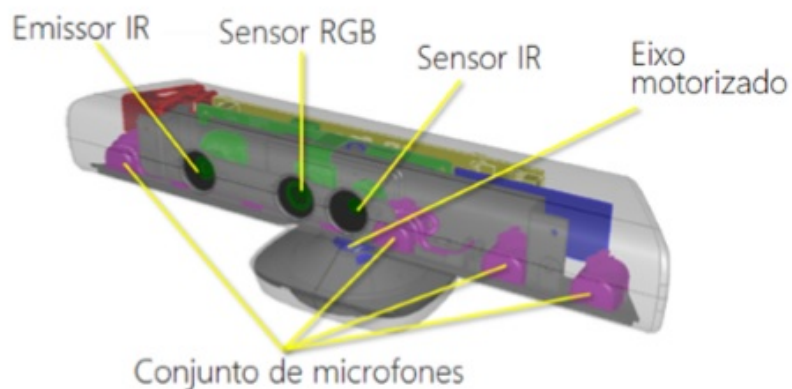
Fonte: Canaltech.com

(Disponível em: <http://canaltech.com.br/o-que-e/kinect/Como-funciona-o-Kinect/>, acesso em maio/2015)

O Kinect certamente causou uma revolução na área de interações com jogos, pois a partir dele não foi mais necessário utilizar um controle: o sensor capta movimentos e comandos de voz e, abrindo leque de possibilidades, inclusive o uso da linguagem natural para a interação com os jogos.

"O sensor possui um hardware que oferece diversos recursos. Entre os principais estão: Emissor de luz infravermelha; sensor RGB; sensor infravermelho; eixo motorizado; e um conjunto de microfones dispostos ao longo do sensor, como apresentado na Figura 2.5." [10].

Figura 2.5: Estrutura interna do Kinect



Fonte: Microsoft Kinect: Crie aplicações interativas [10]

”Por ser um dispositivo RGB-D. Ou seja, permite a captura de imagens representando as cores (RGB) e a profundidade de uma cena ($D - Depth$), o Kinect é usualmente representado por um par de imagens com resolução 640×480 , uma imagem em formato colorido RGB (24 bits/pixel) e a outra imagem representando a longitude de cada pixel ($Depth$). A profundidade representa toda distância dos pixels em relação ao sensor, formando um mapa $L \times C \times P$ (Linha \times Coluna \times Profundidade).” [5]

O Kinect passou a ser amplamente utilizado em aplicações de visão computacional pela sua simplicidade de trabalhar em 3 dimensões [10]. Seus múltiplos sensores fornecem informações de grande relevância, fazendo com que imagens e movimentos sejam captados quase que instantaneamente, e com qualidade superior à câmeras de alta resolução [5].

O Visual Studio (VS) é o ambiente de desenvolvimento integrado da Microsoft, por ser desenvolvido pela mesma fabricante do Kinect, ele possui ferramentas específicas que facilitam o desenvolvimento para seu dispositivo. Ou seja, o ambiente de criação possui, de forma integrada, as bibliotecas do Kinect [10], o que permite reconhecer seu Kit para desenvolvimento de software (SDK), além de dispor de *plugins* em C#, específicos para o sensor de movimentos.

2.1.2.3 Análise de usabilidade: SUS (System Usability Score)

Inicialmente, foi planejada uma avaliação somativa [8] de usabilidade para ser realizada na primeira versão funcional do sistema. Para isso, será utilizado o *System Usability Score* (Sistema de Escala de Usabilidade, em tradução livre, SUS) [9]. O método criado por John Brooke em 1986, pode ser usado para avaliar produtos, serviços, hardware, software, websites, aplicações, e qualquer outro tipo de interface. Os critérios do SUS ajudam avaliar a efetividade (os usuários conseguem completar seus objetivos?), eficiência (quanto esforço e recursos são necessários para isso?) e satisfação (a experiência foi satisfatória? [13]). Este sistema é capaz de avaliar a usabilidade de um programa de maneira rápida, permitindo uma avaliação de usabilidade confiável e de baixo custo. O SUS é um questionário formado por dez perguntas cujas opções de respostas variam na escala de 1 (“discordo completamente”) a 5 (“concordo completamente”), como mostrado na Figura 2.6.

O sistema como um todo recebe uma única nota que varia entre 0 e 100. É importante observar que a nota de cada item não possui nenhum significado se analisado individualmente. Esta é apenas uma proposta para avaliação inicial, cujos resultados irão dar uma ideia geral do sistema, possibilitando que testes mais específicos sejam realizados posteriormente.

Depois de colher os resultados, o cálculo da pontuação final é feito seguindo as seguintes regras [13]:

- Para as respostas das questões ímpares (1, 3, 5), subtraia 1 da pontuação que o usuário respondeu.

- Para as respostas das questões pares (2 e 4), subtraia a resposta de 5. Ou seja, se o usuário respondeu 2, contabilize 3. Se o usuário respondeu 4, contabilize 1.
- Some todos os valores das dez perguntas, e multiplique por 2.5.

Após calcular a pontuação final, que pode ir de 0 a 100, deve-se avaliar o critério de aceitação, que para o *System Usability Score* é de 68 pontos, uma média inferior implica que existem sérios problemas de usabilidade que devem ser tratados para que o sistema apresente uma usabilidade considerada minimamente satisfatória.

Figura 2.6: Proposta do questionário SUS

	1 – Concordo Completamente				5 -Discordo Completamente
1. Eu gostaria de usar o sistema frequentemente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3	4	5
2. Eu achei o sistema Denecessariamente complexo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3	4	5
3. Eu acho o sistema é fácil de usar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3	4	5
4. Eu acho que eu precisaria de suporte Técnico para conseguir usar o sistema	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3	4	5
5. Eu achei que várias funcionalidades Do sistema foram bem integradas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3	4	5
6. Eu acho que o sistema contém muitas Inconsistências	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3	4	5
7. Eu acredito que a maioria das pessoas Aprenderiam a usar o sistema rapidamente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3	4	5
8. Eu achei o sistema muito difícil de usar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3	4	5
9. Eu me senti muito confiante ao usar O sistema	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3	4	5
10. Eu precisei aprender muitas coisas Antes de ser capaz utilizar o sistema completamente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3	4	5

Fonte: Material prof. José Eustáquio Rangel de Queiroz - Departamento de Sistemas e Computação da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) [13]

2.2 Trabalhos relacionados

Atividades de terapia e reabilitação se caracterizam pela execução de movimentos repetitivos durante ciclos que permitem ao terapeuta avaliar o desenvolvimento e a evolução do paciente. Essa atividade é um processo de tratamento médico vital, pois ajuda a restabelecer uma vida normal aos pacientes que sofreram alguma lesão. No entanto, há alguns problemas nesse processo, como as dificuldades, em muitos casos, de locomoção para os centros de tratamento dos traumas. Além disso, quando possível esse acesso, há também a dificuldade na disponibilidade de especialistas que atendam a demanda. Por esses motivos, o uso de videogames e realidade virtual em tratamentos de fisioterapia, chamado de tele terapia, é uma prática cada vez mais comum em clínicas e centros de reabilitação[8].

Esse conceito foi criado para melhorar a qualidade dos serviços de fisioterapia. Com objetivo de permitir que pacientes e médicos especialistas realizem o tratamento a partir das redes de telecomunicações, como se estivessem em um mesmo lugar[24]. A literatura relata resultados positivos relacionados à esse tipo de tratamento em diversas áreas, como na reabilitação após um acidente vascular encefálico [21] e em pacientes com Parkinson [4].

Além disso, as tecnologias de visão computacional, ainda que no mesmo ambiente dos profissionais, podem ser úteis no processo de acompanhamento do paciente, pois as avaliações dos exercícios fisioterapêuticos, quando baseadas apenas na visão individual do profissional, dificulta a definição de uma métrica avaliativa, trazendo grandes chances de divergência no tratamento, principalmente em clínicas onde existe grande rotatividade de profissionais [24].

Não foram encontrados estudos de ferramentas específicas para o tratamento da LPB, mas existem vários sistemas de fisioterapia que se assemelham com a nossa proposta. Neste tópico, serão descritos dois deles, o *Jintronix* e o sistema proposto por *Trennepohl*[37], que mais a diante serão comparados com a solução proposta neste trabalho:

O *Jintronix* [2] combina tratamentos baseados em evidências, jogos virtuais e sensores de rastreamento de movimentos para oferecer uma ferramenta divertida e efetiva para fisioterapia e reabilitação. É um sistema multiplataforma, disponível para *Windows*, *iOS* e *Android*, que permite ao profissional atribuir novos exercícios e monitorar o progresso a qualquer momento e de qualquer lugar. Ao utilizar o sistema em casa, os pacientes recebem mensagens de retorno instantâneas sobre seu desempenho, e os profissionais recebem os dados necessários para melhorar o plano terapêutico.

O sistema proposto por *Trennepohl* [37] traz uma proposta muito parecida com a deste trabalho: permite o cadastro de profissionais de saúde, pacientes e movimentos. E, por meio de cálculo de pontos, o programa define o nível de acerto das execuções e fornece uma nota de acordo com o desempenho do paciente.

Tabela 2.1: Comparação entre os sistemas

	Sistema Proposto	Jintronix	Trennepohl [37]
Análise do Movimento em tempo real	x	x	
Geração de relatórios	x	x	
acesso remoto		x	x
Multiplataforma		x	
Cadastro de Movimentos	x	x	x
Plataforma gamificada		x	x
Controle de agendamento			x
Análise LPB	x		
Sistema gratuito	x		x

Na Tabela 2.1 é apresentada uma comparação entre as soluções relacionadas e a solução proposta neste trabalho. Nela podemos ver os dois sistemas disponíveis no mercado e o proposto neste trabalho. Para cada funcionalidade é assinalado se a aplicação proposta a contempla ou não. Percebemos que a aplicação proposta, apesar de não possuir todas funcionalidades que encontramos nos demais sistemas - como o acesso remoto, a disponibilidade em multiplataforma e o controle de agendamento - apresenta como diferencial a gratuidade do sistema e a geração de relatórios voltados para pacientes com lesão plexo, o que é de extrema importância a identificação do(s) nervos que apresentam maior influência em determinado movimento.

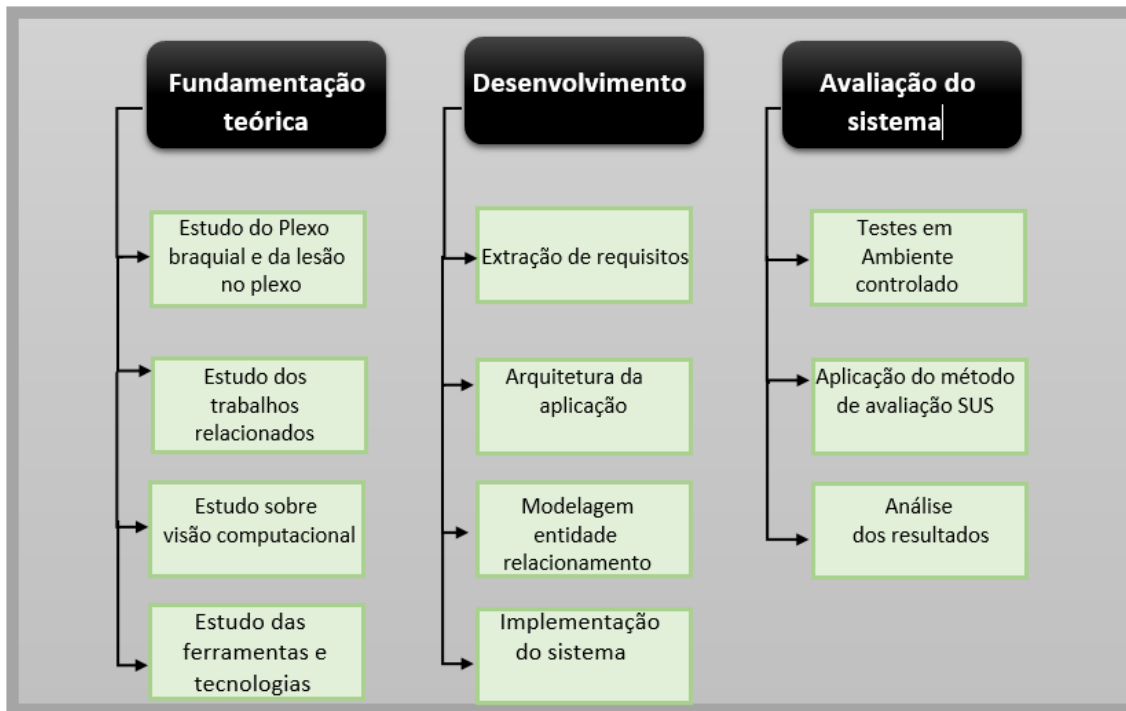
Capítulo 3

Desenvolvimento

As seções deste capítulo descrevem todas as etapas do desenvolvimento da aplicação às apresentando da seguinte forma: Análise de Requisitos - Seção 3.1, Arquitetura do sistema - Seção 3.2, Modelagem entidade relacionamento - Seção 3.3 Implementação do sistema - Seção 3.4.

A Figura 3.1, apresenta o método composto por atividades para a realização deste trabalho. Primeiramente, foi realizada a revisão de literatura (Capítulo 2), composta, conforme previamente mencionado, pelas definições de conceitos primordiais para o entendimento deste trabalho e descrição de trabalhos correlatos. Posteriormente, a fase de desenvolvimento da solução proposta é composta pela extração de requisitos, modelagem da arquitetura da aplicação e do banco de dados e implementação da aplicação. Por fim, para avaliar a solução proposta, foram realizados testes em ambiente controlado, avaliação do sistema mediante aplicação do questionário SUS (Seção 2.1.2.3) e análise dos resultados.

Figura 3.1: Cronograma de atividades



3.1 Extração de requisitos

Para definir o escopo do sistema, foi realizado a análise de requisitos dividindo-os em dois subgrupos, requisitos funcionais (RF) e requisitos não funcionais (RNF). Os Requisitos funcionais, definem os recursos que o sistema deve fornecer para atender às necessidades do usuário. Já os requisitos não-funcionais dizem respeito ao desempenho, segurança, usabilidade, confiabilidade e disponibilidade do sistema [34]. O levantamento de requisitos do sistema foi realizado por meio de histórias do usuário, que consistem em uma ou mais sentenças escritas na linguagem, de negócio ou cotidiana do usuário final, e na captura daquilo que é necessário fazer como parte da sua função de trabalho. [11].

Alguns dos requisitos do sistema descritos nas Tabela 3.1 e Tabela 3.2 foram definidos e repassados pelo NeuroMat, a partir deles, e da contextualização do problema, foram extraídos alguns requisitos complementares, definidos por meio de estudos de alguns *softwares* de fisioterapia e de conceitos de IHC, como usabilidade, segurança, facilidade de aprendizado, tempo de resposta e ergonomia. Como explicitado na Tabela 3.1, são doze os requisitos funcionais, que se apresentam em três níveis de usuário: o gestor, o profissional de saúde e o paciente. Cada um dos personagens acima apresenta suas histórias de usuários.

Quanto aos profissionais de saúde, identificamos necessidades em fazer cadastros dos pacientes e dos movimentos a serem executados por cada um, além de gerar diferentes tipos relatórios que contenham análises do quadro clínico do paciente e do desempenho de cada um

dos movimentos. Em específico para os gestores, além das necessidades já listadas, apresenta-se também a demanda de registros de outros profissionais da área. Se tratando das necessidades dos pacientes, é identificado o acesso à lista com as atividades propostas para execução, aos vídeos com instruções para realização de cada uma delas e, finalmente, aos relatórios com o desenvolvimento do quadro clínico.

Os requisitos não funcionais, como mostrados na Tabela 3.2, também apresentam histórias de usuário dos 3 personagens - paciente, gestor e profissional de saúde-. Podemos apontar nesses requisitos, a importância da usabilidade, a necessidade da implementação de um sistema que trabalhe sem conexão com a rede, a segurança dos dados inseridos, a disponibilidade dos dados e o tempo de resposta.

Tabela 3.1: Requisitos funcionais

ID	Requisitos funcionais
RF01	Como gestor eu quero cadastrar os profissionais de Saúde dividindo-os em categorias.
RF02	Como gestor eu quero ter acesso a métricas que me permitam acompanhar a evolução dos pacientes
RF03	como Profissional de saúde quero cadastrar meus pacientes.
RF04	Como profissional de saúde quero cadastrar movimentos.
RF05	Como profissional de saúde quero consultar os movimentos cadastrados por todos os profissionais.
RF06	Como profissional de saúde quero definir uma sequência de movimentos a ser trabalhada pelo meu paciente.
RF07	Como profissional de saúde quero avaliar o desempenho do meu paciente.
RF08	Como profissional de saúde quero ter acesso ao histórico de movimentos do meu paciente
RF09	Como profissional de saúde quero ter acesso ao desempenho do meu paciente para cada movimento realizado e o progresso de acordo com as repetições.
RF10	Como paciente quero ter acesso a minha lista de movimentos.
RF11	Como paciente quero ver a comparação dos meu movimentos em relação ao movimento proposto pelo profissional de saúde.
RF12	Como paciente quero saber da minha evolução na execução de cada movimento.

Tabela 3.2: Requisitos não funcionais

ID	Requisitos não funcionais
RNF01	Como profissional de saúde preciso de todos os dados do paciente sempre disponível para consulta.
RNF02	Como Paciente não quero que os movimentos demorem mais do que 3s.
RNF03	Como gestor não posso depender de internet para implantação do sistema.

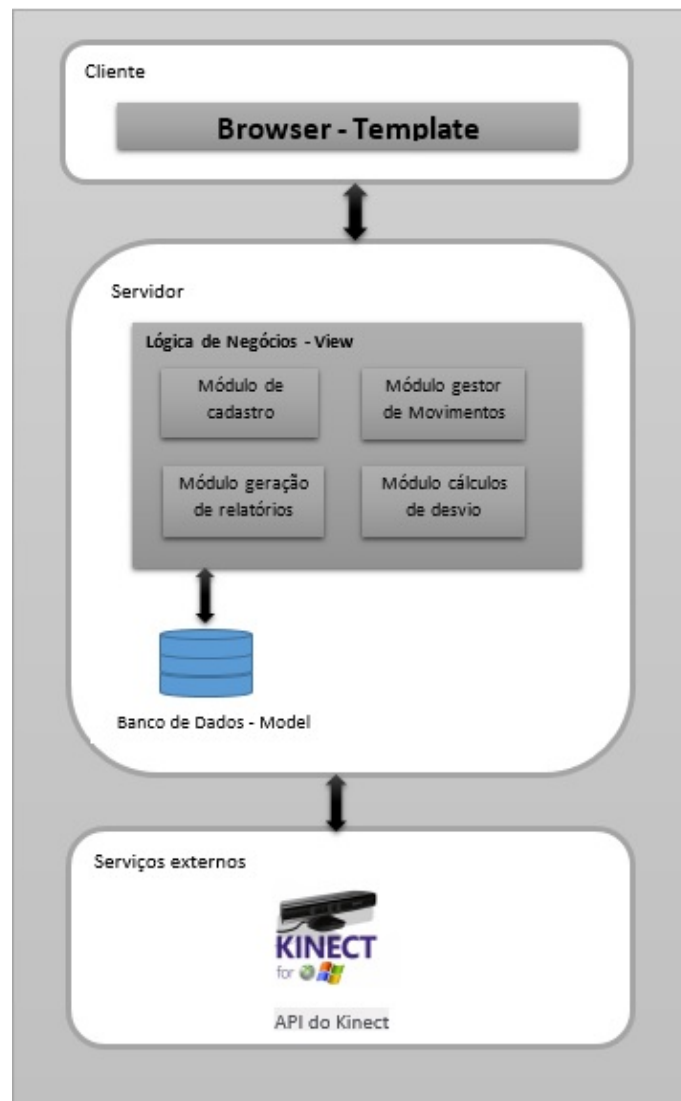
3.2 Arquitetura da aplicação

A arquitetura da aplicação proposta é apresentada na Figura 3.2, sendo composta pelas camadas do cliente, servidor, banco de dados e serviços externos. A Figura 3.2 mostra o relacionamento entre as diferentes partes do sistema como um todo. A arquitetura interna do sistema foi planejada de forma a atender alguns princípios importantes da engenharia de software, tais como alta coesão e baixo acoplamento [28]. Para isso, o sistema será dividido em módulos. Cada módulo é responsável, dentro de um contexto, por implementar e testar todas as classes e seus respectivos métodos, bem como toda a lógica da camada *view* definida pelo modelo *model, view and control*(MVC), que consiste em uma tríade de classes frequentemente usadas em sistemas interativos para construção de sistemas de informação [18]. A implementação do padrão MVC mantém o núcleo funcional do sistema independente da interface. Assim, as funcionalidades internas podem permanecer estáveis, mesmo quando a interface necessita ser alterada para se adaptar a novas plataformas e dispositivos de interação.

A funcionalidade de cada módulo é descrita a seguir:

- **Módulo de cadastro:** Gerencia de todas as formas de cadastros realizadas no sistema;
- **Módulo gestor de movimentos:** Coordena todos os movimentos, e a associação entre movimento proposto e realizado;
- **Módulo cálculo de desvios:** Realiza os cálculos e as avaliações do movimento executado;
- **Módulo geração de relatórios:** Gerencia a geração dos relatórios uma vez de posse dos valores calculados no modulo de cálculo de desvios.

Figura 3.2: Arquitetura do sistema



3.3 Modelagem entidade relacionamento

O banco de Dados (BD) foi projetado de forma a atender os requisitos especificados na Seção 3.1. A Figura 3.3 apresenta o Diagrama Entidade Relacionamento (DER), criado utilizando o *software* livre DIA *Diagram Editor* [17], em que os retângulos representam as tabelas; as elipses, os atributos de cada uma delas; os losangos, o relacionamento entre tabelas (sendo que o tipo de relacionamento é definido pelos parâmetros contidos em sua extremidade) e as linhas representam as ligações tabela/atributo e tabela/tabela, onde a linha dupla representa dependência total no relacionamento entre elas [20].

Ainda na Figura 3.3, identificamos quatro tabelas do banco de dados: Para o profissional de saúde temos o nome, registro do conselho regional de medicina (CRM) ou do conselho

federal de fisioterapia e terapia ocupacional (COFFITO), especialidade, telefone e-mail, nome de usuário e senha e se o profissional é gestor do sistema. Sendo que o CPF é a chave primária ou campo principal;

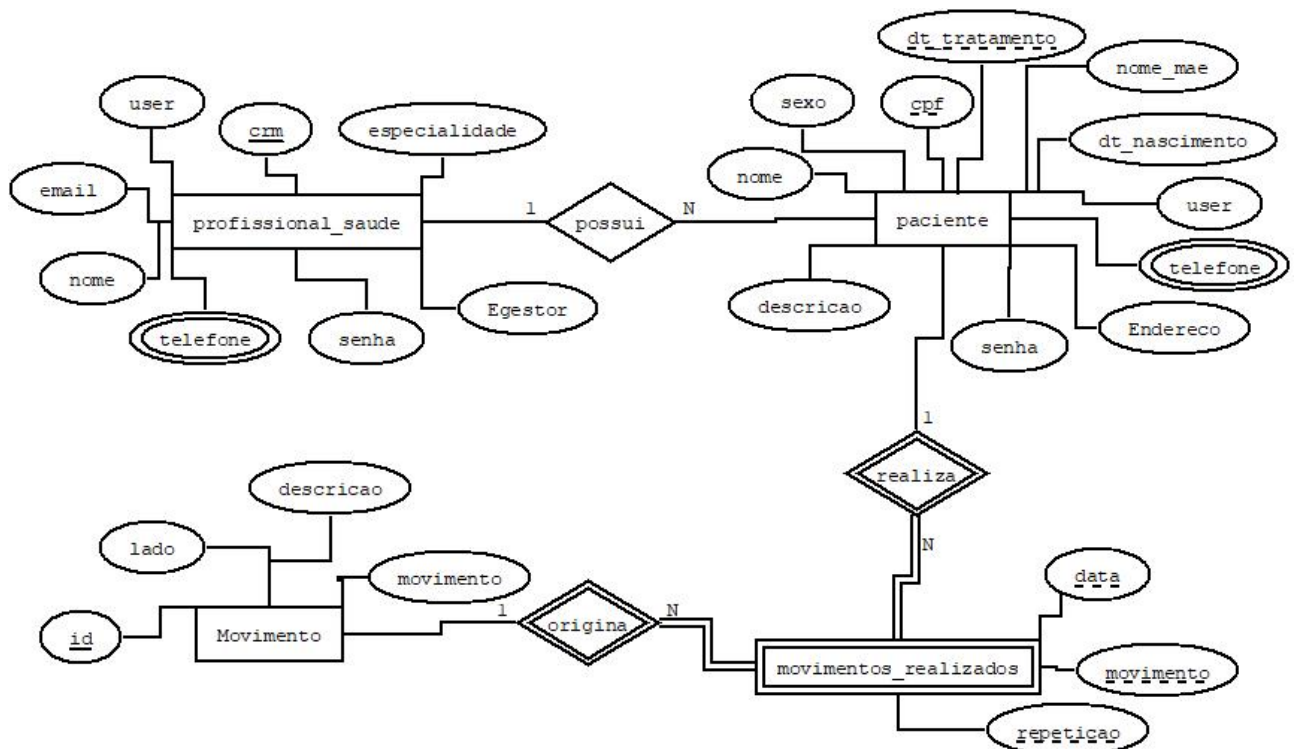
Na tabela Paciente, temos nome, CPF, data de nascimento, nome da mãe, sexo, endereço, telefone, data de início do tratamento e a descrição da lesão, nome de usuário e senha, onde o CPF, juntamente com a data de início do processo, formam a chave primária;

Na tabela Movimentos temos apontamento e descrição do movimento, se ele corresponde ao lado direito ou esquerdo e o identificador, como chave primária;

O movimento realizado é uma entidade fraca (depende de outras subclasses para existir), que contém o movimento, a data de realização e o valor correspondente à sequência de repetição [20]; a junção desses atributos formam a chave primária.

Sobre os relacionamentos, temos que o profissional de saúde possui um ou mais pacientes, e que cada um possui um profissional de saúde cadastrado. O diagrama da Figura 3.3 mostra, também, que o paciente realiza movimentos em uma data e repetidas vezes, fato representado pelos relacionamentos com a entidade fraca Movimentos realizados.

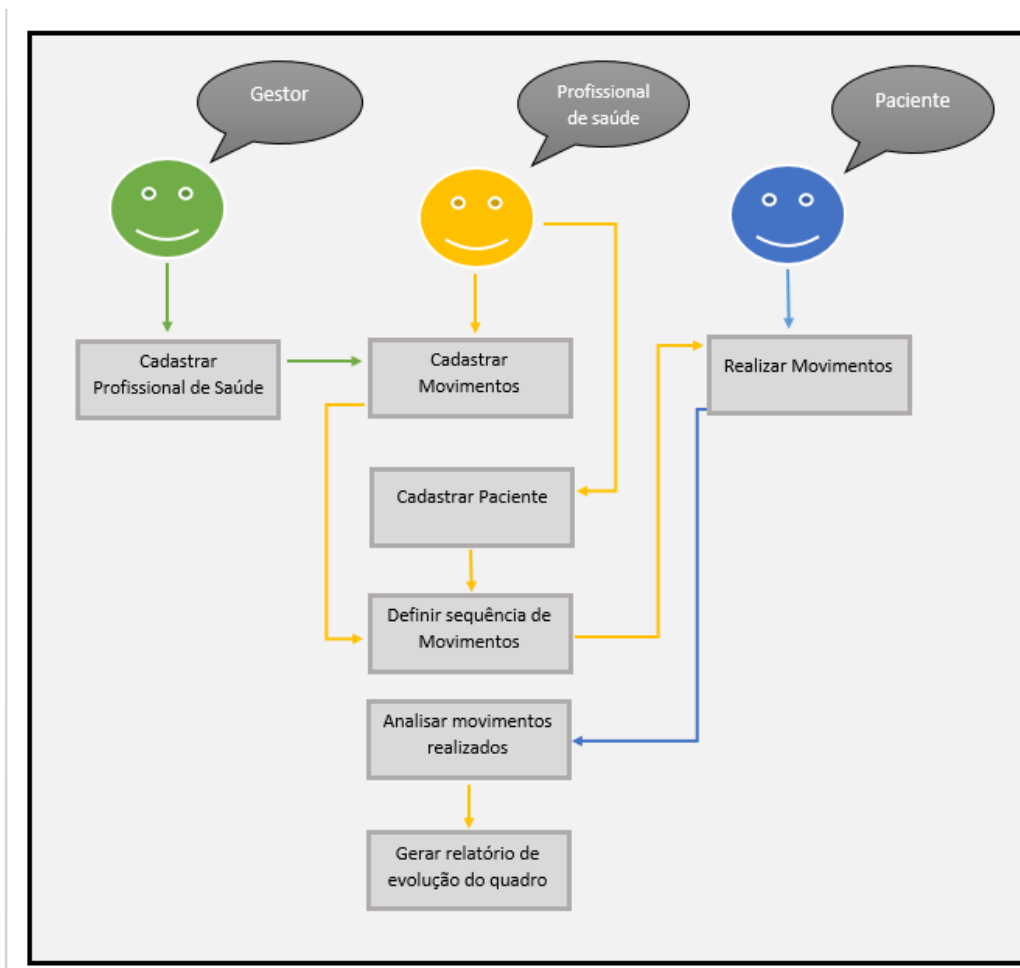
Figura 3.3: Diagrama Entidade Relacionamento



3.4 Implementação do sistema

O sistema proposto neste trabalho foi desenvolvido em C, em conformidade com os requisitos, arquitetura e banco de dados previamente especificados e tecnologias apresentadas. Este protótipo permite a criação de uma base de movimentos pelo profissional de saúde e o cadastro de pacientes com seleção de um plano de exercícios personalizado. À Figura 3.4 apresenta os módulos do sistema, mostrando os personagens e sua relação com cada um deles. O profissional de saúde é responsável pelo cadastro de pacientes e movimentos, por definir a sequência dos exercícios e analisar os relatórios de evolução. O Gestor pode ser também um profissional de saúde mas tem as credenciais para cadastrar novos profissionais. O paciente realiza a sequência de exercícios predefinida pelo profissional responsável.

Figura 3.4: Evolução do desenvolvimento do sistema



Ao abrir o programa, o usuário encontra uma tela de *login* (Figura 3.5). O primeiro passo é o cadastro de profissionais de saúde que são realizados por meio de um formulário (Figura 3.6), onde o gestor apenas insere os dados necessários para cada uma das categorias

no BD (Figura 3.3). Uma vez que o profissional de saúde tenha sido devidamente cadastrado pelo gestor e faça seu *login* no sistema, ele poderá cadastrar pacientes, cadastrar movimentos, visualizar a evolução dos pacientes e montar um treinamento para um paciente.

Figura 3.5: Login no sistema



Figura 3.5: Login no sistema. O formulário apresenta o título "Faça seu Login para iniciar". Abaixo dele, há dois campos de entrada: "Usuario:" e "Senha:". À direita dos campos, há um botão "OK". Na base do formulário, há um link azul que diz "Clique aqui para cadastrar novo profissional".

Figura 3.6: Cadastro de profissional

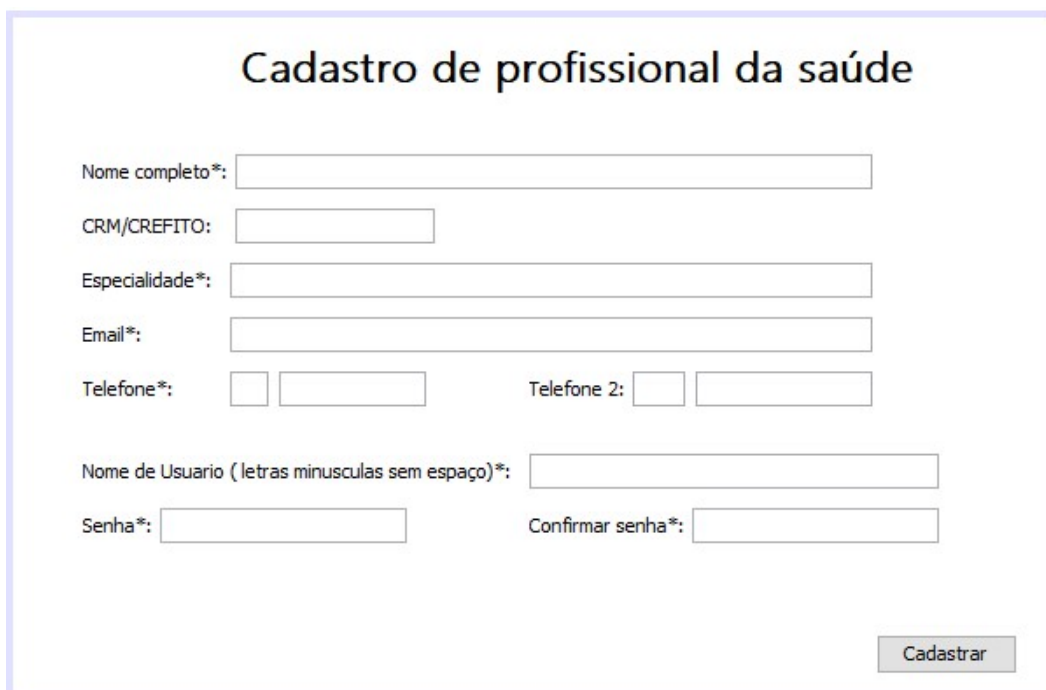


Figura 3.6: Cadastro de profissional da saúde. O formulário apresenta o título "Cadastro de profissional da saúde". Abaixo dele, há vários campos de entrada: "Nome completo*:", "CRM/CREFITO:", "Especialidade*:", "Email*:", "Telefone*:" (com dois campos adjacentes), "Telefone 2:" (com dois campos adjacentes), "Nome de Usuario (letras minusculas sem espaço)*:", "Senha*:" e "Confirmar senha*:". Na base direita do formulário, há um botão "Cadastrar".

O cadastro de paciente funciona de forma similar ao cadastro dos profissionais, como

mostra a Figura 3.7. É necessário informar alguns dados pessoais, além de informações sobre a lesão e o tratamento. O cadastro de paciente somente pode ser realizado por um profissional de saúde já cadastrado no sistema.

Figura 3.7: Cadastro de paciente

A imagem mostra uma interface de usuário para o cadastro de um paciente. No topo, há uma barra de navegação com os seguintes itens: "Cadastro de paciente" (destacado), "Cadastro de movimento", "Criar ficha de exercícios" e "Acompanhamento da evolução". O formulário principal, intitulado "Cadastro de paciente", contém os seguintes campos:

- Nome completo*: Campo de texto.
- Sexo*: Radio buttons para "Feminino" e "Masculino".
- Data de nascimento*: Campos para dia (1), mês (Janeiro) e ano.
- CPF: Campo de texto.
- Nome da mãe: Campo de texto.
- Telefone*: Campos para número e Telefone 2.
- Endereço*: Campo de texto.
- Data de início do tratamento*: Campos para dia (1), mês (Janeiro) e ano (2018).
- Nome de Usuario (letras minúsculas sem espaço)*: Campo de texto.
- Senha*: Campo de texto.
- Confirmar senha*: Campo de texto.

Um botão "Cadastrar" está localizado no canto inferior direito do formulário.

Para o cadastro de movimentos, O profissional de saúde deve, após o login, inserir o nome e a descrição do movimento e executá-lo com os dois lados do corpo deixando evidenciado se o movimento foi realizado com o braço esquerdo, direito ou com ambos como apresentado na Figura 3.8.

Figura 3.8: Cadastro de movimentos

The screenshot shows a web application interface with a navigation bar at the top containing four tabs: 'Cadastro de paciente', 'Cadastro de movimento', 'Criar ficha de exercicios', and 'Acompanhamento da evolução'. The 'Cadastro de movimento' tab is active. The main content area is titled 'Cadastro de movimentos' and contains the following elements:

- A text input field labeled 'Nome do Movimento:'.
- A larger text area labeled 'Descrição do movimento:'.
- A radio button group labeled 'Lado do movimento:' with three options: 'Direito', 'Esquerdo', and 'Ambos'.
- A video player showing a grayscale image of a person's upper body with blue skeletal lines overlaid on the arms and torso.
- Three control buttons: 'Play', 'Stop', and 'Delete'.
- A 'Cadastrar' button located at the bottom right of the form area.

Uma vez que usuários e movimentos já estejam cadastrados, o profissional de saúde responsável pelo paciente deve criar uma rotina de repetição contendo um ou mais movimentos e informar o número de repetições necessários para cada um deles. Essa funcionalidade é chamada Ficha do paciente, conforme ilustra a Figura 3.10.

Figura 3.9: Criação da ficha para execução

Cadastro de paciente | Cadastro de movimento | Criar ficha de exercícios | Acompanhamento da evolução

Criação de ficha

Paciente:

Movimento:

Número de repetições:

Adicionar

Movimentos Seleccionados:

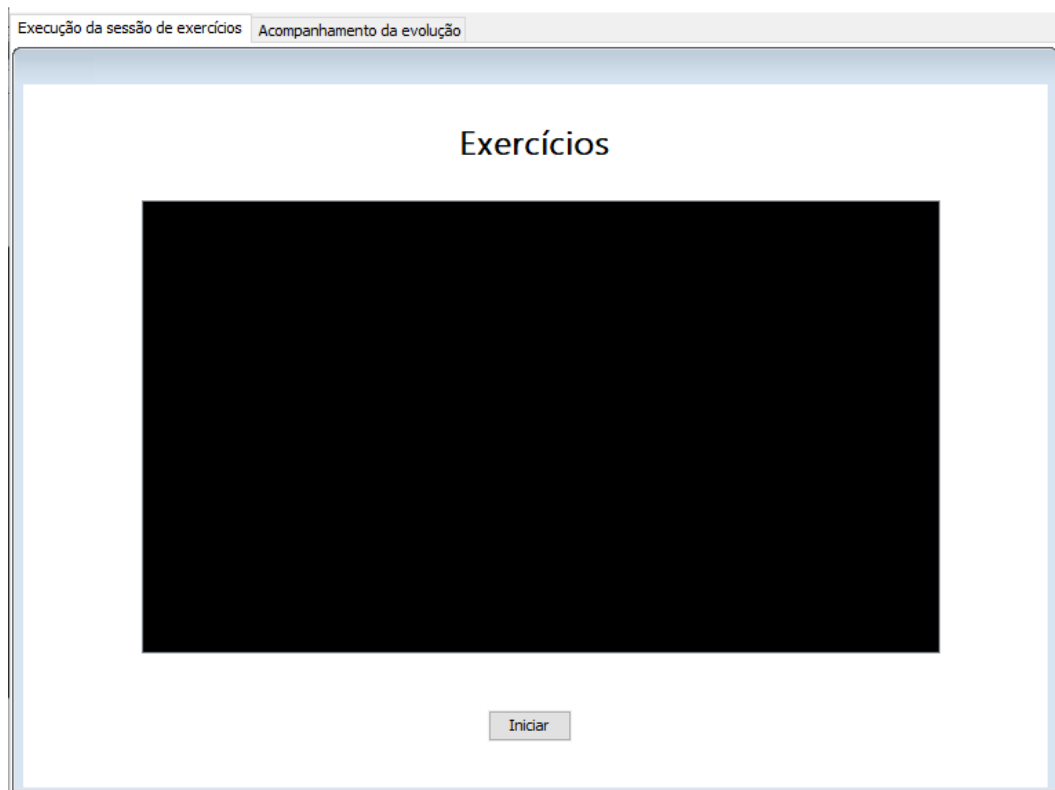
Rotação interna - Dir ---- 10x
Rotação externa- Dir ---- 10x
Abdução - Dir ----- 2x10
Extensão - Dir ---- 15x

Excluir

Concluir

Quando o paciente realiza o *login*, recebe uma mensagem informando que existe uma nova sequência de exercícios a ser executada por ele. Ao autorizar o início da sessão, o Kinect é ativado e o sistema informa qual é o primeiro movimento, apresentando um vídeo e o número de repetições. O programa espera a detecção da posição inicial do movimento pelo paciente. Nesse momento, ele começa a capturar um vídeo até que haja a detecção da posição final ou perpassar duas vezes o tempo de execução do primeiro gesto. Caso ele não detecte a posição inicial em 10 segundos, um alerta aparece na tela informando a não detecção e o modelo volta a ser apresentado até que o usuário dê o aval para o reinício da captura do movimento. Assim que uma repetição for detectada com sucesso é incrementado o contador para o início da próxima repetição ou no caso em que se atingiu a quantidade de repetições solicitadas, passa-se automaticamente para o próximo movimento da série.

Figura 3.10: Execução da sessão



Tanto o Profissional de saúde como o paciente podem visualizar o desempenho por sessões, com a taxa de acerto de cada exercício. O profissional tem acesso a uma lista de todos os seus pacientes, enquanto o paciente possui acesso a informações apenas sobre o seu desempenho. Ambos selecionam a data da sessão e é apresentado, como mostra a Figura 3.11 o acerto de cada uma das repetições e a média para cada exercício.

Figura 3.11: Evolução do paciente

The screenshot shows a web application interface with a navigation bar at the top containing the following tabs: 'Cadastro de paciente', 'Cadastro de movimento', 'Criar ficha de exercicios', and 'Acompanhamento da evolução'. The main content area is titled 'Acompanhamento de Evolução' and contains the following elements:

- A dropdown menu for 'Nome do paciente:' with the value 'Cintia Freitas de Moura'.
- A dropdown menu for 'Data:' with the value '20/11/2018'.
- A section titled 'Porcetagem de semelhança:' containing a scrollable list of movement similarity percentages:

Movimento	Porcetagem de semelhança
01 Rotação interna - Dir	87%
02 Rotação interna - Dir	93%
03 Rotação interna - Dir	85%
04 Rotação interna - Dir	96 %
05 Rotação interna - Dir	78 %
06 Rotação interna - Dir	82%
07 Rotação interna - Dir	91%
08 Rotação interna - Dir	98%
- A section titled 'Média por movimento:' containing a list of average similarity percentages:

Movimento	Média por movimento
Rotação interna - Dir	86%
Rotação externa- Dir	92%
Abdução - Dir	81%
Extensão - Dir	97%

3.4.1 Métodos de comparação entre os movimentos

Foram estudadas duas soluções para comparar o movimento do modelo, gerado pelo profissional de saúde, e do paciente. Na primeira solução, foi utilizado uma ferramenta existente na biblioteca do Kinect onde o sistema compara o tronco do modelo ao da solução, tomando por referência o pescoço e ombro [22]. A partir disso são calculadas as distâncias em relação ao tronco do cotovelo e pulso e a angulação das articulações. Esses dados são utilizados para validar ou não a sequência de repetição.

Neste processo, o paciente deverá realizar o movimento para mensurar o ângulo correspondente ao exame de flexão e extensão do cotovelo, uma vez que é necessário obter as coordenadas espaciais x e y das juntas estudadas dando origem a três pontos cartesianos: o $P_{ombro}(x, y)$ com as coordenadas do ombro, o $P_{cotovelo}(x, y)$ com as coordenadas do cotovelo e o $P_{pulso}(x, y)$ com as coordenadas do pulso. A união dos pontos $(P_{ombro}, P_{cotovelo})$ e $(P_{cotovelo}, P_{pulso})$ geram duas retas que unidas representaram o membro em questão. A partir daí faz-se a análise individual de cada parte do movimento realizando comparação entre modelo e movimento executado levando em consideração o ângulo entre as retas, e a posição de um ponto em relação ao outro.

Outra Implementação foi da solução proposta por Neto [35]. Realizando o cálculo da largura do tronco, o comprimento do braço e altura distorcendo a imagem, consequentemente os pontos, para um padrão médio dos norte-americanos definido pelo autor. Uma vez que modelo e usuário tenham as medidas corporais próximas, o cálculo do erro de movimento é facilitado, pois pode-se desconsiderar os erros provenientes da diferença estrutural de cada indivíduo.

Um problema dessa abordagem é o difícil tratamento de pontos intermediários como o cotovelo, para isso inicialmente pega-se a metade do comprimento do braço, e em caso de movimentos de flexão esse ponto é alterado por um algoritmo de busca gulosa que procura o vértice comum as duas retas pertencentes ao braço e antebraço. Outro fato problemático é que a estatura média do Brasileiro segundo [23] era de 1,66 em 2017 levando em consideração a proporção de Homens e mulheres no país maiores de 18 anos, já nos Estados Unidos da América nas mesmas condições é de 1,70. O que pode trazer problemas no momento da distorção, uma vez que apenas uma pequena parte da população se adequa a esse padrão de estrutura corporal trazido pelo artigo, aumentando o índice de distorções fazendo com que o erro possa ser maximizado.

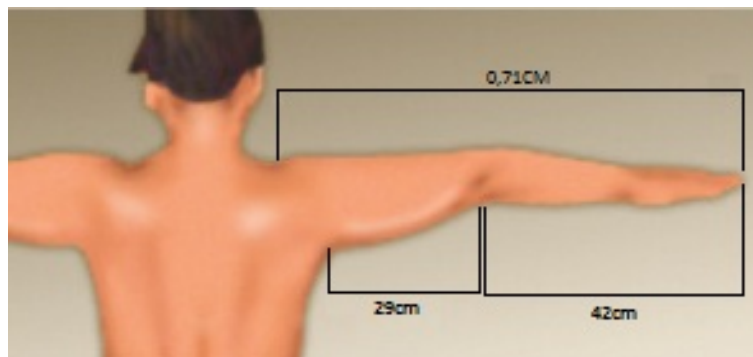
Capítulo 4

Estudo de caso

Os resultados deste trabalho são apresentados divididos nas duas abordagens de implementação, e ao final deste capítulo é apresentada as vantagens e desvantagens de cada uma delas no tratamento da Lesão no Plexo Braquial.

Para todos os testes o modelo foi criado por uma mulher de 1,64m de altura, 0,71m comprimento de membro superior ¹, 0,42m de antebraço e 0,29m de braço, como mostra a Figura 4.1.

Figura 4.1: Medidas do membro superior utilizados no Modelo



No papel de paciente foram selecionadas 5 pessoas com diferentes tipos físicos as características de cada um deles está descrita na Tabela 4.1.

Foram cadastrados 8 movimentos no banco de dados sendo 4 tipos diferentes, realizados em cada um dos dois braços. os movimentos estão representados na Figura 4.2 onde a seta indica o sentido de cada um deles. A base movimentos para teste foi escolhida em função do estudo feito por Flores at.all [16]. Portanto são movimentos altamente influentes na recuperação da lesão do plexo quando atinge principalmente o tronco superior e médio Descritos no Capítulo 2 deste documento.

¹ponta do dedo médio até a articulação do ombro com o pescoço

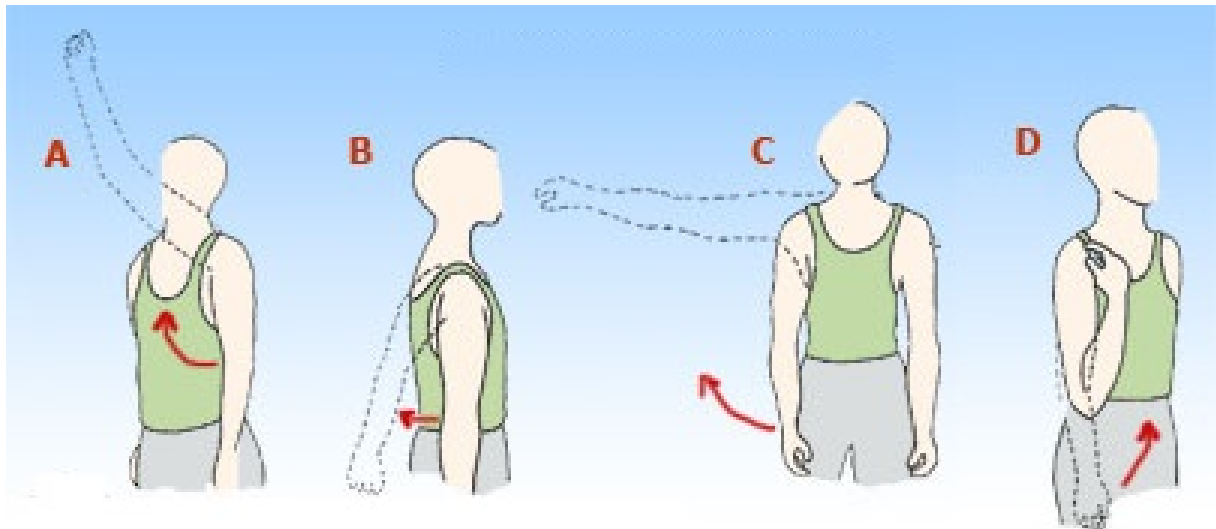
Os testes foram conduzidos da seguinte maneira: cada paciente executou cada um dos movimentos 10 vezes, sendo 5 repetições para o método I e 5 para o método II. As repetições foram executadas de forma intercalada, de forma que nas ímpares utilizou-se o método I e, nas pares, o método II.

O erro médio foi calculado levando em consideração apenas o paciente e a articulação em função do tempo. O tipo de movimento foi desconsiderado para a análise sendo que em alguns deles as medições de algumas articulações foram desprezadas por não ter relevância, como apresentado na Tabela 4.2.

Tabela 4.1: Características físicas dos pacientes

Paciente	Altura	Comprimento membro superior	Braço	Antebraço
PA01	1,78m	0,93m	0,54m	0,39m
PA02	1,70m	0,87m	0,50m	0,37m
PA03	1,54m	0,63m	0,35m	0,28m
PA04	1,62m	0,70m	0,42m	0,28m
PA05	1,83m	0,95m	0,58m	0,37m

Figura 4.2: Movimentos estudados



4.1 Abordagem da análise dos ângulos (Método I)

Os primeiros testes levaram em consideração apenas a angulação entre as partes estudadas e sua porcentagem de erro foi calculada pelo somatório do arco seno do módulo da diferença

Tabela 4.2: Erro por articulação, método com angulo

Movimento	Ombro	Cotovelo	Pulso
A	x	x	x
B	x	x	
C	x	x	x
D		x	x

entre o ângulos do modelo e paciente em função do tempo em segundos

$$E_p(t) = \sum_{i=1}^4 \arcsin(\sqrt{\theta(t)^2 - \alpha(t)^2}) * 100 \quad (4.1)$$

Os momentos foram capturados em intervalos de 0,5 segundos e para fins de comparação a Tabela 4.3 apresenta a média de erro para cada paciente. A fim de identificar da melhor forma qual a maior dificuldade do paciente, existe também a possibilidade da visualização do erro de casa articulação como ilustra a Figura 4.4.

Tabela 4.3: Erro geral, método com angulo

Paciente	Erro(%)
PA01	10,3%
PA02	17,5%
PA03	8,3%
PA04	3,6%
PA05	12,9%

Tabela 4.4: Erro por articulação, método com angulo

Paciente	ombro	cotovelo	pulso
PA01	11,3%	7%	12,5%
PA02	21,4%	20,9%	10,1%
PA03	2,4%	10,7%	12%
PA04	5,3%	2,9%	2,7%
PA05	21,2%	13,6%	4,1%

4.2 Abordagem da padronização física (Método II)

A segunda solução estudada [35] realiza o cálculo da largura do tronco, o comprimento do braço e altura distorcendo a imagem, conseqüentemente os pontos, para um padrão médio dos norte-americanos.

O problema dessa abordagem é o tratamento do cotovelo, que apresentou uma piora em relação a maioria dos pacientes se comparado com a solução anterior, mas mesmo assim apresentou uma pequena melhora na média global dos resultados como mostram as Tabelas 4.5 e 4.6.

Assim, como nos testes anteriores, os momentos foram capturados em intervalos de 0,5 segundos.

Tabela 4.5: Erro geral, método com angulo

Paciente	Erro(%)
PA01	7,4%
PA02	13,3%
PA03	7,5%
PA04	4,5%
PA05	10,6%

Tabela 4.6: Erro por articulação, método com angulo

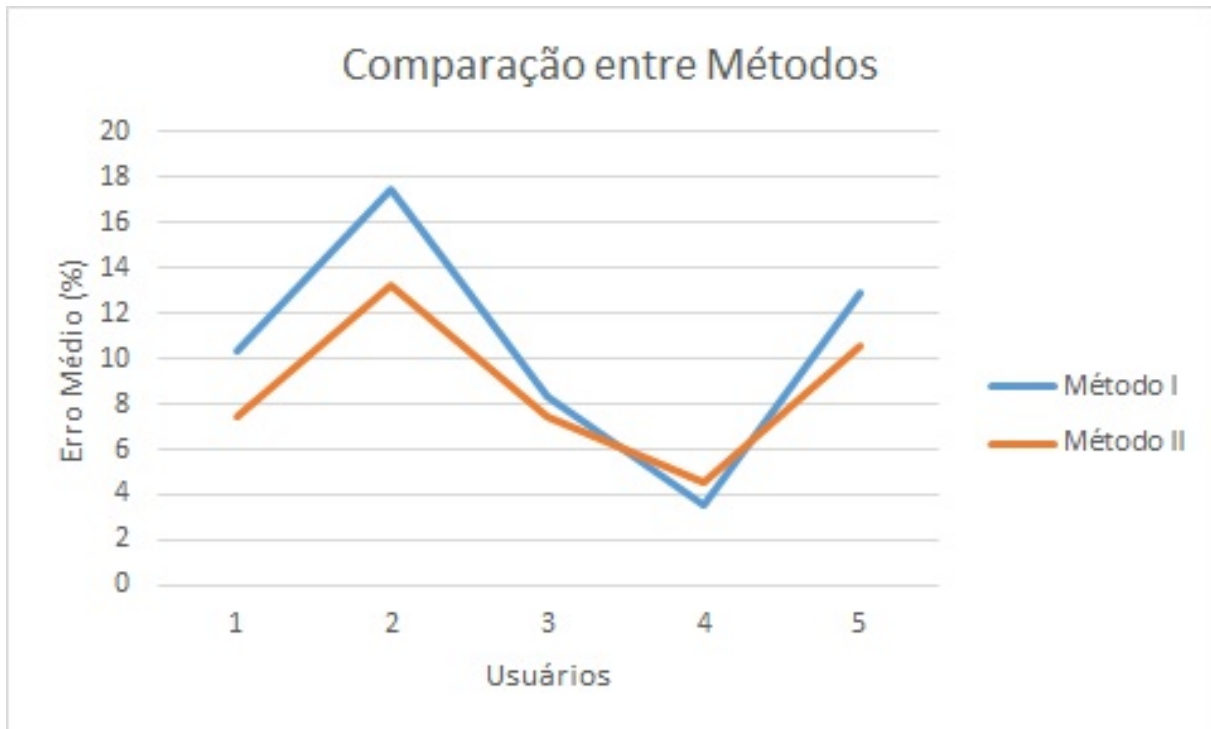
Paciente	Ombro	Cotovelo	Pulso
PA01	4,2%	10,7%	7,3%
PA02	8,1%	22,1%	9,6%
PA03	3,4%	11,9%	6,6%
PA04	4,7%	6,8%	1,9%
PA05	11,6%	16,3%	3,7%

4.3 Comparação entre métodos

Na Figura 4.3, pode-se perceber que os métodos tiveram um comportamento muito parecido para cada um dos usuários que testaram o sistema. Apesar da pouca diferença, o método II (Subseção 4.2) apresentou um resultado superior ao método I (Subseção 4.1) com exceção do paciente 4 devido a semelhança da proporção corporal com o modelo (Tabela 4.1). Dessa forma percebe-se que para usuários genéricos a segunda abordagem é a que apresenta menores

erros. Uma vez que os pacientes nesse teste não apresentam LPB ou quaisquer outras lesões nos membros superiores, quanto menor o erro melhor a solução, visto que a tendência é que estes não tenham dificuldade na execução dos exercícios.

Figura 4.3: Gráfico: Comparativo dos métodos

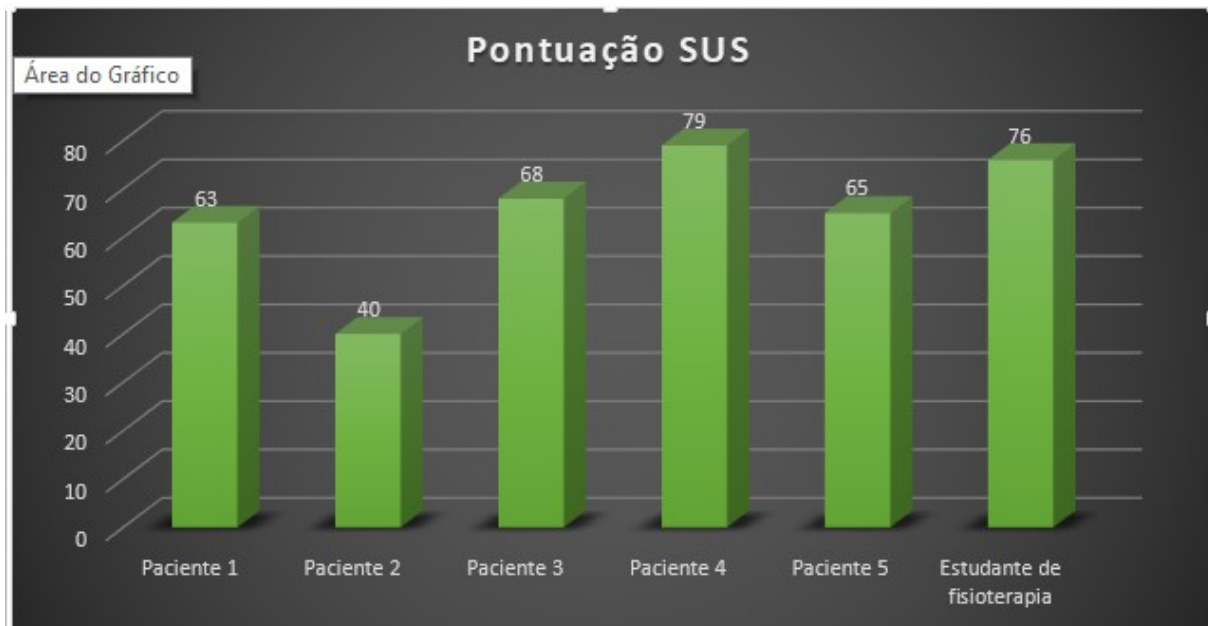


4.4 Avaliação de usabilidade

A Avaliação de usabilidade foi realizada pelo método *System Usability Score* (Sistema de Escala de Usabilidade, em tradução livre, SUS) [9]. O questionário foi aplicado na integra para os 5 usuários que realizaram o teste, entre eles homens e mulheres de 19 a 57 residentes na cidade de Ouro Preto, Minas Gerais, com grau de escolaridade diversificados e uma estudante de fisioterapia pela faculdade Alis - Itabirito. A Tabela 4.4 apresenta o gráfico com a pontuação final de cada usuário.

Em depoimento a estudante de fisioterapia Ana Carla Gonçalves pontuou que conhece algumas soluções para o auxílio fisioterapêutico mas desconhecia sistemas que tratem de uma patologia específica. Elogiou a proposta abordada e a escolha da LBP pois segundo ela: "As ocorrências da lesão no plexo braquial são cada dia mais frequentes e um programa para o acompanhamento da específico para a lesão pode reduzir o tempo de tratamento e acelerar a evolução do paciente." A estudante afirma que a aplicação hoje já ajudaria no tratamento,

Figura 4.4: Gráfico: Avaliação do sistema



mas sentiu falta de informações mais detalhadas a cerca do movimento como o cálculo do erro por articulação e não apenas por movimentos e a possibilidade de ver a execução em alta resolução pois até mesmo a expressão facial do paciente contém informações importantes sobre possíveis dores e incômodos , uma vez que o sistema apresenta apenas o contorno dos movimentos. Outra sugestão foi um campo para que o profissional de saúde possa relacionar diretamente a etapa do movimento com as vértebras e os músculos trabalhados, visto que essa informação é de suma importância em um sistema direcionado a lesão.

A média de pontos para um sistema ser considerado bom segundo Brooke [9] é de 68, mas a média alcançada nos testes foi de 65,2 pontos. Fato esse que mostra o quanto a usabilidade do sistema deve ser melhorada para atingir um patamar aceitável. As questões que mais pesaram negativamente nesse estudo foram as de facilidade de uso e a integração entre as funcionalidades.

Mesmo com os números negativos pode-se extrair pontos positivos no teste como o desejo em utilização do sistema, a relevância e a consistência do mesmo. Detalhes que apontam para a viabilidade do projeto.

Capítulo 5

Conclusão e trabalhos futuros

Neste trabalho foi proposto e implementado um sistema para o auxílio do tratamento de pessoas com lesão no plexo braquial, por meio de intervenção fisioterapêutica. A solução faz uso do Kinect para capturar movimentos dos profissionais de saúde e seus pacientes, de forma realizar uma comparação entre eles. Durante o planejamento do trabalho, foram identificados varias soluções na área fisioterapêutica, mas nenhuma com aplicação exclusiva para a lesão no plexo, o que justifica a criação da solução proposta.

Para um desenvolvimento satisfatório da aplicação, vários conceitos importantes do curso de graduação em Ciência da Computação foram utilizados, tais como, visão computacional, processamento de imagens, banco de dados, interação Humano-computador, engenharia de software e orientação objeto. Por se tratar de um trabalho prático que será aplicado ao mundo real, fez-se necessário também o estudo de tecnologias disponíveis no mercado, como o próprio Kinect.

Como trabalho futuro é proposto:

- Aprimoramento da interface gráfica
- Melhoria na exibição da análise dos dados entregando um gráfico de evolução geral e/ou por exercícios.
- Realização de testes em ambiente real;

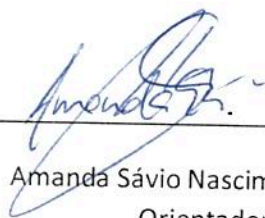
Referências Bibliográficas

- [1] Fundação de amparo à pesquisa do estado de são paulo, julho 2016.
- [2] Kinect rehabilitation software - jintronix, junho 2016.
- [3] Universidade de são paulo, julho 2016.
- [4] G Albani, R Pignatti, L Bertella, L Priano, C Semenza, E Molinari, G Riva, and A Mauro. Common daily activities in the virtual environment: a preliminary study in parkinsonian patients. *Neurological Sciences*, 23(2):s49–s50, 2002.
- [5] Matheus Lin Truglio Alvarenga, Diogo S Ortiz Correa, and Fernando Santos Osório. Redes neurais artificiais aplicadas no reconhecimento de gestos usando o kinect. *Anais do Computer on the Beach*, pages 347–356, 2012.
- [6] A Vania Apkarian, M Catherine Bushnell, Rolf-Detlef Treede, and Jon-Kar Zubieta. Human brain mechanisms of pain perception and regulation in health and disease. *European journal of pain*, 9(4):463–463, 2005.
- [7] Vania Gabriella Balista. Sistema de realidade virtual para avaliação e reabilitação de déficit motor. *SBGames. Sao Paulo*, pages 16–20, 2013.
- [8] Bruno Santana Barbosa, Simone Diniz Junqueira e da Silva. *Interação com o humano-Computador*. 2010.
- [9] John Brooke et al. Sus-a quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry*, 189(194):4–7, 1996.
- [10] Gabriel Schade Cardoso. *Microsoft Kinect: Crie aplicações interativas*. Editora Casa do Código, 2014.
- [11] Mike Cohn. *User stories applied: For agile software development*. Addison-Wesley Professional, 2004.
- [12] Jefferson Luiz Braga da Silva, Pedro Guarise da Silva, and Anajara Gazzalle. Lesões do plexo braquial. *Revista da AMRIGS*, 54(3):344–349, 2010.

-
- [13] José Eustáquio Rangel de Queiroz. Sondagem da satisfação subjetiva e mensuração do desempenho do usuário.
- [14] Anastakis DJ., Malessy MJA., Chen R., Davis KD., and Mikulis D. Cortical plasticity following nerve transfer in the upper extremity. *Hand Clin*, 24:425–444, 2008.
- [15] Wilson Faglioni, Mario G. Siqueira, Roberto S. Martins, Carlos Otto Heise, and Luciano Foroni. The epidemiology of adult traumatic brachial plexus lesions in a large metropolis. *Acta Neurochirurgica*, 156(5):1025–1028, 2014.
- [16] Leandro Pretto Flores. Estudo epidemiológico das lesões traumáticas de plexo braquial em adultos. *Arq Neuropsiquiatr*, 64(1):88–94, 2006.
- [17] Inc Free Software Foundation. Dia diagram editor.
- [18] CMDS Freitas, Isabel Harb Manssour, Luciana Porcher Nedel, Julierme Krüger Gavião, Thiago Corrêa Paim, and Anderson Maciel. Framework para construção de pacientes virtuais: uma aplicação em laparoscopia virtual. In *Proc. Symp. on Virtual Reality*, pages 283–294, 2003.
- [19] Antonio Galves. Centro de pesquisa, inovação e difusão em neuromatemática.
- [20] Carlos Alberto Heuser. *Projeto de banco de dados: Volume 4 da Série Livros didáticos informática UFRGS*. Bookman Editora, 2009.
- [21] Michiel JA Jannink, C Victorien Erren-Wolters, Alexander C De Kort, and Herman Van der Kooij. An electric scooter simulation program for training the driving skills of stroke patients with mobility problems: a pilot study. *CyberPsychology & Behavior*, 11(6):751–754, 2008.
- [22] Valdir DS Junior, CB Monteiro, Ricardo Nakamura, Leonardo S Yojo, Luciano V Araújo, and FL Nunes. Mover: Serious game aplicado à reabilitação motora usando sensor de movimento kinect. In *Workshop de Informática Médica*, 2013.
- [23] Gilberto Kac. Tendência secular em estatura: uma revisão da literatura secular height trend: a literature review. *Cad. Saúde Pública*, 15(3):451–461, 1999.
- [24] Panachit Kittipanya-ngam, Xinguo Yu, and How-Lung Eng. Computer vision technologies for monitoring system in tele-physiotherapy. In *Proceedings of the 3rd International Convention on Rehabilitation Engineering & Assistive Technology*, page 15. ACM, 2009.
- [25] Ana Cecília Bacelar Limeira, Guilberto Minguetti, and Ricardo Seixas. Ressonância magnética na avaliação da plexopatia braquial pós-traumática. *Rev. bras. ortop*, 36(3):71–78, 2001.

-
- [26] Alexandre Marcio Marcolino, Rafael Inácio Barbosa, Marisa de Cássia Registro Fonseca, Nilton Mazzer, and Valéria Meirelle Carril Elui. Reabilitação fisioterapêutica na lesão do plexo braquial: relato de caso. *Fisioter. mov*, 21(2):53–60, 2008.
- [27] Maurício Marengoni and Stringhini Stringhini. Tutorial: Introdução à visão computacional usando opencv. *Revista de Informática Teórica e Aplicada*, 16(1):125–160, 2009.
- [28] Robert C Martin. Design principles and design patterns. *Object Mentor*, 1:34, 2000.
- [29] Steven L Moran, Scott P Steinmann, and Alexander Y Shin. Adult brachial plexus injuries: mechanism, patterns of injury, and physical diagnosis. *Hand clinics*, 21(1):13–24, 2005.
- [30] Luiz Antônio Pereira Neves, Hugo Vieira Neto, and Adilson Gonzaga. Avanços em visão computacional. *Omnipax, Curitiba, PR, Brasil*, 2012.
- [31] Marco e Mello Orsini, MP e Maron, Eduardo Guimarães e Botelho, Jhon Peter e Santos, Osvaldo JM VV e Nascimento, et al. Reabilitação motora na plexopatia braquial traumática: relato de caso. *Rev Neurocienc*, 16(2):15–61, 2008.
- [32] Luiz Romário Santana Rios. Visão computacional. *Departamento de Ciência da computação-Universidade Federal da Bahia (UFBA) Salvador, Bahia, Brasil*, 2010.
- [33] RODRIGO GUSTAVO SILVESTRE. Design de tics para apoiar fisioterapeutas em um hospital de doenças mentais crônicas. 2013.
- [34] Ian Sommerville. Software engineering. international computer science series. ed: Addison Wesley, 2004.
- [35] João Manuel RS Tavares, JS Cunha Neto, VHC de Albuquerque, GPF Silva, and NBC Olegario. Gonet-a new movement dynamic evaluation system in real time. 2015.
- [36] Conselho Federal de Fisioterapia E Terapia. Ocupacional-coffito. *Resolução COFFITO-10, de*, 3:5, 1998.
- [37] Miquéias Friedhold Moeller Trennepohl. Desenvolvimento de um protótipo utilizando kinect para auxílio no tratamento de pacientes da fisioterapia. 2016.
- [38] Michel Alain Quintana Truyenque. Uma aplicação de visao computacional que utiliza gestos da mao para interagir com o computador. *Uma Aplicação de Visão Computacional que Utiliza Gestos da Mão para Interagir com o Computador*, 2005.
- [39] Thomas H Tung and Susan E Mackinnon. Nerve transfers: indications, techniques, and outcomes. *The Journal of hand surgery*, 35(2):332–341, 2010.

Certifico que a aluna Cintia Freitas de Moura autora do trabalho de conclusão de curso intitulado "Aplicação para o auxílio do tratamento de pessoas com lesão no plexo braquial, por meio da análise de movimentos do membro afetado", efetuou as correções sugeridas pela banca examinadora e que estou de acordo com a versão final do trabalho.



Amanda Sávio Nascimento e Silva
Orientadora

Ouro Preto, 20 de dezembro de 2018