

PROJETO TCC - BCC	ANO/SEMESTRE:	2020.2
-------------------	---------------	--------

## ANÁLISE DO CICLO DA MARCHA DE MEMBROS INFERIORES PARA A IDENTIFICAÇÃO DE PARKINSON UTILIZANDO REDES NEURAIS RECORRENTES

Carlos Henrique Ponciano da Silva

Prof. Aurélio Faustino Hoppe – Orientador

### 1 INTRODUÇÃO

Gonçalves *et al.* (2007) definem a Doença de Parkinson (DP) como um distúrbio neurológico progressivo sendo caracterizado pela degeneração dos neurônios, e, com isto, causando a diminuição da produção de dopamina (neurotransmissor monoaminérgico) e o surgimento de uma série de sintomas ligados, principalmente, a distúrbios motores. Os autores também afirmam que o diagnóstico ocorre em uma avaliação neurológica sendo analisado pelo menos três de quatro sinais: presença de tremores, rigidez nas pernas, braços e tronco, lentidão e diminuição dos movimentos e instabilidade na postura.

Lima *et al.* (2009) descrevem que a marcha do paciente com DP é representada pelos movimentos reduzidos do quadril, joelho e tornozelo ocorrendo uma falta generalizada da extensão nas três articulações além da diminuição de velocidade, tendo como consequência uma redução no comprimento e na altura dos passos afetando a assimetria da marcha. Neste sentido, a Organização Mundial de Saúde (2014) afirma que 1% da população mundial acima dos 65 anos possui a DP e, com o aumento da idade, os números pioram. Já no Brasil, de acordo com o Ministério da Saúde (2014) estima-se que existem mais de 200 mil casos da doença e mais de 1,5 milhão pessoas que estão acompanhando a dura rotina dos pacientes acometidos pela doença.

Sullivan *et al.* (2010) ressaltam que a avaliação funcional é abrangente e precisa ser realizada através de análises, sendo a análise observacional da marcha a mais comum dentre os profissionais da área. O método envolve uma avaliação sistemática dos padrões de movimento dos seguintes segmentos do corpo em cada ponto no ciclo da marcha: tornozelo, pé, joelho, quadril, pelve e tronco. O observador precisa determinar se um desvio está presente ou não no ciclo da marcha e anotar em um formulário a ocorrência e o momento do desvio. Sullivan *et al.* (2010) ainda afirmam que é preciso treinamento e prática consideráveis para o desenvolvimento das habilidades de observação e olhar crítico necessário para realizar a análise e avaliação observacional da marcha, necessitando de um certo tempo para a sua conclusão.

Khan *et al.* (2013) destacam que existem inúmeros equipamentos ou sistemas que utilizam acelerômetros e sensores vestíveis para efetuar a avaliação e verificar a evolução da doença de Parkinson, sendo compostos por eletrogoniômetros e marcadores nas articulações que podem causar um certo desconforto ao paciente consumindo um tempo para instalação e configuração. No trabalho de Caparelli *et al.* (2017), por exemplo, são utilizados marcadores em pontos-chaves para realizar a identificação do movimento. Além disso, também existem aplicações biomédicas que necessitam de um hardware específico e de alto custo, tais como: câmeras de infravermelho, eletromiógrafo de alta densidade, planímetro digital, entre outros equipamentos.

Diante deste cenário, este trabalho propõe o desenvolvimento de uma aplicação móvel não invasiva para reconhecimento da DP utilizando Redes Neurais Recorrentes (RNR), tendo como intuito auxiliar na detecção e nas avaliações cinéticas funcionais feitas pelos profissionais da área da saúde. Neste processo, serão capturadas imagens a partir de uma câmera de um dispositivo móvel e processadas no modelo recorrente descrito no estudo, modelado numa arquitetura de microsserviços.

#### 1.1 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é criar uma aplicação para dispositivo móvel que seja capaz de identificar a DP analisando o ciclo da marcha humana de membros inferiores.

Os objetivos específicos são:

- identificar e extrair características dos movimentos dos membros inferiores;
- efetuar o reconhecimento da Doença de Parkinson utilizando Redes Neurais Recorrentes;
- disponibilizar um aplicativo móvel para acompanhamento das informações extraídas e processadas;
- avaliar a possibilidade de adoção da aplicação por profissionais na saúde.

### 2 TRABALHOS CORRELATOS

Neste capítulo são apresentados trabalhos com características semelhantes aos principais objetivos do estudo proposto. A seção 2.1 detalha o trabalho de Cho *et al.* (2009) que construíram uma aplicação para classificar

pacientes que possuem a DP por meio de modelos matemáticos. Na seção 2.2 é descrito o trabalho de Caparelli *et al.* (2017) apontando as técnicas para reconstrução da marcha humana por meio de redes neurais. E, por fim, a seção 2.3 apresenta o trabalho de Khan *et al.* (2013) que desenvolveram uma solução não invasiva para detecção da DP em ambientes domésticos.

## 2.1 A VISION-BASED ANALYSIS SYSTEM FOR GAIT RECOGNITION IN PATIENTS WITH PARKINSON'S DISEASE

Cho *et al.* (2009) utilizaram a análise de marcha baseada em imagens para distinguir pacientes com Parkinson em diversas fases da doença, tais como tremor em repouso, rigidez muscular, alterações na postura e no equilíbrio. A partir disso, os autores elaboraram um sistema não invasivo e que não gerasse desconforto ao paciente em sua aplicação.

De acordo com Cho *et al.* (2009) foram utilizadas técnicas de imagem holística para extrair e reduzir o espaço de recursos aplicando a *Principal Component Analysis* (PCA) e a *Linear Discriminant Analysis* (LDA). Inicialmente, os pacientes foram filmados caminhando da esquerda para a direita em um ambiente com fundo escuro e bem iluminado utilizando roupas claras para realçar o contraste com o fundo, exemplificado na Figura 1.

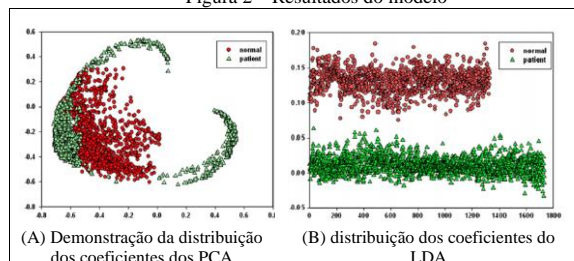
Figura 1 – Cenário de filmagem



Fonte: Cho *et al.* (2009).

Cho *et al.* (2009) subdividiram o modelo proposto em três etapas: pré-processamento, treinamento e reconhecimento. Na etapa de pré-processamento é aplicado uma binarização vertical para extrair os limites superiores e inferiores da silhueta em relação ao ambiente. Em seguida, iniciou-se a etapa de treinamento aplicando as técnicas de PCA e LDA. Por fim, na etapa de reconhecimento, aplicou-se o *Minimum Distance Classifier* (MDC) para verificar o nível de precisão dos resultados obtidos, estabelecendo se o paciente possui ou não a DP. A Figura 2 demonstra o resultado de cada uma das etapas do modelo.

Figura 2 – Resultados do modelo



Fonte: Cho *et al.* (2009).

A partir da Figura 2 pode-se perceber as distribuições das componentes do PCA (Figura 2 item A) e o coeficiente LDA (Figura 2 item B) ilustrando os valores classificados a partir da silhueta de pacientes normais e com DP. Na Figura 2, os pontos em vermelho são os pacientes normais e, em verde, pacientes com DP. Cho *et al.* (2009) descrevem que os coeficientes do PCA de diferentes grupos de vetores de silhueta sofreram várias sobreposições para qualquer direção, tanto para a vertical quanto para a horizontal. Mas, por outro lado, os coeficientes LDA ficaram claramente separados e, ainda complementam que, embora tenham apenas mostrado a dispersão usando dois coeficientes, foram adotados 280 coeficientes durante o treinamento do modelo do LDA.

Cho *et al.* (2009) realizaram os testes em um cenário com 14 pacientes, sendo sete com Parkinson e sete normais. Em cada teste foram gravados vídeos com duração aproximada de três minutos, sendo separados em 15

**Comentado [AS1]:** Nomes próprios não são escritos em itálico.

**Formatado:** Fonte: Não Itálico

**Formatado:** Fonte: Não Itálico

frames. A partir deles, foram analisadas as silhuetas humanas durante a caminhada, extraindo características intrínsecas, obtendo uma taxa de acerto acumulada de 90% a partir da avaliação do MDC. Por fim, os autores concluem que a utilização do LDA foi mais eficaz do que a utilização do PCA pois realizou a separação dos pacientes de forma mais precisa. Além disso, destacam como limitações a quantidade de pacientes analisados pois, se tivessem mais pacientes, o índice de precisão de acerto poderia ser maior.

## 2.2 RECONSTRUÇÃO DE PARÂMETROS BIOMECÂNICOS DA MARCHA POR MEIO DE CICLOGRAMAS E REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Caparelli *et al.* (2017) utilizaram ciclogramas para o desenvolvimento de um método preditivo na cinemática da marcha humana, com base em dados reais coletados durante a execução da tarefa motora. Além disso, tinham como intuito a elaboração de um modelo usando redes neurais para prever futuras posições no fluxo da marcha.

Segundo Caparelli *et al.* (2017), adotou-se a convenção internacional para descrever a trajetória dos membros inferiores, utilizando-se de marcadores para calcular a movimentação. Os marcadores foram colocados no lado direito do trocânter maior (quadril), do epicôndilo lateral (joelho) e do maléolo lateral (tornozelo), conforme mostra a Figura 3. Segundo os autores, eles facilitam o processo de extração dos ângulos para serem utilizados como entrada da rede neural artificial.

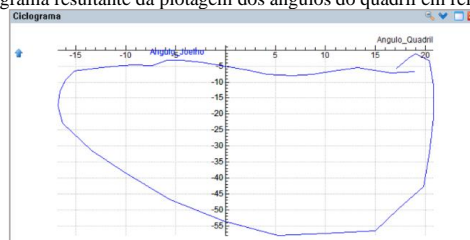
Figura 3 – Posição dos marcadores no hemicorpo direito



Fonte: Caparelli *et al.* (2017).

Caparelli *et al.* (2017) subdividiram o processo em três etapas: extração de dados, treinamento e previsão. Na etapa de extração de dados foram solicitados aos voluntários alguns dados pessoais, como: altura, peso e a idade. Posteriormente, os voluntários andaram sobre uma esteira por três minutos em uma inclinação de cinco graus para extração dos ângulos do quadril e do joelho. Em seguida iniciou-se a etapa de treinamento do modelo em uma rede neural artificial com a arquitetura *Feed Forward Multi-Layer Perceptron* e com retropropagação do erro através do algoritmo Levenberg-Marquadt. Os pesos iniciais foram gerados aleatoriamente, utilizando-se do *Mean Squared Error* como avaliador de performance para finalizar o treinamento. Por fim, na etapa de previsão foram analisados os histogramas dos inúmeros dados obtidos pela participação de 40 voluntários, conforme mostra a Figura 4.

Figura 4 – Ciclograma resultante da plotagem dos ângulos do quadril em relação aos do joelho



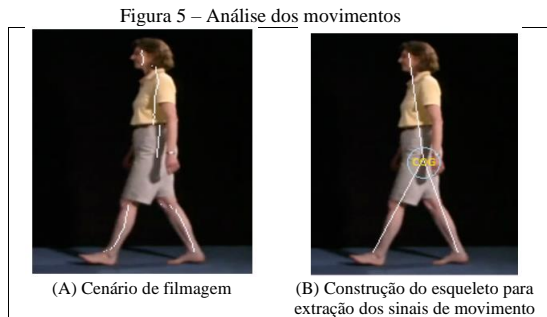
Fonte: Caparelli *et al.* (2017).

Segundo Caparelli *et al.* (2017), a Figura 4 representa os valores extraídos durante a etapa de extração de dados, demonstrando a relação do ângulo joelho (eixo Y) com o ângulo do quadril (eixo X) formando a rotação do ciclo da marcha. A partir dos ciclogramas gerados na etapa de previsão, os autores notaram que seria possível prever os próximos ângulos da movimentação.

Caparelli *et al.* (2017) concluíram que o modelo proposto possui grande potencial e que seu uso facilita o processo de análise visto que o ciclo da marcha possui diversas características. Como trabalhos futuros, os autores sugerem uma utilização maior de ciclogramas. Além disso, também apontam a necessidade da realização de testes com mais pacientes e durante um período maior para comprovar a eficiência do modelo/pesquisa.

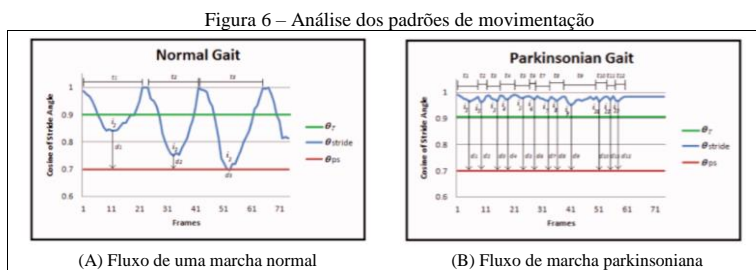
### 2.3 MOTION CUE ANALYSIS FOR PARKINSONIAN GAIT RECOGNITION

Khan *et al.* (2013) desenvolveram um modelo baseado em visão computacional para detecção de comprometimento da marcha em pacientes com DP para ambientes domésticos. Os autores se utilizaram de técnicas de processamento de imagem para extração da silhueta do paciente no qual foi construído um esqueleto computadorizado para extração de sinais de movimento. Inicialmente, os pacientes foram filmados caminhando por um ambiente com o fundo escuro bem iluminado e com roupas claras para realçar o contraste com o fundo, conforme mostra a Figura 5.



Fonte: Khan *et al.* (2013).

Khan *et al.* (2013) subdividiram o processo em cinco etapas: subtração do fundo, isolamento da silhueta, construção do modelo esquelético, extração dos dados e previsão. Na etapa de subtração do fundo são separados os tons de escuro do fundo do cenário com as cores do paciente. Em seguida, obtém-se a silhueta usando um retângulo delimitador por meio das coordenadas dos vértices. Tendo a silhueta mapeada, inicia-se o processo de construção do modelo usando os valores de altura e a largura, sendo que os segmentos de cabeça, tronco e pernas são estimados dividindo-se o retângulo delimitador nas proporções anatômicas. Com isso, os sinais de movimento são calculados a partir do esqueleto da silhueta. Já a postura é estimada calculando o ângulo de inclinação. E, por fim, a partir dos dados calculados é possível efetuar uma correspondência dos padrões e distinguir se a imagem se trata de um paciente de DP ou normal, como pode ser visto nos gráficos da Figura 6. Nela, pode-se perceber a diferença de quantidade de passos entre um paciente normal (Figura 6 item A) e um paciente com a DP (Figura 6 item B), no qual em um espaço de tempo (*frames*), o paciente com DP, dá quatro passos contra apenas um do paciente normal.



Fonte: Khan *et al.* (2013).

Khan *et al.* (2013), realizaram os testes em três pacientes que apresentavam a DP e quatro normais, obtendo 100% de precisão. No entanto, os autores apontam a necessidade da construção de uma base de dados maior para aferir a eficácia do algoritmo, assim como, também sugerem a utilizam de diferentes algoritmos de aprendizado de máquina para avaliar a capacidade de pontuar o comprometimento geral da marcha com base nas suas características, como: rigidez muscular, alterações na postura, etc.

### 3 PROPOSTA

A seguir é apresentada a justificativa para o desenvolvimento desse trabalho, os principais requisitos e a metodologia de desenvolvimento que será utilizada. Também são relacionados os assuntos e as fontes bibliográficas que irão fundamentar o estudo proposto.

#### 3.1 JUSTIFICATIVA

No Quadro 1 é apresentado um comparativo entre os trabalhos correlatos. As linhas representam as características e as colunas os trabalhos.

Quadro 1 – Comparativo entre os trabalhos correlatos

Correlatos Características	Cho <i>et al.</i> (2009)	Caparelli <i>et al.</i> (2017)	Khan <i>et al.</i> (2013)
Patologias de identificação	Parkinson	Doenças que alteram o ciclo da marcha	Parkinson
Objetivo	Identificação	Reconstrução da marcha	Identificação
Utilização de marcadores	Não	Sim	Não
Membros de avaliação	Inferiores e Superiores	Inferiores	Inferiores e Superiores
Técnica de análise utilizada	PCA e LDA	Redes Neurais	Processamento de imagem
Número de pacientes avaliados	14	40	7
Taxa de acerto	90%	Não mencionada	100%
Dispositivo de processamento	Computador	Computador	Celular

Fonte: elaborado pelo autor.

Conforme pode ser observado no Quadro 1, os trabalhos de Cho *et al.* (2009) e Khan *et al.* (2013) realizam a identificação da DP por meio dos membros inferiores e superiores, enquanto Caparelli *et al.* (2017) visam a reconstrução da marcha, para detecções de anomalias, utilizando os membros inferiores. Nenhum dos trabalhos define a idade do público-alvo ou estágio da doença, apenas apontam que os participantes dos testes possuíam idades entre 30 a 50 anos.

A ferramenta de Caparelli *et al.* (2017) foi projetada para fazer a identificação do movimento dos membros inferiores a partir de marcadores colocados em pontos chaves do corpo, ao qual pode ocasionar desconforto durante a utilização. Já Cho *et al.* (2009) e Khan *et al.* (2013) optaram por técnicas de extração de características sem a utilização de marcadores. Além disso, Khan *et al.* (2013) elaboraram uma aplicação móvel para que profissionais ou comunidade tenham a detecção da DP de forma mais rápida, enquanto Cho *et al.* (2009) e Caparelli *et al.* (2017) desenvolveram seus modelos apenas para computadores.

Cho *et al.* (2009) analisaram a utilização do PCA e do LDA para a detecção da DP e concluíram que o LDA foi mais assertivo na separação dos vetores das silhuetas dos pacientes em relação ao PCA. Já Caparelli *et al.* (2017) construíram um modelo utilizando redes neurais para a reconstrução e predições dos ângulos no ciclo da marcha. Khan *et al.* (2013), aplicaram várias técnicas de processamento de imagem para extração dos dados durante o ciclo da marcha para, posteriormente, efetuar os cálculos e definir os resultados.

Khan *et al.* (2013) obtiveram uma taxa de acerto de 100% ao avaliarem apenas sete pacientes. Já Cho *et al.* (2009) alcançaram 90% de acerto em testes com quatorze pacientes. Diante deste cenário, conclui-se que todos os projetos realizam a identificações de doenças relacionadas a marcha humana, porém nem todos possuem precisão comprovada ou facilidade de uso.

Desta forma, este trabalho mostra-se relevante, pois pretende desenvolver uma aplicação para detectar a DP por meio de técnicas de RNR com entrada de dados em tempo real. Sendo construída em uma infraestrutura de microserviços com ferramentas de mensagerias para prover aos usuários uma resposta rápida e, ao mesmo tempo, tendo uma disponibilidade móvel para atingir a maioria dos usuários. Além disso, será elaborado uma base de dados para treinamento que conterà imagens/vídeos de pacientes com a DP para aferir a precisão da RNR e, consecutivamente, provendo confiabilidade em relação ao seu uso em avaliações funcionais realizadas por profissionais da saúde. Outro ponto positivo é a utilização deste projeto em âmbito acadêmico, no qual a partir dos dados extraídos, poderá auxiliar estudantes e profissionais inexperientes a ter um olhar crítico dos principais pontos a serem avaliados na marcha parkinsoniana. Contudo, acredita-se que a identificação e a avaliação da DP será mais

rápida e precisa, auxiliando na qualidade e resultados das informações fornecidas para os profissionais e a comunidade envolvida com pacientes acometidos pela DP.

### 3.2 REQUISITOS PRINCIPAIS DO PROBLEMA A SER TRABALHADO

Os requisitos do trabalho estão divididos em duas partes: requisitos da aplicação móvel e requisitos do módulo de reconhecimento.

A aplicação móvel deverá:

- a) manter o cadastro de pacientes (Requisito Funcional - RF);
- b) permitir ao usuário capturar ou utilizar vídeos de pacientes a partir de um dispositivo Android (RF);
- c) permitir que o usuário possa acompanhar a evolução do paciente ao longo do tempo (RF);
- d) permitir ao usuário visualizar e informar se o reconhecimento da DP foi assertivo ou incorreto (RF);
- e) ser desenvolvido para a plataforma Android (Requisito Não Funcional - RNF);
- f) utilizar a linguagem Flutter para o desenvolvimento (RNF);
- g) utilizar o ambiente de desenvolvimento Visual Studio Code (RNF);
- h) utilizar o banco de dados SQLite para persistir os dados offline (RNF).

O módulo de reconhecimento deverá:

- a) realizar o realce e melhoramento de ruídos, distorções e problemas de iluminação utilizando técnicas de processamento de imagens (RF);
- b) manter o usuário informado sobre a situação do processamento das imagens/vídeos (RF);
- c) efetuar o reconhecimento da DP a partir dos membros inferiores utilizando RNR (RF);
- d) aprimorar a RNR a partir de novos vídeos cadastros pelos usuários (RNF);
- e) utilizar as bibliotecas OpenCV para o processamento de imagens e o Tensorflow para a construção da rede neural artificial (RNF);
- f) utilizar a linguagem Python para desenvolvimento, utilizando a biblioteca Flask para elaborar o servidor REST (RNF);
- g) utilizar um banco de dados No-SQL (RNF);
- h) utilizar a arquitetura de microsserviços (RNF);
- i) utilizar a ferramenta RabbitMQ para troca de mensagens (RNF).

### 3.3 METODOLOGIA

O trabalho será desenvolvido observando as seguintes etapas:

- a) levantamento bibliográfico: pesquisar trabalhos relacionados e estudar sobre o ciclo da marcha, Parkinson, redes neurais recorrentes e trabalhos correlatos;
- b) elicitação de requisitos da aplicação móvel: baseando-se nas informações da etapa anterior, reavaliar os requisitos propostos para a aplicação;
- c) especificação: utilizar a ferramenta de diagramação Enterprise Architect (EA) para elaborar os diagramas de caso de uso e de atividades de acordo com a Unified Modeling Language (UML);
- d) implementação: a partir do item (c) implementar a aplicação móvel para a plataforma Android utilizando a linguagem Flutter;
- e) testes da aplicação móvel: elaborar testes para validar a usabilidade da aplicação junto aos profissionais da área da saúde;
- f) coleta e montagem da base de dados: coletar vídeos de pacientes normais e com Parkinson e montar uma base de dados obtidas/cedidas junto a projetos já existentes na comunidade acadêmica. No caso dos vídeos coletados durante a realização do trabalho será solicitado aos pacientes a assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE);
- g) preparação das imagens: realizar o realce e melhoramento das imagens utilizando o OpenCV. Posteriormente subdividir as imagens em dois grupos: imagens de treinamento e de validação.
- h) definição da arquitetura da ~~rede-Rede neural-Neural artificial~~Artificial: definir a arquitetura da ~~rede Rede neural-Neural artificial-Artificial~~ mais aderente ao processo de reconhecimento da DP;
- i) desenvolvimento do modelo de reconhecimento do Parkinson: a partir do item (h), realizar a implementação da arquitetura da Rede Neural Artificial utilizando a biblioteca Tensorflow;
- j) testes do modelo de reconhecimento: paralelamente à implementação, realizar testes com base no banco de imagens obtido para verificar a eficiência e assertividade do modelo elaborado utilizando a validação cruzada assim como a comprovação dos resultados junto aos profissionais da saúde.

As etapas serão realizadas nos períodos relacionados no Quadro 2.

Formatado: Fonte: Não Itálico

Formatado: Fonte: Não Itálico

Quadro 2 – Cronograma de atividades a serem realizadas

etapas / quinzenas	2020						2021											
	out.		nov.		dez.		jan.		fev.		mar.		abr.		maio		jun.	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
levantamento bibliográfico																		
elicitación de requisitos da aplicação móvel																		
especificação																		
implementação																		
testes da aplicação móvel																		
coleta e montagem da base de imagens																		
preparação das imagens																		
definição da arquitetura da <del>rede</del> <del>Rede neural</del> <del>Neural artificial</del> <del>Artificial</del>																		
desenvolvimento do modelo de reconhecimento do Parkinson																		
testes do modelo de reconhecimento																		

Fonte: elaborado pelo autor.

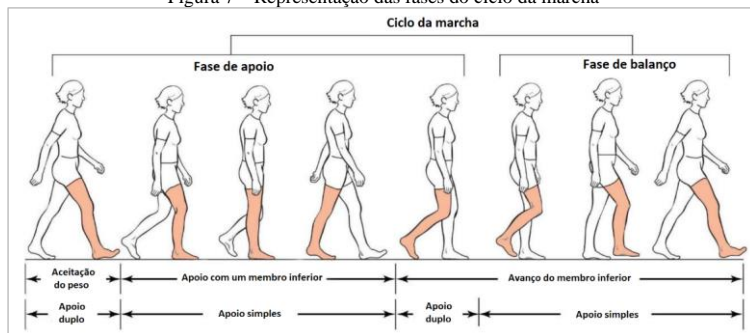
#### 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo está dividido em três seções. A seção 4.1 aborda ciclo da marcha. Já a seção 4.2 discorre sobre Doença de Parkinson. Por fim, a seção 4.3 conceitua a arquitetura de Redes Neurais Recorrentes.

##### 4.1 CICLO DA MARCHA

Segundo Vaughan *et al.* (1992), o ciclo da marcha humana possui duas fases essenciais: fase de apoio e fase de balanço. A primeira está dividida no apoio duplo e apoio simples. No apoio duplo, as duas pernas encontram-se no solo, dividindo o peso do corpo igualmente e, já no apoio simples, apenas uma perna estará em contato com a superfície. Na fase de balanço, a perna que estava em contato com solo estará em movimento, sendo suportada apenas pelo quadril. A Figura 1Figura 7 exemplifica o funcionamento do ciclo da marcha.

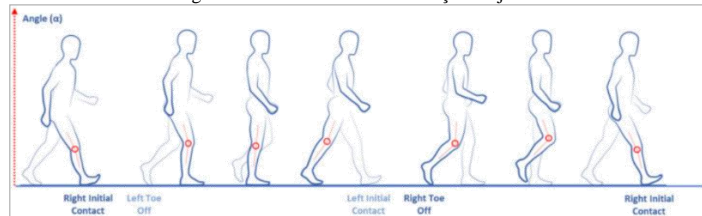
Figura 7 – Representação das fases do ciclo da marcha



Fonte: adaptado de Arias (2018).

Caparelli *et al.* (2017) afirmam que durante os movimentos do ciclo o joelho apresenta diversas funções: suporte do peso, amortecimento de choque, aumento da passada e movimento do pé durante o balanço. Os autores ainda ressaltam que os seres humanos variam a postura dessa articulação conforme suas necessidades e deficiências sendo que, após o início do apoio, o joelho flete rapidamente durante a fase de resposta a carga, ocorrendo uma contração do quadríceps para estabilizar o movimento e, quando essa junta se encontra flexionada, atua para reduzir a intensidade do choque, conforme exemplifica a Figura 8.

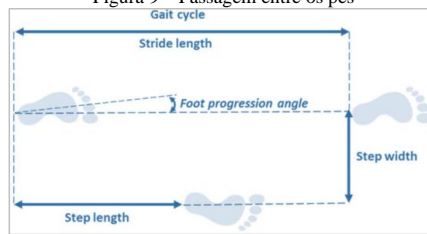
Figura 8 – Movimento da articulação do joelho



Fonte: Biesa *et al.* (2020).

De acordo com Biesa *et al.* (2020) cada ciclo de marcha começa com o contato inicial de um pé e termina com um novo contato inicial do mesmo pé, sendo que, o passo e a passada entre uma etapa e outra do ciclo da marcha são definidos a partir do comprimento e a duração deste fluxo. A largura do passo representa a distância horizontal medida entre a posição dos pés. Finalmente, o ângulo de progressão do pé pode ser medido, o que representa o ângulo entre o eixo longitudinal do pé e a linha de progressão da marcha, conforme representado na Figura 9.

Figura 9 – Passagem entre os pés



Fonte: Biesa *et al.* (2020).

Yiou *et al.* (2017) destacam que a fase de apoio é uma tarefa funcional utilizada para estudar como o sistema nervoso central administra o equilíbrio durante o movimento de corpo que envolve mudanças na sustentação e progressão do centro de massa. Os autores ainda comentam que a iniciação da marcha é uma ação desafiadora para o sistema de controle de equilíbrio, requerendo a integração de múltiplas informações sensoriais provenientes dos sistemas somatossensorial, vestibular e visual, junto com a coordenação de variados músculos esqueléticos distribuídos por todo o corpo.

#### 4.2 DOENÇA DE PARKINSON

Souza *et al.* (2011) definem que a DP é uma afecção crônica, degenerativa e progressiva do sistema nervoso central, ocasionando à morte dos neurônios produtores de dopamina da substância negra, causando diminuição das células produtoras de dopamina na via negroestriatal e dos neurônios contendo neuromelanina no tronco cerebral, principalmente na camada ventral da parte compacta da substância negra e do lócus cerúleos. Ainda segundo os autores, isso gera distúrbios motores, disfunções posturais e cognitivos e, que tais comprometimentos manifestam-se inicialmente de forma motora, sendo chamados de sinais cardinais.

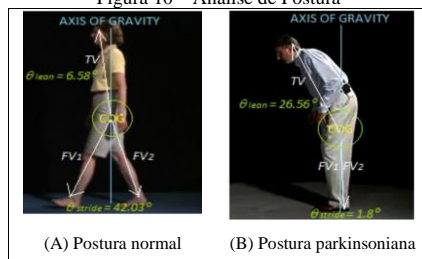
De acordo com Souza *et al.* (2011), a rigidez motora é apresentada de forma desigual, afetando primeiramente os músculos proximais, especialmente ombros e pescoço, avançando para os músculos da face, membros superiores e inferiores. Além disso, os autores destacam que um dos sintomas iniciais são tremores em condições de repouso que diminui ou desaparece com a execução de alguma ação, podendo voltar a ocorrer quando o paciente mantiver a ação ou postura prolongada. Prado *et al.* (2008) afirmam que pacientes que possuem a DP tem dificuldades de concentração e de lembrar de fatos recentes. Porém, nem todos apresentam alterações cognitivas. Sabe-se, também, que a dopamina é um importante transmissor relacionado às funções executivas, a cognição (atenção, memória, julgamento, inteligência) e emoção.

Ainda segundo Souza *et al.* (2011), os pacientes da DP assumem uma postura muito característica com a cabeça e o tronco fletidos, tendo dificuldades de ajustar a postura quando se inclinam ou quando há súbitos deslocamentos do corpo, conforme demonstra a Figura 10. Os autores também destacam a ocorrência de alterações no ciclo da marcha, que se torna em bloco menores com características de passos curtos, rápidos e arrastados, sem a participação dos movimentos dos braços.

Formatado: Realce



Figura 10 – Análise de Postura



Fonte: Khan *et al.* (2013).

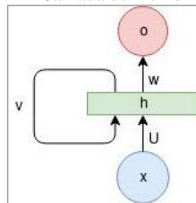
Sofuwa *et al.* (2005) reforçam que pacientes com a DP tem o ciclo da marcha afetado, principalmente, pela lentidão de movimentos, a dificuldade de iniciar movimentos involuntários. Isso, segundo os autores, ocorre devido à ausência de dopamina no estriado que leva a um desequilíbrio entre os sistemas inibitórios e excitatórios.

Biase *et al.* (2020) ressaltam que em estágios avançados, além de sinais cardinais, o paciente pode apresentar alterações e desconformidades motoras, como congelamento da marcha e redução do equilíbrio e controle postural. Contudo, os autores afirmam que com a evolução de diferentes padrões de distúrbios da marcha podem ser detectados ao longo da progressão da doença, como: amplitude reduzida do balanço do braço, suavidade reduzida da locomoção, assimetria entre os membros aumentada, baixa velocidade, comprimento do passo reduzido, passos arrastados, suporte duplo aumentado, cadência aumentada, desfragmentação de giros, problemas com o início da marcha, entre outros pontos.

#### 4.3 REDE NEURAL RECORRENTE

Segundo Matsumoto *et al.* (2019), uma Rede Neural Recorrente (RNR) tem seu objetivo baseado no comportamento do cérebro humano de manter memórias do passado no presente, portanto, dados processados anteriormente podem servir para gerar novos dados. A partir disto, pode ser utilizada para lidar com sequências de entradas e saídas que tem relação temporal entre si em um comprimento variável. Matsumoto *et al.* (2019) ainda descrevem que a RNR deve possuir ao menos uma célula recorrente, ou seja, uma unidade de memória interna, conforme mostra a Figura 11.

Figura 11 – Camada de memória interna



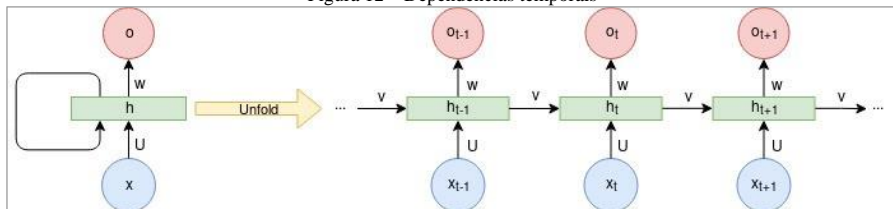
Fonte: Matsumoto *et al.* (2019).

De acordo com Matsumoto *et al.* (2019), a estrutura de memória interna é composta por uma entrada de dados  $X$  com um peso  $U$  e uma saída de dados  $O$  tendo um peso  $W$ . Porém, além de propagar dados para outras camadas, transmite dados para si mesma por meio de um laço de repetição denominado  $V$ . Essa estrutura possui um estado interno representado por  $h$ .

Matsumoto *et al.* (2019) também comentam que as dependências temporais são camadas que variam seu estado ao longo do tempo. Ou seja, em um estado interno  $h(t-1)$  recebe uma entrada  $X(t-1)$ , e assim se reproduz o resultado para à saída  $O(t-1)$  sendo a camada mais à frente. Com isso, atualiza-se o seu estado para  $h(t)$ . Dessa forma, quando a camada adquire a entrada  $X(t)$ , “relembra” a entrada de  $X(t-1)$ , e o processo continua sucessivamente até que seja processado todas as entradas, conforme ilustrado na Figura 12.

Comentado [AS2]: Confuso.

Figura 12 – Dependências temporais



Fonte: Matsumoto *et al.* (2019).

Ma (2016) afirma que a utilização de ~~redes-Redes neurais-Neurais recorrentes-Recorrentes~~ é uma das melhores alternativas para classificadores independentes e modelos em formato sequencial. O autor ainda descreve que existem diversas arquiteturas e formas de implementação que interferem nos dados de entrada e no seu funcionamento, porém as principais são a *Bidirectional*, *Long Short-Term Memory (LSTM)* e *Echo State Networks (ESN)*.

De acordo com Ma (2016), a estrutura *Bidirectional* é uma variação do modelo *Hopfield* que armazena dados associativos em um vetor efetuando a bidirecionalidade por meio de uma matriz e sua transposição, possuindo normalmente duas camadas, sendo que, qualquer uma delas pode ser acionada como uma entrada ou como uma saída. O autor também descreve que a LSTM se difere das redes neurais *feedforward* pois possuem conexões de *feedback*, não processando apenas dados unitários (imagens), mas também sequências de dados (fala ou vídeo). Essa arquitetura é composta por um neurônio que tem conhecimento das entradas antigas em um intervalo de tempo e mais três neurônios que regulam o fluxo de informação para dentro e fora da estrutura. Já a estrutura ESN, Verzelli *et al.* (2019) explicam que a ideia básica é elaborar uma RNR conectada aleatoriamente, denominada reservatório, que induz cada neurônio dentro deste esquema a emitir um sinal de resposta em diversas direções, combinando com a saída desejada.

Formatado: Fonte: Não Itálico

Formatado: Fonte: Não Itálico

## REFERÊNCIAS

- ARIAS, Stephania Alejandra Yáñez. **Estudio Comparativo de Sistemas de Análisis de Marcha Basados en Sensores Inerciales y Cámaras Infrarrojas**. 2018. Trabalho de conclusão de curso de engenharia civil biomédica, Universidad de Concepción, Chile. Disponível em: <[http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/359/1/Tesis\\_estudio\\_comparativo\\_de\\_sistemas.Image.Marked.pdf](http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/359/1/Tesis_estudio_comparativo_de_sistemas.Image.Marked.pdf)>. Acesso em: 15 nov. 2020.
- BIASE, Lazzaro di *et al.* **Gait Analysis in Parkinson's Disease: An Overview of the Most Accurate Markers for Diagnosis and Symptoms Monitoring**. 2020. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7349580/>>. Acesso em: 8 nov. 2020.
- CAPARELLI, Thiago Bruno *et al.* **Reconstrução de Parâmetros Biomecânicos da Marcha por meio de Ciclogramas e Redes Neurais Artificiais**. 2017. Tese de doutorado na área de concentração Processamento da Informação, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20879/3/Reconstru%C3%A7%C3%A3oPar%C3%A2metrosBiomec%C3%A2nicos.pdf>>. Acesso em: 6 ago. 2020.
- CHO, Chien-Wen *et al.* **A vision-based analysis system for gait recognition in patients with parkinson's disease**. 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417408006003?via%3Dihub>>. Acesso em: 22 ago. 2020.
- GONÇALVES, Lucia Hisako Takase *et al.* **Pacientes portadores da doença de Parkinson: significado de suas vivências**. 2007. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-21002007000100011](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-21002007000100011)>. Acesso em: 26 set. 2020.
- KHAN, Taha *et al.* **Motion cue analysis for parkinsonian gait recognition**. 2013. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23407764/>>. Acesso em: 26 set. 2020.
- LIMA, Maria do Carmo *et al.* **Doença de Parkinson: alterações funcionais e potencial aplicação do método Pilates**. 2009. Disponível em: <<https://ggaging.com/details/317/pt-BR>>. Acesso em: 26 set. 2020.
- MA, Jianqiang. **All of Recurrent Neural Networks**. 2016. Disponível em: <<https://medium.com/@jianqiangma/all-about-recurrent-neural-networks-9e5ae2936f6e>>. Acesso em: 8 out. 2020.
- MATSUMOTO, Fernando *et al.* **Redes Neurais | Redes Neurais Recorrentes**. 2019. Disponível em: <<https://medium.com/turing-talks/turing-talks-26-modelos-de-predi%C3%A7%C3%A3o-redes-neurais-recorrentes-439198e9ecf3>>. Acesso em: 8 out. 2020.

PRADO, Ana Lúcia Cervi *et al.* **Análise das manifestações motoras, cognitivas e depressivas em pacientes com doenças de Parkinson.** 2008. Disponível em: <<https://periodicos.unifesp.br/index.php/neurociencias/article/view/8657/6191>>. Acesso em: 8 out. 2020.

SOFUWA, Olumide *et al.* **Quantitative Gait Analysis in Parkinson's Disease: Comparison With a Healthy Control Group.** 2005. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003999304013954>>. Acesso em: 7 nov. 2020.

SOUZA, Cheylla Fabricia *et al.* **A Doença de Parkinson e o Processo de Envelhecimento Motor: Uma Revisão de Literatura.** 2011. Disponível em: <<http://revistaneurociencias.com.br/edicoes/2011/RN1904/revisao%2019%2004/570%20revisao.pdf>>. Acesso em: 3 out. 2020.

SULLIVAN, Susan *et al.* **Fisioterapia Avaliação e Tratamento 5ª Edição.** 2010. p. 349 – 350.

VAUGHAN, Christopher *et al.* **Dynamics of human gait.** 1992. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/Dynamics-of-human-gait-Vaughan-Davis/7dbae8ef886257138624fe82399caae7573fc60b>>. Acesso em: 26 set. 2020.

VERZELLI, Pietro *et al.* **Echo State Networks with Self-Normalizing Activations on the Hyper-Sphere.** 2019. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s41598-019-50158-4>>. Acesso em: 15 nov. 2020.

YIOU, Eric *et al.* **Balance control during gait initiation: State-of-the-art and research perspectives.** 2017. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5696609/>>. Acesso em: 8 nov. 2020.

#### ASSINATURAS

(Atenção: todas as folhas devem estar rubricadas)

Assinatura do(a) Aluno(a): \_\_\_\_\_

Assinatura do(a) Orientador(a): \_\_\_\_\_

Assinatura do(a) Coorientador(a) (se houver): \_\_\_\_\_

Observações do orientador em relação a itens não atendidos do pré-projeto (se houver):

# FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO – PROFESSOR TCC I

Acadêmico(a): Carlos Henrique Ponciano da Silva \_\_\_\_\_

Avaliador(a): Andreza Sartori \_\_\_\_\_

ASPECTOS AVALIADOS <sup>1</sup>		atende	atende parcialmente	não atende
ASPECTOS TÉCNICOS	1. INTRODUÇÃO O tema de pesquisa está devidamente contextualizado/delimitado?	X		
	O problema está claramente formulado?	X		
	2. OBJETIVOS O objetivo principal está claramente definido e é passível de ser alcançado?	X		
	Os objetivos específicos são coerentes com o objetivo principal?	X		
	3. JUSTIFICATIVA São apresentados argumentos científicos, técnicos ou metodológicos que justificam a proposta?	X		
	São apresentadas as contribuições teóricas, práticas ou sociais que justificam a proposta?	X		
ASPECTOS METODOLÓGICOS	4. METODOLOGIA Foram relacionadas todas as etapas necessárias para o desenvolvimento do TCC?	X		
	Os métodos, recursos e o cronograma estão devidamente apresentados?	X		
	5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA (atenção para a diferença de conteúdo entre projeto e pré-projeto) Os assuntos apresentados são suficientes e têm relação com o tema do TCC?	X		
	6. LINGUAGEM USADA (redação) O texto completo é coerente e redigido corretamente em língua portuguesa, usando linguagem formal/científica?	X		
	A exposição do assunto é ordenada (as ideias estão bem encadeadas e a linguagem utilizada é clara)?	X		
	7. ORGANIZAÇÃO E APRESENTAÇÃO GRÁFICA DO TEXTO A organização e apresentação dos capítulos, seções, subseções e parágrafos estão de acordo com o modelo estabelecido?	X		
	8. ILUSTRAÇÕES (figuras, quadros, tabelas) As ilustrações são legíveis e obedecem às normas da ABNT?	X		
	9. REFERÊNCIAS E CITAÇÕES As referências obedecem às normas da ABNT?	X		
	As citações obedecem às normas da ABNT?	X		
	Todos os documentos citados foram referenciados e vice-versa, isto é, as citações e referências são consistentes?	X		

## PARECER – PROFESSOR DE TCC I OU COORDENADOR DE TCC (PREENCHER APENAS NO PROJETO):

O projeto de TCC será reprovado se:

- qualquer um dos itens tiver resposta NÃO ATENDE;
- pelo menos 4 (quatro) itens dos **ASPECTOS TÉCNICOS** tiverem resposta ATENDE PARCIALMENTE; ou
- pelo menos 4 (quatro) itens dos **ASPECTOS METODOLÓGICOS** tiverem resposta ATENDE PARCIALMENTE.

**PARECER:** ( x ) APROVADO ( ) REPROVADO

Assinatura: \_\_\_\_\_ Data: 01/12/2020 \_\_\_\_\_

<sup>1</sup> Quando o avaliador marcar algum item como atende parcialmente ou não atende, deve obrigatoriamente indicar os motivos no texto, para que o aluno saiba o porquê da avaliação.