



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA

**Luiza Maire David Luiz**

**Avaliação da lesão nervosa periférica por meio da eletromiografia  
de superfície**

UBERLÂNDIA – MINAS GERAIS

2015

Luiza Maire David Luiz

**Avaliação da lesão nervosa periférica por meio da eletromiografia  
de superfície**

*Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências.*

**Área de Concentração:** Engenharia de Reabilitação.

**Orientador:** Prof. Dr. Alcimar Barbosa Soares

UBERLÂNDIA – MINAS GERAIS

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

L953a      Luiz, Luiza Maire David, 1989-  
2015      Avaliação da lesão nervosa periférica por meio da eletromiografia de  
superfície / Luiza Maire David Luiz. - 2015.  
              91 f. : il.

Orientador: Alcimar Barbosa Soares.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica.  
Inclui bibliografia.

1. Engenharia biomédica - Teses. 2. Eletromiografia - Teses. 3.  
Nervos periféricos - Teses.I. Soares, Alcimar Barbosa,1965- II.  
Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Biomédica. III. Título.

---

CDU: 62:61

*A minha família, meus pais Alison e Eloize e aos meus irmãos Lucas e Luan.*

## **Agradecimentos**

Agradeço imensamente a Deus, por me guiar e sempre me fortalecer, por iluminar meu caminho e me acalmar nos momentos mais difíceis.

A minha família, ofereço todas as minhas conquistas. Minha mãe, meu exemplo de dedicação, que sempre me apoiou e incentivou a querer sempre mais. Meu pai, meu semelhante, que nunca mediu esforços para me oferecer o melhor da vida. Aos meus amados irmãos, Lucas pelo seu carinho acolhedor e Luan por dividir os momentos difíceis e pela cumplicidade de sempre.

A minha vó pelo afeto e preocupação. Minha tia e primos por torcerem tanto pelo meu sucesso. As minhas sobrinhas Manuela e Mariana que chegaram para iluminar a nossa família.

Ao meu namorado Vitor, pela proteção, incentivo e paciência. A querida Regina, você e toda sua família são indescritivelmente importantes pra mim.

Ao meu orientador professor Alcimar, que me mostrou os caminhos da ciência e da pesquisa e me guiou e orientou em momentos cruciais e decisivos. A minha coorientadora professora Luciane, por me acolher, ter tanto carinho e atenção comigo em todas as fases dessa pesquisa.

A todos os professores do programa de pós-graduação em engenharia biomédica, pelos ensinamentos. A Marli, pelo incentivo e ajuda em todos os momentos.

Aos meus amigos do BioLab, a convivência dentro de um laboratório de pesquisa contribuiu muito para meu crescimento pessoal. Minha amiga Isabela pelo carinho fraternal, Amanda minha companheira de pesquisa, minha grande amiga Barbara, Isabela Miziara e Daniel meus companheiros de aventura e momentos de felicidade, Mariana, Maristella, Marila, Ana Paula pela amizade e apoio, Andrei pela disposição em todos os momentos, Gustavo, Bruno, Fabio e Dhainer. Ao grupo de neuroengenharia, por momentos esclarecedores.

Ao meu amigo Carlos Magno, que foi essencial para a realização de todo esse trabalho, obrigada por toda ajuda e incentivo.

A equipe de pesquisa da Universidade Federal do Triângulo Mineiro, por todo auxílio e parceria. Aos voluntários, pela disponibilidade e participação.

A todas as pessoas queridas, amigos e familiares, que participaram direta ou indiretamente dessa jornada. Obrigada por acreditarem em mim.

Ao CNPq, a CAPES e a FAPEMIG pelo apoio financeiro para esta pesquisa.

*“Tudo posso naquele que me fortalece.”*  
*Filipenses (4:13)*

*“Há um tempo em que é preciso abandonar as roupas usadas, que já tem a forma do nosso corpo e esquecer os nossos caminhos que nos levam sempre aos mesmos lugares, é o tempo da travessia e se não ousarmos fazê-la, teremos ficado para sempre, a margem de nós mesmos.”*

*Fernando Teixeira de Andrade*

# Resumo

As lesões Nervosas Periféricas (LNP) interferem e prejudicam a capacidade funcional do paciente. A interrupção na continuidade da estrutura dos nervos periféricos resulta no bloqueio da propagação dos impulsos nervosos, afetando as aptidões motoras, sensitivas e provocando uma desorganização das atividades funcionais. A regeneração pós-traumática é complexa e o indivíduo pode permanecer com sequelas (LUNDBORG; ROSÉN, 2007). O objetivo do trabalho é apontar possíveis diferenciações nas características da musculatura após a LNP. Participaram efetivamente dessa pesquisa 24 voluntários, divididos em dois grupos, um grupo dos voluntários Com Lesão (GCL) ( $n = 4$ ) e um grupo dos voluntários Sem Lesão (GSL), subdivididos em dois grupos GSL de Homens ( $n = 10$ ) e o GSL de Mulheres ( $n = 10$ ). Os voluntários com lesão passaram por uma avaliação de testes clínicos fisioterapêuticos. Os 24 voluntários passaram pela avaliação de EMG de superfície, que consistia na tarefa de extensão de punho, avalianado o trabalho dos músculos Extensor Radial do Carpo e Extensor Ulnar do Carpo, tracionando uma célula de carga. Do EMG, foram extraídas três características: RMS, Frequência Média (FM) e Frequência Mediana (FMD). Mediante a comparação das avaliações clínicas qualitativas de força, a análise quantitativa com a célula de carga foi consideravelmente eficaz por apresentar diferença na comparação do membro lesionado apresentando menor resultante de força. Na avaliação entre os voluntários com lesão as variáveis extraídas do sinal EMG não foi possível observar uma caracterização de acordo com o tempo de lesão. Na análise estatística no grupo Sem Lesão, a comparação entre o membro dominante *versus* o membro não dominante não obteve diferença significativa. De acordo com a comparação do GCL e GSL os voluntários com lesão apresentaram uma tendência de maiores valores de frequência, mas nas análises estatísticas não houve diferença significativa entre os grupos. Maiores valores de FM e FMD podem indicar um predomínio de fibras do tipo II, ocasionada pela cross reinervação pós LNP. Fatores genéticos, demanda funcional e a variações individuais também podem alterar o recrutamento muscular(FUGL-MEYER et al., 1982). No entanto estes achados que não apresentam diferenciação nas comparações da atividade mioelétrica o que pode indicar que tais voluntários pós LNP tenham adquirido boa recuperação em razão ao sucesso do tratamento.

**Palavras-chaves:** Lesão Nervosa Periférica, Nervo Radial, Eletromiografia de superfície.

# **Abstract**

Peripheral Nerve lesions (LNP) interfere and impair the capacity of the patient. The break in the continuity of the structure of peripheral nerves results in blocking the propagation of nerve impulses, affecting motor skills, sensory and causing a disruption of activities functional. A posttraumatic regeneration is complex and the individual can stay with sequelae (Rosén and Lundborg 2007). The objective is to point out possible differences in muscle characteristics after the LNP. Participated effectively this research 24 volunteers, divided into two groups, one group of volunteers With Injury (GCL) ( $n = 4$ ) and a group of volunteers No Injury (GSL), divided into two GSL groups of men ( $n = 10$ ) and the GSL Women ( $n = 10$ ). Volunteers with injury underwent an assessment of physical therapy clinical trials. The 24 volunteers spent the EMG evaluation surface, which consisted of wrist extension task, analysing the activite of muscles Extension Radial Carpal and Extension Ulnar Carpal, pulling a load cell. It was extracted three characteristics from EMG signal: RMS, Medium Frequency (FM) and Median Frequency (FMD). By comparing the qualitative clinical evaluations strength, the quantitative analysis with the load cell was considerably effective for presenting difference in comparison of the injured limb having lower resultant force. In the evaluation of the volunteers with injury variables extracted from the EMG signal was not possible to observe a characterization according to the time of injury. In the statistical analysis the No Injury group, the comparison between the dominant member versus non-dominant limb there has been no difference. According to the comparison of the GCL and GSL volunteers with lesions showed a trend towards higher frequency values, but the statistical analysis there was no significant difference between groups. Biggest FM and FMD values may indicate a predominance of type II fibers, caused by cross post reinnervation, genetic factors, functional demands and individual variations can also change muscle recruitment (Fugl-Meyer, ERIKSSON et al. 1982). However these findings that show no difference in comparisons of myoelectric activity which may indicate that these post LNP volunteers have acquired good recovery due to successful treatment.

**Keywords:** Peripheral nerve injury, radial nerve and surface electromyography.

# Sumário

RESUMO.....	VI
ABSTRACT.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE TABELAS .....	XI
LISTA DE SIGLAS.....	XII
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	13
1.1    OBJETIVOS GERAIS.....	17
1.2    OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
1.3    ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	18
2. CONSIDERAÇÕES NEUROMUSCULARES.....	19
2.1    CONSIDERAÇÕES ANATÔMICAS E FISIOLÓGICAS DO NERVO PERIFÉRICO .....	20
2.2 CONSIDERAÇÕES ANATÔMICAS E FISIOLÓGICAS DO MÚSCULO ESQUELÉTICO.....	22
3. LESÃO NERVOSA PERIFÉRICA .....	27
3.1    CAUSAS COMUNS DAS LESÕES NERVOSAS PERIFÉRICAS .....	27
3.2    TIPOS DA LESÃO .....	28
3.3    DESNERVAÇÃO E REINERVAÇÃO .....	30
3.4    SEQUELAS E COMPLICAÇÕES .....	33
3.5    TRATAMENTO .....	35
3.6    LESÃO DO NERVO RADIAL .....	36
4. REABILITAÇÃO E MÉTODOS DE AVALIAÇÃO EM LESÃO NERVOSA PERIFÉRICA .....	40
4.1    PROTOCOLOS DE REABILITAÇÃO .....	40
4.2    MÉTODOS DE AVALIAÇÃO CLÍNICA .....	42
4.3    ELETROMIOGRAFIA .....	45
4.3.1    ELETROMIOGRAFIA EM LESÕES NERVOSAS PERIFÉRICAS .....	48
5. MATERIAIS E MÉTODOS .....	51
5.1    SUJEITOS.....	51
5.2    INSTRUMENTAÇÃO .....	52
5.3    PROTOCOLO EXPERIMENTAL.....	54
5.4    ANÁLISE DE DADOS .....	57
5.5    ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	58
6. RESULTADOS.....	60
6.1    SUJEITOS.....	60
6.2    AVALIAÇÃO CLÍNICA .....	62
6.3    ELETROMIOGRAFIA .....	64
6.3.1    GRUPO COM LESÃO .....	65
6.3.2    GRUPO SEM LESÃO .....	68
6.3.3    COMPARAÇÃO ENTRE OS GRUPOS.....	70
7. DISCUSSÃO .....	73
8. CONCLUSÃO .....	82
TRABALHOS FUTUROS .....	83
REFERÊNCIAS .....	84
APÊNDICE.....	92

# **Lista de Figuras**

FIGURA 1: NERVO PERIFÉRICO. EXTRAÍDA E ADAPTADA DE (LONGENBAKER AND GALLIART 2008).....	21
FIGURA 2: COMPONENTES DO MÚSCULO ESQUELÉTICO E PROTEÍNAS CONTRÁTEIS. EXTRAÍDA E ADAPTADA DE (GUYTON, HALL ET AL. 2006).....	23
FIGURA 3: TIPO DE LESÃO E PARTES ANATÔMICAS ACOMETIDAS. EXTRAÍDA E ADAPTADA DE (DEUMENSET AL., 2010).....	29
FIGURA 4: FASES ASSOCIADAS À LESÃO NERVOSA. A: PRIMEIROS DIAS, LOGO APÓS A LESÃO AXONAL E DEGENERAÇÃO WALERIANA NO COTO DISTAL. B: FASE INTERMEDIÁRIA, ALGUNS DIAS OU SEMANAS, PROCESSO DE CROMOTÓLISE. C: ALCANCE DA CÉLULA-ALVO. D: REGENERAÇÃO DA JUNÇÃO NEUROMUSCULAR. E: FALHA NA REINERVAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO NEUROMA. EXTRAÍDA E ADAPTADA DE (DEUMENS ET AL., 2010).....	32
FIGURA 5: POSIÇÃO ANATÔMICA DO NERVO RADIAL. EXTRAÍDA E ADAPTADA DE (DRAKE, VOGL ET AL. 2013). .....	37
FIGURA 6: MÚSCULOS DO COMPARTIMENTO POSTERIOR DO ANTEBRAÇO, INERVADOS PELO NERVO RADIAL. EXTRAÍDA E ADAPTADA DE (DRAKE, VOGL ET AL. 2013).....	38
FIGURA 7: REGIÃO SENSITIVA INERVADA PELO RAMO PROFUNDO DO NERVO RADIAL. EXTRAÍDA E ADAPTADA DE (BERNE, KOEPPEN ET AL. 2008).....	39
FIGURA 8: REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA GERAÇÃO DO POTENCIAL DE AÇÃO DE UMA UNIDADE MOTORA, CAPTADO POR DOIS ELETRODOS. ADAPTAÇÃO DO ARTIGO ORIGINAL DE DE LUCA, 1979, RETIRADA DE (TAKAHASHI 2006). .....	46
FIGURA 9 REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA GERAÇÃO DO SINAL MIOELÉTRICO. ADAPTAÇÃO DO ARTIGO ORIGINAL DE DE LUCA, 1979. RETIRADA DE (TAKAHASHI 2006) .....	46
FIGURA 10: MYOSYSTEMBr1-P84, ELETRODO DE SUPERFÍCIE ATIVO BIPOLAR E ELETRODO DE REFERÊNCIA (DATAHOMINIS TECNOLOGIA LTDA). .....	53
FIGURA 11: CÉLULA DE CARGA CSA ZL DA EMPRESA MK CONTROLE E INSTRUMENTAÇÃO COM CAPACIDADE DE 20 KGF.....	53
FIGURA 12: CÉLULA DE CARGA E HASTE METÁLICA EM FORMA DE T, ACOPLADAS A MESA CONFECIONADA PARA O EXPERIMENTO. .....	54
FIGURA 13: POSICIONAMENTO DOS ELETRODOS ATIVOS NOS MÚSCULOS DO ANTEBRAÇO. .....	56
FIGURA 14: VOLUNTÁRIO REALIZANDO CIVM DE EXTENSÃO DE PUNHO. .....	56
FIGURA 15: APLICATIVO DE SOFTWARE DESENVOLVIDO PARA CÁLCULO AUTOMÁTICOS DAS CARACTERÍSTICAS DOS SINAIS EMGs.....	58
FIGURA 16: SOFTWARE DE CAPTURA DOS SINAIS SE EMG. CAPTAÇÃO SIMULTÂNEA DA ATIVIDADE MUSCULAR E DA FORÇA.....	64
FIGURA 17: VALORES DE RMS E FORÇA PARA OS VOLUNTÁRIOS DO GCL. O EIXO VERTICAL À ESQUERDA REPRESENTA EM $\mu$ V OS VALORES CORRESPONDENTES AO RMS E O EIXO VERTICAL À DIREITA REPRESENTA OS VALORES EM KGF DA FORÇA DE TRAÇÃO EXERCIDA NA CÉLULA DE CARGA. OS VALORES SÃO REPRESENTADOS PARA O MEMBRO LESIONADO E PARA O MEMBRO NÃO LESIONADO. .	65

FIGURA 18: REPRESENTAÇÃO DOS VALORES DE RMS PARA O M. EUC E VALORES DE FORÇA DE TRAÇÃO, PARA OS VOLUNTÁRIOS DO GCL. O EIXO VERTICAL À ESQUERDA REPRESENTA OS VALORES EM $\mu$ V DO RMS E O EIXO VERTICAL À DIREITA REPRESENTA OS VALORES EM KGF DA FORÇA DE TRAÇÃO NA CÉLULA DE CARGA.....	66
FIGURA 19: REPRESENTAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS NO DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA (FM) E (FMD). OS VALORES ESTÃO REPRESENTADOS PARA OS MEMBROS SUPERIORES, MEMBRO LESIONADO E MEMBRO NÃO LESIONADO, NA SEQUÊNCIA PRIMEIRO VALORES DE FREQUÊNCIA MÉDIA SEGUITO DOS VALORES DA FREQUÊNCIA MEDIANA, PARA OS VOLUNTÁRIOS DO GCL.....	67
FIGURA 20: VALORES DE FREQUÊNCIA MÉDIA E FREQUÊNCIA MEDIANA PARA O M. EUC, ILUSTRANDO OS VALORES PARA O MEMBRO QUE OCORREU A LESÃO E PARA O MEMBRO CONTRALATERAL Á LESÃO DOS QUATRO VOLUNTÁRIOS ACOMETIDOS PELA LNP.....	67
FIGURA 21: VALORES DE FREQUÊNCIA MÉDIA NA COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES EXTRAÍDO DO GRUPO CONTROLE SL E DO MEMBRO LESIONADO DO GRUPO CL PARA O MÚSCULO EXTENSOR RADIAL DO CARPO.....	71
FIGURA 22: FREQUÊNCIA MEDIANA NA COMPARAÇÃO ENTRE A MÉDIA DOS VOLUNTÁRIOS SL VERSUS O MEMBRO LESIONADO DOS VOLUNTÁRIOS DO GCL.....	71
FIGURA 23: VALORES DE FM, PARA O MÚSCULO EXTENSOR ULNAR DO CARPO, NA COMPARAÇÃO DOS MEMBROS SUPERIORES DO GSL VERSUS O MEMBRO LESIONADO DO GCL.....	72
FIGURA 24: VALORES DE FREQUÊNCIA MEDIANA DO MÚSCULO EXTENSOR ULNAR DO CARPO, NA COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES EXTRAÍDOS DA ATIVIDADE MUSCULAR DE TODOS OS VOLUNTÁRIOS DO GRUPO SEM LESÃO EM COMPARAÇÃO AOS VALORES DO MEMBRO LESIONADO DO GRUPO COM LESÃO.....	72

# **Lista de Tabelas**

TABELA 1: CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DAS UNIDADES MOTORAS. EXTRAÍDA E ADAPTADA DE (BERNE, KOEPHEN ET AL. 2008).....	24
TABELA 2: CARACTERÍSTICAS DOS VOLUNTÁRIOS DO GCL .....	60
TABELA 3: CARACTERÍSTICAS DOS INDIVÍDUOS DO GRUPO CONTROLE MASCULINO .....	61
TABELA 4: CARACTERÍSTICAS DOS INDIVÍDUOS DO GRUPO CONTROLE FEMININO .....	62
TABELA 5: RESULTADOS DOS TESTES DE DINAMOMETRIA, FORÇA MUSCULAR E DE FUNCIONALIDADE (DASH) DO GCL .....	62
TABELA 6: VALORES MÉDIOS E O DESVIO PADRÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE FREQUÊNCIA (FM E FMD) DO GLS_H, DE ACORDO COM A DOMINÂNCIA E O P-VALOR DAS COMPARAÇÕES ESTATÍSTICAS. ....	69
TABELA 7: MÉDIAS E DESVIO PADRÃO DOS VALORES DE FM E FMD DA COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA PARA O GLS_M.....	69
TABELA 8: COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE O GSL_H VERSUS GSL_M, DOS VALORES DE FREQUÊNCIA PARA O ERC .....	69
TABELA 9: COMPARAÇÃO ENTRE OS VOLUNTÁRIOS O GSL_H VERSUS GSL_M, PARA o EUC.....	70

# **Lista de Siglas**

LNP: Lesão Nervosa Periférica.

MMSS: Membros Superiores.

DASH: Disability of the Arm, Shoulder and Hand.

EMG: Eletromiografia.

EMGi: Eletromiografia invasiva.

EMGs: Eletromiografia de superfície.

SN: Sistema Nervoso.

SNC: Sistema Nervoso Central.

SNP: Sistema Nervoso Periférico.

ADM: Amplitude de movimento.

UM: Unidade motora.

PAUM: Potencial de ação de unidade motora.

TPAUM: Trem de potencial de unidades motoras.

RMS: Root meansquare.

FM: Frequência média.

FMD: Frequência Mediana.

BioLab/UFU: Laboratório de Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Uberlândia.

LABCOM/UFTM: Laboratório de Biomecânica e Controle Motor do Departamento de Fisioterapia Aplicada da Universidade Federal do Triângulo Mineiro.

CL: Com lesão.

SL: Sem lesão.

SL\_M: Grupo sem lesão de mulheres.

SL\_H: Grupo sem lesão de homens.

ERC: Músculo extensor radial do carpo.

EUC: Músculo extensor ulnar do carpo.

CIVM: Contração isométrica voluntária máxima.

AVD: Atividades de Vida Diária.

## Introdução

**A**s Lesões Nervosas Periféricas (LNP) acometem as capacidades funcionais, prejudicando as aptidões motoras e as de sensibilidade fina, além de provocar dor, desconforto pela hiperestesia e intolerância ao frio (LUNDBORG; ROSÉN, 2007; ROSÉN; LUNDBORG, 2001).

As LNP podem ser causadas por fraturas, trações, choques elétricos e lacerações por objetos cortantes e pontiagudos (MARTÍNEZ DE ALBORNOZ et al., 2011). A sua maior incidência ocorre em jovens do sexo masculino e são mais comuns nos membros superiores, prejudicando principalmente as funções da mão (SIQUEIRA, 2007). Em geral, quanto mais estruturas anatômicas do nervo são acometidas, mais grave é o prognóstico (LUNDBORG; ROSÉN, 2007). As lesões podem ser classificadas de acordo com a gravidade, como a interrupção provisória da bainha de mielina ou na circunstância em que ocorre a lesão do axônio, com um pior prognóstico (GRIFFIN et al., 2014).

A regeneração pós-traumática é complexa e depende de múltiplos fatores associados ao sistema nervoso central e periférico, tais como: a sobrevivência das células nervosas, a taxa de crescimento do nervo, a idade do paciente, o nível e o tipo da lesão (ROSÉN; BJÖRKMAN; LUNDBORG, 2006). Contudo, estima-se que a recuperação continua até cinco anos após a LNP, podendo permanecer sequelas (LEE et al., 2003; LUNDBORG; ROSÉN, 2007).

Lesões nos nervos periféricos causam alterações imediatamente após a injúria que continuam durante todo o período de recuperação. Essas mudanças podem ter um impacto negativo na qualidade de vida do paciente e a reabilitação é essencial para a recuperação

sensorio-motora e retorno da funcionalidade (NOVAK, CHRISTINE B.; VON DER HEYDE, 2013).

A maioria das LNP afetam os membros superiores e uma das maiores incidências é a lesão do nervo radial que está principalmente associada à fratura de úmero, devido sua posição anatômica (RASHEED; MARSHOOD; AKHTAR, 2008). O nervo radial inerva todos os músculos do compartimento posterior do antebraço e da mão, sendo que na ocorrência dessa lesão, as funções motoras de extensão de punho e dedos ficam comprometidas, além da perda sensitiva na face dorsal do polegar e dorso do segundo, terceiro e metade radial do quarto dedo. Desta forma, lesões desse tipo afetam diretamente as funções da mão (MONDELLI et al., 2005; NOBLE et al., 1998).

Após a lesão do nervo motor, o músculo esquelético é extremamente afetado e vários eventos ocorrem em resultado a desnervação muscular, como as alterações estruturais e funcionais dos músculos. Acontece nesse tecido um processo de atrofia muscular imediatamente após a interrupção da inervação, após dois meses, mudanças degenerativas ocorrem nas fibras musculares sendo um processo progressivo, em que as fibras são substituídas por tecido conjuntivo, causando contraturas musculares que debilitam as funções. Caso haja a retomada eficiente da inervação em poucos meses, as funcionalidades musculares são reestabelecidas. No entanto, a recuperação motora pode ser prejudicada, caso o processo se prolongue além de três meses, diminuindo as capacidades e aptidões da musculatura. Assim, existe uma tendência à mudanças de hábito nos pacientes que sofreram lesões nos membros superiores (MMSS), devido a pouca funcionalidade do membro lesionado (LUNDBORG; ROSÉN, 2007). Durante o processo de recuperação, pode ainda ocorrer a chamada reinervação cruzada, atribuindo diferentes características para a musculatura, pois sabe-se que as características do nervo determinam as características e o tipo das fibras musculares, o que poderia resultar em contrações inefficientes na fase crônica (BERNE; KOEPPEN; STANTON, 2008; BURNETT; ZAGER, 2004; DRAKE; VOGL; MITCHELL, 2013; MIDRIO, 2006).

Dependendo da gravidade da lesão, ocorrendo, por exemplo, a lesão total do nervo periférico, se faz necessário a intervenção cirúrgica para reconstrução da continuidade anatômica do nervo. Apesar de avanços recentes de técnicas cirúrgicas, a recuperação completa funcional é rara. A sutura entre as extremidades serve apenas como guia para o crescimento axonal e mesmo após reparo cirúrgico menos de 25% dos pacientes recuperam totalmente as funções perdidas (LEE et al., 2003).

O tratamento e a reabilitação se baseiam em uma intervenção multidisciplinar. A intervenção fisioterapêutica assiste todas as fases de recuperação. Na fase aguda, o tratamento tem como principais objetivos: a manutenção e ganho de amplitude de movimento, o controle da dor e a diminuição de edema. Na fase subaguda e crônica, a intervenção têm como propósito, a recuperação de força, da movimentação fina e a reeducação da sensibilidade (FREITAS, P. P., 2005). Nessas fases mais avançadas é comum a utilização de eletroestimulação para minimizar o processo de atrofia e mudanças patológicas nos músculos, pois o exercício induzido elétricamente pode manter um estado mais saudável e ativo até a reinervação (Kitchen & Ribeiro, 2003).

Para avaliação específica após lesão do nervo radial, diversas medidas e testes clínicos são usados para avaliar, diagnosticar e acompanhar o progresso da recuperação da lesão nervosa e retomada da funcionalidade (controle motor da musculatura esquelética e sensibilidade) (NOVAK, CHRISTINE B.; VON DER HEYDE, 2013). Para medir a mobilidade articular, usa-se o método de goniometria, com parâmetros bem definidos e padronizados de posicionamento do goniômetro e padrões da amplitude de cada articulação medida em graus. Na clínica, a capacidade das unidades musculotendinosas é avaliada por meio do teste manual de força muscular e testes de preensão e pinça são realizados por dinamometria (FREITAS, P. P., 2005). Para análise da funcionalidade dos pacientes, testes de análise de scores como o DASH (Disability of the Arm, Shoulder and Hand) são largamente utilizados para avaliação dos membros superiores com o objetivo de avaliar o impacto das lesões nervosas e desabilidades motoras e sensitivas, na realização das tarefas de vida diária (NOVAK, CHRISTINE B et al., 2011; NOVAK, CHRISTINE B.; VON DER HEYDE, 2013). Por mais que testes clínicos sejam bem estabelecidos e padronizados, são avaliações qualitativas e dependem da experiência do profissional e das respostas subjetivas dos pacientes (ÅBERG et al., 2007). Para aprimorar as avaliações, recursos quantitativos podem auxiliar no processo de acompanhamento da recuperação. A eletromiografia (EMG) é uma ferramenta que pode assessorar em medições precisas da atividade muscular e consequentemente contribuir para a implementação de propostas e ajustes alternativos nos tratamentos.

A EMG detecta as manifestações elétricas musculares associadas ao fluxo de correntes iônicas que se propagam pelas fibras musculares resultando em sua contração. A captação do sinal depende de diversos fatores, como das propriedades anatômicas e fisiológicas e das características da instrumentação usada na coleta (DE LUCA, C., 2006). O estudo da atividade

elétrica do músculo é uma ferramenta extremamente importante e eficiente para analisar diversas mudanças ocasionadas por patologias. No caso de LNP o EMG é competente para avaliar os processos de desnervação e reinervação dos nervos periféricos na musculatura esquelética (VIDDELEER et al., 2012).

O exame eletromiográfico pode ser realizado de duas formas distintas: Eletromiografia invasiva (EMGi) e Eletromiografia de superfície (EMGs). A técnica de EMGi permite a captação de sinais mais localizados e de músculos profundos, no entanto é uma técnica invasiva e pode gerar desconforto. A EMGs é uma técnica de fácil aplicação, não invasiva, e permite uma avaliação mais global da musculatura. Por outro lado, não permite avaliar isoladamente a atividade das musculaturas profundas (DE LUCA, C., 2006).

Para as avaliações quantitativas pós LNP, utiliza-se das duas técnicas de EMG. Na literatura são comuns pesquisas que utilizam da avaliação por eletrodiagnóstico, baseado na EMGi e nos estudos de condução nervosa para diagnóstico e análise na fase aguda e no acompanhamento da recuperação das lesões dos nervos periféricos (BERGQUIST; HAMMERT, 2013; BSTEH et al., 2013; CAMPBELL, 2008; CIARAMITARO et al., 2010; COLLIN et al., 2014; DALLA TOFFOLA et al., 2012; DIMBERG, 2012; KANE; OWARE, 2012; MONDELLI et al., 2005; NEAL; FIELDS, 2010; WILLMOTT; WHITE; DUKELOW, 2012; XUE et al., 2011). Em uma fase mais avançada o sEMG tem sido utilizado para mensurar o trabalho muscular e as mudanças nos padrões musculares (MCGARVEY et al., 2013a).

Durante contrações musculares voluntárias, a força é modulada pela combinação do recrutamento das unidades motoras e pela taxa de disparo. Tais processos são observáveis sEMG, em que há um aumento progressivo das amplitudes do sinal, sugerindo um aumento do recrutamento e/ou do aumento da frequência de disparo para execução da tarefa. Ainda assim, alterações na amplitude do sinal não podem ser totalmente atribuídas apenas esses mecanismos. Por exemplo, em casos patológicos que o sistema de controle motor é afetado, a atividade de EMG pode apresentar diferenciações (MERLETTI; PARKER, 2004).

Nos casos específicos pós-lesão dos nervos periféricos, há indícios baseados no trabalho de Daube e Rubin (2009), que a reinervação da musculatura não acontece de forma extremamente eficiente e as capacidades do músculo diminuem progressivamente com o passar do tempo. Esses achados fisiológicos retratam que lesões axonais ou neuropatias, apresentam um recrutamento anormal devido à inabilidade da retomada da reinervação apropriada em todas as fibras musculares, então quando há uma demanda de força para

execução da tarefa faz-se o uso principalmente do mecanismo do aumento na taxa de disparo, devido à diminuição da capacidade de recrutamento muscular (DAUBE; RUBIN, 2009).

Para a detecção de mudanças no padrão muscular, as características extraídas do sinal sEMG poderiam indicar alterações nos mecanismos de controle de força. As características no domínio do tempo e no domínio da frequência podem indicar as alterações nos padrões de recrutamento muscular e permitiriam investigar alterações na taxa de disparo e suas implicações na regulação da força (MERLETTI; PARKER, 2004)

Contudo, as lesões podem causar possíveis danos funcionais musculares remanescentes e esses sujeitos mesmo após todo o processo de reabilitação, permanecerem com sequelas. Na musculatura desnervada podem ocorrer mudanças nas fibras e no padrão de recrutamento o sEMG pode auxiliar na detecção de possíveis mudanças. A importância da avaliação quantitativa por meio do sEMG e a extração de características desse sinal, para a compreensão das mudanças e padrões musculares dos pacientes pós Lesão Nervosa Periférica.

## **1.1 Objetivo Geral**

---

- Avaliar possíveis alterações nas características extraídas do EMG de superfície, em sujeitos pós Lesão Nervosa Periférica.

## **1.2 Objetivos Específicos**

---

- Verificar se as avaliações clínicas são boas ferramentas para detectar diferenças entre o membro lesionado e o membro contralateral.
- Avaliação qualitativa versus avaliação quantitativa de força;
- Analisar se as características extraídas do EMG de superfície caracterizam o tempo e o membro de lesão na comparação entre os voluntários que sofreram LNP;
- Avaliar se os membros superiores se diferenciam de acordo com o lado de dominância dos membros superiores;
- Investigar se os sujeitos que sofreram lesão do nervo radial se diferenciam dos sujeitos do grupo controle de acordo com a atividade mioelétrica dos músculos do antebraço.

### **1.3 Organização da Dissertação**

---

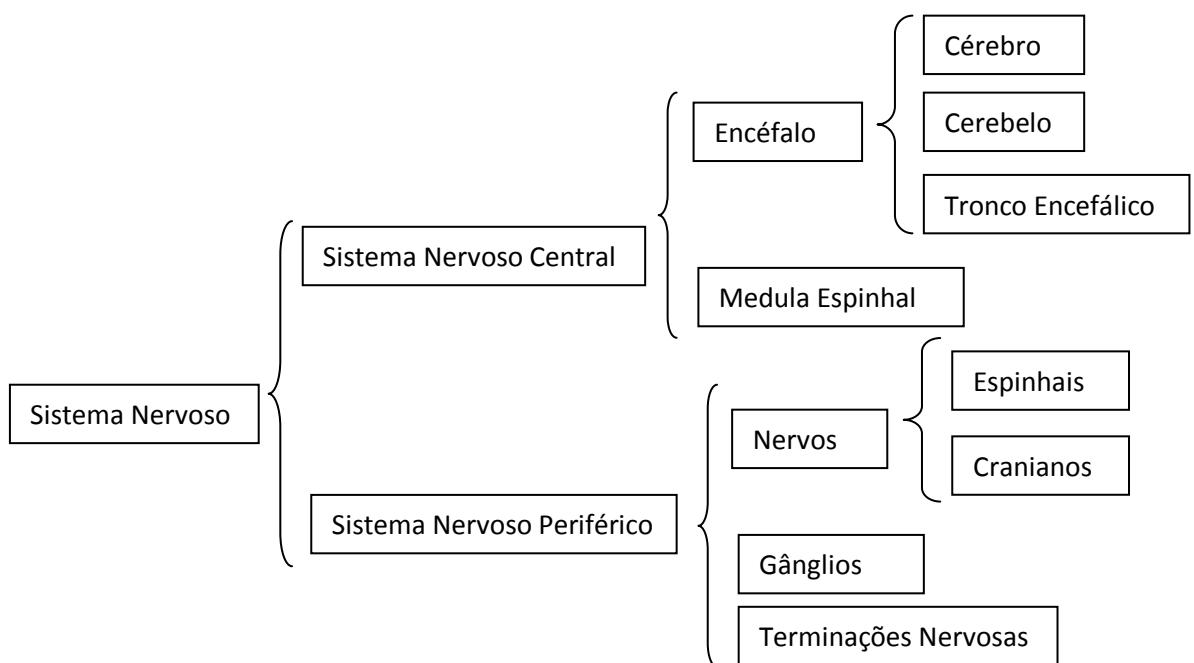
A dissertação foi organizada e dividida em sete capítulos. O capítulo 1: Introdução descreve a parte introdutória da Lesão Nervosa Periférica e as principais motivações para a realização do trabalho. O capítulo 2: Considerações Neuromusculares refere-se aos fundamentos anatômicos e fisiológicos dos nervos periféricos e dos músculos esqueléticos, nesse capítulo são abordadas todas as informações relevantes, para melhor compreensão de como as lesões acometem principalmente as funções desses dois tecidos. O capítulo 3: Lesões Nervosas Periféricas descreve as causas principais da lesão, os tipos e classificações mais comuns, os processos de desnervação e as reações reparadoras na reinervação do nervo periférico, as principais sequelas e complicações pós LNP, as formas de tratamento clínico e as características da lesão do Nervo Radial que têm a maior incidência dentre as LNP que acometem os membros superiores, sendo esse acometimento nervoso o objetivo de estudo dessa pesquisa. O capítulo 4: Reabilitação e Métodos de Avaliação em Lesão Nervosa Periférica refere-se a uma abordagem dos protocolos de reabilitação e os métodos de avaliação, sendo que esses métodos de avaliação informam detalhadamente sobre a avaliação clínica e o método de avaliação quantitativa executado por eletromiografia e ainda uma abordagem detalhada do uso da ferramenta de EMG na avaliação da musculatura que sofreu consequências devido a lesão do nervo periférico. O capítulo 5: Materiais e Métodos descreve todos os procedimentos de coleta, instrumentação e detalhadamente o protocolo experimental. O capítulo 6: Resultados ilustra todos os resultados, primeiramente os resultados clínicos seguidos dos resultados experimentais coletados por meio de EMG. O capítulo 7: Discussão ressalta os resultados comparando com a literatura e por fim o Capítulo 8: Conclusão descreve as considerações finais e indica os trabalhos futuros.

# Capítulo 2

## Considerações neuromusculares

O Sistema Nervoso é formado da agregação de diversas células complexas, que fazem parte de uma rede de comunicação através dos circuitos neurais compostas por neurônios interligados sinapticamente (BERNE et al., 2008).

A divisão do Sistema Nervoso (SN) pode ser feita em diferentes partes levando em consideração os critérios anatômicos, embriológicos e funcionais. A divisão mais conhecida é baseada nos critérios anatômicos, conforme esquematizada a seguir (MACHADO; CAMPOS, 1993).



O Sistema Nervoso Central (SNC) é responsável pela cognição, aprendizagem, memória, processamento de informações vindas do Sistema Nervoso Periférico (SNP), organização de reflexos, respostas comportamentais e envio de informações para a execução dos movimentos voluntários. O Sistema Nervoso Periférico (SNP) promove a interface entre o ambiente e o SNC, incluindo a percepção de informações sensitivas e a demanda de informações motoras (GUYTON, A. C.; HALL; GUYTON, 2006).

O SNP pode ainda ser dividido em duas partes: 1) porção sensitiva que é responsável pela transmissão dos impulsos neuronais dos órgãos do sentido ao SNC e 2) porção motora responsável pelas respostas apropriadas, como contração muscular, função secretora e outros efeitos motores por todo o corpo. A porção motora do SNP pode ser subdividida em motora somática, que inerva a musculatura esquelética, e motora autônoma que inerva os órgãos efetores involuntários, a musculatura lisa, o músculo cardíaco e as glândulas (GUYTON, A.; HALL; POWERS et al., 2000).

## 2.1 Considerações Anatômicas e Fisiológicas do Nervo Periférico

---

O neurônio é a unidade básica estrutural e funcional do Sistema Nervoso (BERNE et al., 2008; MACHADO; CAMPOS, 1993; NETTER, 2014). Os neurônios típicos apresentam variações no tamanho e na forma e são constituídos estruturalmente de três diferentes partes: o corpo celular, ou soma, que detêm as organelas celulares; os dendritos que são extensões responsáveis por receber sinapses e conexões de outros neurônios; e os axônios, responsáveis pela condução do impulso nervoso para outros neurônios e para as células efetuadoras (BERNE et al., 2008; CONTRIBUTORS, 2012; MACHADO; CAMPOS, 1993; VAN DE GRAAFF, 1992).

Os axônios de neurônios do SNP podem ser envolvidos pela mielina, uma bainha de lipídios com função de isolante elétrico, que é produzida por células achatadas chamadas células de Schwann. Assim, fibras nervosas podem ser mielínicas ou amielínicas e essa característica é determinante para uma maior ou menor velocidade de condução das mesmas (NORDIN; FRANKEL, 2003). Nos axônios mielínicos (Figura 1), existem pequenos intervalos regulares entre as bainhas de mielina, denominados nódulos de Ranvier, que atuam como facilitadores da propagação do impulso nervoso, de forma saltatória na extensão de axônios. Apenas axônios longos possuem a bainha de mielina (BERNE et al., 2008;

MACHADO; CAMPOS, 1993; VAN DE GRAAFF, 1992). Nos neurônios não mielinizados a condução nervosa se propaga em uma velocidade média de 10 m/s, enquanto a velocidade para um neurônio mielinizado é de aproximadamente 100 m/s (LONGENBAKER; GALLIART, 2008; VAN DE GRAAFF, 1992).

O conjunto de vários axônios formam as fibras nervosas e, cada qual é envolvida por uma trama delicada de tecido conjuntivo frouxo, conectivo, elástico e resistente, denominado endoneuro, que protege as fibras de traumas mecânicos. As fibras nervosas de diferentes tamanhos são agrupadas em fascículos nervosos, que são envoltas por um tecido conjuntivo bem vascularizado denominado epineuro, o qual possui dois compartimentos o epineuro interno e o epineuro externo. Os agrupamentos dos fascículos nervosos formam o nervo, que é envolto pelo epineuro, tecido conjuntivo mais externo e mais espesso. A Figura 1 ilustra os compartimentos que formam os nervos e os tecidos que envolvem cada camada (GREVE; AMATUZZI, 1999b; MACHADO; CAMPOS, 1993).

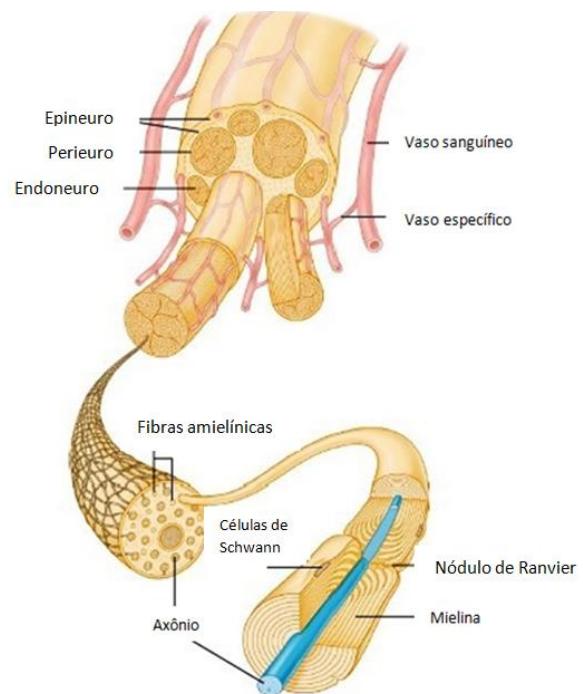


Figura 1: Nervo Periférico. Extraída e adaptada de (LONGENBAKER; GALLIART, 2008).

Conforme sua forma e função, os neurônios podem ser classificados em sensitivos, interneurônios e neurônios motores. Os neurônios sensitivos, ou vias aferentes, quando estimuladas por uma forma de energia adequada (calor, luz, dor) dão origem a impulsos nervosos que seguem pelos axônios e atingem áreas específicas do cérebro, onde são interpretados e resultam em diferentes formas de sensibilidade. Esses neurônios podem ainda ser classificados de acordo com o tipo de informação que propagam: exteroceptores,

internoceptores ou proprioceptores. Os interneurônios fazem conexões entre os neurônios motores e sensitivos ao nível da medula espinal e também formam os caminhos complexos no cérebro, onde ocorrem os processos de contabilização de pensamento, memória e linguagem. Os neurônios motores, vias eferentes, são responsáveis pela ativação dos músculos, geralmente são nervos mais calibrosos quando comparados aos neurônios sensitivos, são distribuídos apropriadamente para todos os músculos esqueléticos e podem ocorrer em dois tipos: neurônios motores alfa e neurônios motores gama (BERNE et al., 2008; LONGENBAKER; GALLIART, 2008; MACHADO; CAMPOS, 1993). Os neurônios motores alfa dão origem a fibras nervosas do tipo A $\alpha$  que inervam as fibras musculares esqueléticas. O conjunto formado pelo motoneurônio alfa e as fibras musculares por ele inervadas é chamado de unidade motora. Os neurônios motores gama, bem menores e menos numerosos, transmitem impulsos por meios das fibras A $\gamma$ , para pequenas fibras musculares esqueléticas especiais chamadas fibras intrafusais, que são parte do fuso neuromuscular (GUYTON, ARTHUR CLIFTON et al., 2006).

O Sistema Nervoso forma uma rede de comunicação que promove a interconexão entre os neurônios, os locais de contato são denominados sinapses, que promovem uma sequência de propagação de informações. As terminações nervosas do axônio contêm as vesículas sinápticas que produzem e excretam neurotransmissores nas junções sinápticas, promovendo excitação ou inibição da célula pós-sináptica (BERNE et al., 2008; GUYTON, ARTHUR C et al., 2006; MACHADO; CAMPOS, 1993; VAN DE GRAAFF, 1992). As terminações axonais motoras fazem sinapses com as glândulas salivares e com as células musculares dos três diferentes tipos: músculo liso, músculo estriado cardíaco e músculo estriado esquelético (MACHADO; CAMPOS, 1993). A interconexão entre as terminações nervosas e a fibra muscular esquelética é denominada junção neuromuscular ou placa motora, onde ocorrem as sinapses químicas entre os terminais dos axônios e as fibras musculares, promovendo a contração muscular (BERNE et al., 2008; DRAKE; VOGL, 2011; GUYTON, ARTHUR C et al., 2006; NETTER, 2014).

## 2.2 Considerações Anatômicas e Fisiológicas do Músculo Esquelético

---

O músculo esquelético é o tecido mais abundante no corpo humano, provê força, movimentação e manutenção da postura. As células musculares esqueléticas individuais têm diâmetro médio entre ~10 e 80  $\mu\text{m}$  e até 25 cm de comprimento. As unidades estruturais dos

músculos esqueléticos são fibras musculares, que contêm feixes de filamentos denominados miofibrilas, esses por sua vez, são compostos pelos feixes protéicos de actina e miosina (Figura 2), que são as unidades de repetição contrátil e responsáveis pela efetividade da contração muscular (BERNE et al., 2008; DESPOPOULOS; SILBERNAGL, 2003; DRAKE; VOGL, 2011; NORDIN; FRANKEL, 2003).

As fibras musculares são envoltas pelo endomisio, um tecido conjuntivo elástico de proteção. Agrupamentos de fibras formam os fascículos musculares que são envolvidos pelo perimísio, permeado pelos vasos sanguíneos e nervos que suprem as fibras musculares. O conjunto de fascículos musculares formam os músculos, que são envolvidos pelo epimisio, tecido conjuntivo responsável por anexar os músculos aos ossos (GUYTON, ARTHUR CLIFTON et al., 2006; NORDIN; FRANKEL, 2003). A Figura 2 ilustra as subdivisões gerais de um músculo esquelético.

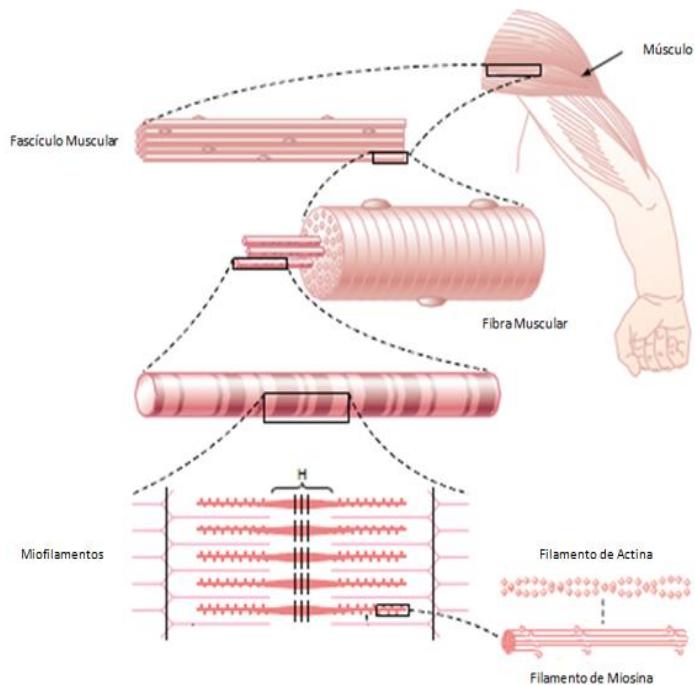


Figura 2: Componentes do músculo esquelético e proteínas contráteis. Extraída e adaptada de (Guyton, Hall et al. 2006).

Os músculos esqueléticos podem ser divididos em classes diferentes com base nas características histoquímicas ou bioquímicas. Comumente as fibras musculares são classificadas em duas características gerais: fibras lentas ou tipo I e fibras rápidas ou tipo II, estas últimas podem ainda serem subdivididas em tipo IIa e tipo IIb. A porcentagem de um tipo de fibra no músculo pode ser influenciada pelos hábitos do cotidiano, por atividades físicas realizadas e por fatores genéticos. A composição dos músculos interfere no

desempenho de força, habilidades. Além disso, fatores como a idade e gênero também interferem e impõem diferenças na distribuição e proporção de tipos de fibras musculares (POWERS et al., 2000). A Tabela 1 apresenta as características gerais de unidades motoras compostas por nervos e músculos.

De forma geral, fibras lentas ou tipo I são menores, inervadas por fibras nervosas menores, mais vascularizadas, para suprir quantidades extras de oxigênio, possuem número de mitocôndrias elevado, para suporte dos altos níveis do metabolismo oxidativo, e grande quantidade de mioglobina, proteína que contém ferro, semelhante a hemoglobina e dá aos músculos lentos uma aparência avermelhada – razão está pela qual tais músculos são também citados como “músculos vermelhos”.

Fibras rápidas ou tipo II possuem fibras grandes e com grande força de contração, retículo sarcoplasmático muito extenso, para rápida liberação dos íons de cálcio para desencadear a rápida contração, grande quantidade de enzimas glicolíticas, para a rápida liberação de energia para o processo glicolítico, menor suprimento de sangue, devido ao metabolismo oxidativo e menor número de mitocôndrias. A falta da mioglobina causa uma aparência esbranquiçada nesses músculos rápidos, nomeados de “músculos brancos” (BERNE et al., 2008; GUYTON, ARTHUR CLIFTON et al., 2006).

Tabela 1: Características e propriedades das unidades motoras. Extraída e adaptada de (BERNE et al., 2008).

Classificação da unidade motora		
Características	Tipo I	Tipo II
<b>Propriedades do nervo</b>		
Diâmetro da célula	Pequeno	Largo
Velocidade de condução	Rápido	Muito rápido
Excitabilidade	Alto	Baixo
<b>Propriedades do músculo</b>		
Número de fibras	Poucas	Muitas
Diâmetro da fibra	Moderado	Largo
Força	Baixo	Alto
Perfil metabólico	Oxidativo	Glicolítico
Velocidade de contração	Moderado	Rápido
Fadigabilidade	Baixo	Alto

As unidades motoras de contração lenta tendem a ser pequenas (de 100 a 500 fibras musculares) e são inervadas por motoneurônios, facilmente excitáveis. Já unidades motoras de contração rápida tendem ser grandes (contendo 1000-2000 fibras musculares) e são inervadas por motoneurônios com maior limiar de excitação. Assim, as unidades motoras de contração

lenta são recrutadas primeiro e, caso haja a necessidade de maior demanda de força, as unidades motoras maiores e de contração rápida são recrutadas a seguir (BERNE et al., 2008).

O comando para atividade muscular descende de forma hierárquica pelo córtex, medula espinal e nervos periféricos. Em contrações voluntárias, a força é modulada pela combinação do recrutamento das unidades motoras e pela taxa de disparo (Figura3), ambos os mecanismos dependem da demanda de força e velocidade da contração.

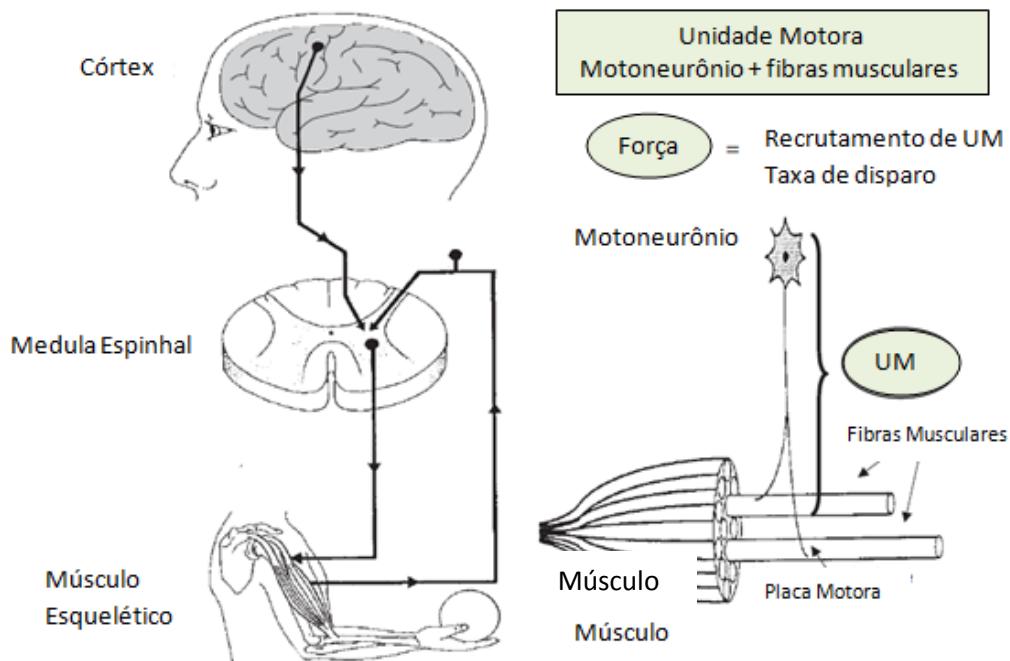


Figura 3: Controle da Musculatura. Extraída e adaptada de (MERLETTI; PARKER, 2004).

O processo de aumento da força de contração através do recrutamento de unidades motoras adicionais é denominado soma espacial, pois caracteriza-se pela somação de forças de fibras musculares, dentro de uma área maior do músculo. O aumento de força pode também ser obtido pelo aumento da frequência dos estímulos, resultando em uma contração sustentada, denominada tetania. A ação do músculo esquelético acontece com o aumento da quantidade de unidades motoras recrutadas e/ou pelo aumento da frequência de disparo estimulando a contração. Em condições normais, existe uma tendência de equilíbrio entre esses mecanismos para manutenção do processo contrátil (BERNE et al., 2008; POWERS et al., 2000).

Segundo Freedman (2012) nos casos crônicos de lesão do nervo periférico, quando não houver uma reinervação satisfatória da musculatura esquelética,a demanda por aumento de força é obtida principalmente pelo mecanismo de tetania, aumentando a taxa de disparo para promover aumento de força muscular. A contração tetânica continua até que os estímulos sejam interrompidos ou a musculatura entre em fadiga (FREEDMAN et al., 2012; POWERS et al., 2000).

Além dos impulsos para promover a contração da musculatura, os receptores sensoriais musculares, os fusos musculares e órgãos tendinosos de Golgi, desempenham papéis importantes no controle muscular, pois oferecem um *feedback* sensorial contínuo de informações do músculo a todo instante, como o comprimento muscular e a tensão exercida. Os sinais a partir desses dois receptores oferecem o controle do músculo por si próprio, auxiliando o sistema nervoso no controle da contração muscular (POWERS et al., 2000).

Em fibras do Tipo I o mecanismo de controle da taxa de disparo é o maior responsável pela modulação da força. Para fibras mistas, em contrações com força acima de 40% a 50% de contração voluntária máxima, o recrutamento de unidades motoras é o mecanismo de maior atuação para a modulação da força. Conforme citado, a idade é um fator de influência no tipo específico de fibras musculares; com o avanço da idade ocorre um declínio no número e no tamanho das fibras musculares, afetando primeiro as fibras do tipo II e depois as fibras do tipo I, o que, curiosamente, faz com que o avanço da idade possa tornar a musculatura mais resistente à fadiga (MERLETTI; PARKER, 2004).

As contrações musculares podem ser divididas em três tipos base: contração isométrica, contração isotônica e contração isocinética. Na contração isométrica a força e a tensão são variáveis, mas o tamanho muscular se mantém constante, o músculo não se encurta durante a contração. Na contração isotônica o tamanho muscular varia, mas a força se mantém constante, em decorrência disto ocorre o encurtamento do músculo, mas a tensão permanece constante. Na contração isocinética a força e o comprimento muscular alteram simultaneamente (NETTER, 2014).

Capítulo **3**

## **Lesão Nervosa Periférica**

**A**s lesões Nervosas Periféricas (LNP) interferem e prejudicam a capacidade funcional das pessoas. A interrupção da continuidade da estrutura dos nervos periféricos resulta no bloqueio da propagação dos impulsos nervosos, afetando as aptidões motoras, sensitivas e provocando uma desorganização das atividades funcionais.

As LNP são mais prevalentes nos membros superiores, interferindo nas habilidades funcionais da mão. A regeneração pós-trauma é complexa e o indivíduo pode permanecer com sequelas. Assim as lesões dos nervos periféricos podem prejudicar a qualidade de vida dos sujeitos, além de provocar custos elevados para a sociedade (LUNDBORG; ROSÉN, 2007).

### **3.1 Causas comuns das Lesões Nervosas Periféricas**

As lesões traumáticas dos nervos periféricos resultam em desabilidades severas e geralmente são resultado de acidentes automobilísticos e, em menor frequência, de acidentes de trabalho (ROBINSON, 2000). A maior incidência ocorre em jovens do sexo masculino e são mais comuns nos membros superiores, prejudicando principalmente as funções da mão (GRIFFIN et al., 2014; SIQUEIRA, 2007).

As lesões nos membros superiores são comuns e podem ser causadas por estiramentos, avulsões, lacerações por objetos cortantes, compressões prolongadas e esmagamentos, traumas por alterações de temperatura, choque elétrico e lesões por degeneração em consequência a patologias do Sistema Nervoso Central (FREITAS, P. P., 2005; GRIFFIN et al., 2014; RYDEVIK et al.). As lesões causadas por estiramento são as mais comuns,

ocorrendo quando a força de tração supera a propriedade elástica do nervo, podendo resultar até mesmo no rompimento do mesmo. As lesões mais recorrentes desse tipo são: avulsão do plexo braquial, na paralisia braquial obstétrica, e lesão do nervo radial, em consequência de fraturas de úmero. As lacerações causadas por objetos cortantes, como vidro, armas brancas e arma de fogo, correspondem a 30% dos ferimentos mais graves, e geralmente causam o rompimento total da continuidade do nervo. As compressões prolongadas ou agudas correspondem a uma grande incidência causal das lesões nervosas, isto pode ocorrer por compressão mecânica ou sofrimento do nervo por isquemia, sendo que esses mecanismos não comprometem a continuidade do nervo, mantendo preservadas todas as estruturas. Estas lesões são decorrentes de compreensão por tumores, hematomas, saliências ósseas ou por síndromes compressivas que estreitam os trajetos nervosos (BURNETT; ZAGER, 2004). Os traumas também podem ocorrer pela alteração de temperatura, queimaduras causadas pelo calor ou pelo frio, ou por causas infecciosas e tóxicas, além de lesões ou inflamações originárias no Sistema Nervoso Central (FREITAS, P. P., 2005).

### 3.2 Tipos da lesão

---

As LNPs ocorrem de diferentes formas, e quanto mais estruturas anatômicas forem acometidas pior será o prognóstico para a recuperação. Segundo Seddon em 1943, as LNPs podem ser classificadas em três níveis, de acordo com as alterações funcionais:

**Neuropatia:** a estrutura anatômica do nervo permanece inalterada e a continuidade axonal é mantida, ocorre uma perda temporária da função do nervo devido ao bloqueio na condução nervosa, usualmente em consequência de compressão. A recuperação total ocorre em semanas ou em poucos meses. “Esse tipo de lesão é sempre proferido como apenas algumas contusões nos nervos, no entanto pode ser tanto quanto grave” (BIRCH, 2011).

**Axonotmese:** ocorre a ruptura total do axônio, mas as bainhas conectivas que envolvem o nervo permanecem intactas, onde acontece a degeneração Walleriana do axônio distal, explicada em mais detalhes no item 3.3. A recuperação desse tipo de lesão é favorável em virtude da manutenção da integridade do epineuro. Espera-se que aconteça o retorno normal das funções, porém podem permanecer com déficits sensitivos e motores residuais.

**Neurotma:** é o tipo de lesão mais severa, em que todas as estruturas são lesadas e ocorre uma interrupção completa na continuidade do nervo. A reparação requer intervenção cirúrgica

e a recuperação e regeneração são incompletas, não ocorrendo a retomada total da função motora e sensitiva do nervo.

Sunderland em 1951, baseado em alterações histopatológicas, distinguiu as LNP's em 5 graus diferentes de lesão, propiciando uma classificação mais detalhada e de acordo com a severidade. O grau I corresponde a neuropaxia e o grau V equivale a neurotmesis. A diferença desta classificação está nos graus II, III e IV que subdividem a axoniotmese:

**Grau I (Neuropaxia):** bloqueio da condução nervosa sem comprometimento da estrutura anatômica do nervo. Recuperação completa em dias ou meses.

**Grau II:** lesão do axônio, preservação da lâmina basal e endoneuro. Ocorre a reinervação dos músculos. O processo pode demorar meses dependendo do nível da lesão, mas ocorre uma recuperação total das funções.

**Grau III:** lesão da fibra nervosa (axônio e o endoneuro) causando a desorganização intrafascicular. Prevalência de amplos déficits funcionais.

**Grau IV:** lesão do fascículo (axônio, endoneuro e perineuro), aumentando a probabilidade de déficits funcionais e desarranjo interfascicular. Eventual recuperação incompleta e, para melhor prognóstico, deve-se optar por intervenção microcirúrgica.

**Grau V (Neurotmesis):** lesão completa do nervo, sem chance de recuperação espontânea e requer intervenção cirúrgica (BERNE et al., 2008; BURNETT; ZAGER, 2004; FREITAS, P., 2005; GREVE; AMATUZZI, 1999b; GRIFFIN et al., 2014). A Figura 3 representa os tipos de lesão e as partes anatômicas acometidas.

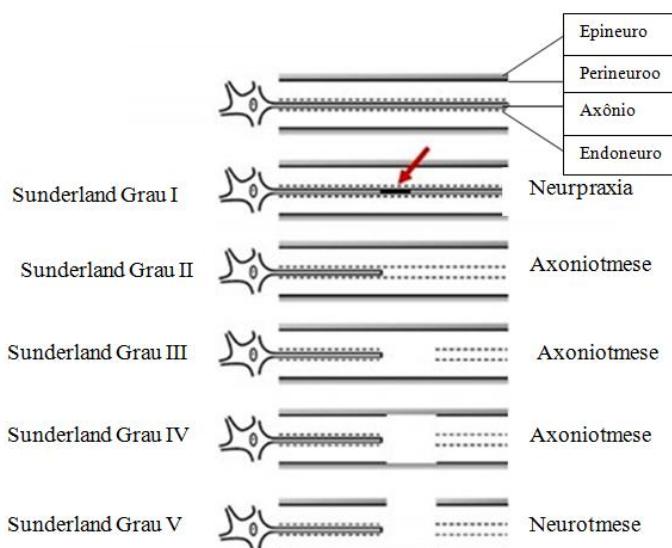


Figura 3: Tipo de lesão e partes anatômicas acometidas. Extraída e adaptada de (Deumens et al., 2010).

As lesões nervosas acontecem geralmente em consequência apóli traumas e as alterações anatomo fisiológicas do nervo estão relacionadas também com ferimentos nos demais tecidos, como pele, músculos e vasos sanguíneos (GREVE; AMATUZZI, 1999b).

Quanto ao tipo de trauma, as lesões podem ser classificadas, como lesões abertas, quando há exposição dos tecidos internos e apesar de mais complexo, esse tipo facilita o diagnóstico e define melhor a conduta médica, pelo fato da estrutura nervosa estar exposta. E lesões fechadas, que requerem um tempo de observação para identificação, diagnóstico e posteriormente definição do tratamento. Conforme o tempo decorrido entre o trauma e a intervenção, as lesões podem ser denominadas recentes, considerando o período de até três semanas, tardias, para um atendimento após três semanas (FREITAS, P. P., 2005).

### 3.3 Desnervação e Reinervação

---

Após as lesões mais graves do nervo periférico (axoniotmese e neurotmese), o axônio se divide em dois segmentos, um segmento proximal em continuidade ao corpo celular e um segmento distal separado da célula nervosa. Por conseguinte, cria-se um espaço intersegmentar de dimensões variáveis, que promove uma reação inflamatória local e edemas no corpo celular e no coto proximal, uma reação reparadora acontece consecutivamente como nos demais tecidos (GRIFFIN et al., 2014).

De dois a três dias após a lesão, inicia-se o processo de degeneração axonal ou centrípeta no segmento proximal e degeneração Walleriana ou centrífuga no segmento distal (FREITAS, P. P., 2005; GREVE; AMATUZZI, 1999a).

No segmento proximal, em poucos dias ocorre à degradação das células de Schwann próximas à área de lesão e redução do calibre do coto proximal do axônio, com uma degeneração em alguns milímetros ou centímetros proximamente à lesão. Essa degradação depende da gravidade da lesão e acontece por meio do processo de fagocitose (BURNETT; ZAGER, 2004; GREVE; AMATUZZI, 1999a).

No segmento distal ocorre a degeneração Walleriana, descrita pelo fisiologista inglês Augustus Volney Waller em 1950, este é um processo de degradação do axônio na parte distal à lesão, e os produtos dessa desintegração, tanto os terminais axonais sinápticos e os fragmentos da bainha de mielina, são fagocitados pelas células de Schwann e pelos macrófagos. Após a fagocitose, as células de Schwann iniciam um processo de multiplicação, até dez vezes maior que o que ocorre em situações normais, formando um tubo endoneurial, ou

bandas de Bünger, com o intuito de organizar e dar suporte e direcionamento para o crescimento axonal, essas bandas mudam o fenótipo de mielínica para amielínica no decorrer desse processo (BERNE et al., 2008; DEUMENS et al., 2010; FIORAMONTE 2011; GRIFFIN et al., 2014). A Figura 4 mostra as fases da desnervação axonal. Simultaneamente ao processo de degeneração distal acontece o processo de regeneração do neurônio a partir do segmento proximal. Após o rompimento, no corpo celular ocorre um intenso metabolismo, com produção de novas proteínas estruturais na tentativa de promover a reparação celular. A reação axonal, ou cromotólise (Figura 4, Fase B), é mais intensa quando a lesão é mais grave e quanto maior for a distância do corpo celular até a lesão. Nesse processo, o núcleo migra para a periferia da célula, acontece à dissociação das substâncias de Nissil, que é a desintegração de grandes porções do retículo sarcoplasmático rugoso que se disseminam no citoplasma, a desorganização dos ribossomos e o aumento do volume da soma que pode se tornar arredondado. Além destas alterações morfológicas, os processos citológicos aumentam a síntese de proteínas necessárias para o crescimento axonal, aumentando a quantidade de DNA e RNA, preparando-se para um metabolismo intenso. O coto proximal dilata-se pelo acúmulo de estruturas como o retículo endoplasmático liso e mitocôndrias (axoplasma), que invadem o tubo endoneural, originando o cone de crescimento junto ao nódulo de Ranvier mais próximo ao local da lesão, no espaço deixado pela retração parcial das células de Schwann. Desse cone de crescimento originam-se finos prolongamentos chamados de brotamentos. Todos os brotos se prolongam pelo túnel vazio formado pelas células de Schwann que servem como um conduto para o crescimento dos axônios em regeneração. A taxa de regeneração é limitada e lenta - cerca de 1 a 2 mm / dia (BERNE et al., 2008; BURNETT; ZAGER, 2004; DEUMENS et al., 2010; FIORAMONTE 2011).

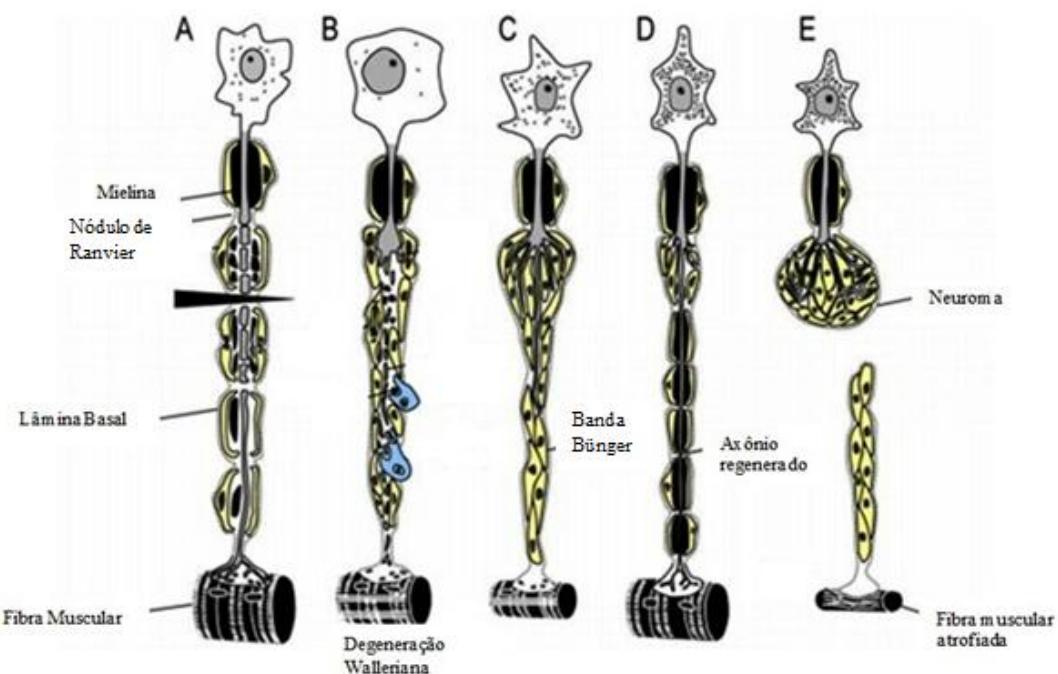


Figura 4: Fases associadas à lesão nervosa. A: Primeiros dias, logo após a lesão axonal e degeneração waleriana no coto distal. B: Fase intermediária, alguns dias ou semanas, processo de cromotólise. C: Alcance da célula-alvo. D: Regeneração da junção neuromuscular. E: Falha na reinervação e desenvolvimento do neuroma. Extraída e adaptada de (DEUMENS et al., 2010).

Nas situações em que a reinervação é incompleta ou ausente, nas tentativas de regeneração em que o brotamento axonal não segue correto direcionamento para o alcance das células-alvo, pode ocorrer um enovelamento ou neuroma no coto proximal do nervo (Figura 4, Fase E). Clinicamente este processo se manifesta com sensações dolorosas e choques (DEUMENS et al., 2010). Nesses casos, para que haja recuperação funcional, deve-se fazer a remoção do tecido cicatricial por meio de intervenção cirúrgica (MACHADO; CAMPOS, 1993).

Na reinervação completa os músculos podem resgatar a funcionalidade motora normalmente, no entanto pode ocorrer uma diferenciação do tipo de axônio. Sabe-se que são as características do nervo que conferem as características das fibras musculares. Assim, na reinervação pode acontecer uma diferenciação nos tipos de fibras de acordo com as características do nervo motor, causando os efeitos tróficos específicos das fibras musculares (BERNE et al., 2008). A excitação elétrica no período do tratamento também pode colaborar para a mudança do tipo de fibra. Em estudos experimentais com animais, após a transecção dos nervos, na recuperação ocorreu uma inervação cruzada, e as propriedades histoquímicas e de contração das fibras se inverteram: as fibras com características de contração rápida se

transformaram em fibras com características lentas e vice e versa (MUNSAT; MCNEAL; WATERS, 1976; RYDEVIK et al.).

Diversos fatores influenciam na regeneração nervosa e o resultado depende das condições do atendimento, técnicas cirúrgicas e condutas adotadas. Assim, diversas variáveis podem interferir na reparação nervosa (FREITAS, P. P., 2005; LUNDBORG; ROSÉN, 2007):

- A idade é um fator que pode intervir em diversas patologias e as crianças têm melhor recuperação funcional nervosa do que os adultos, sendo esses resultados melhores em crianças com idade abaixo de dez anos.
- A capacidade cognitiva também interfere, pois segundo Lundborg e Rosén, (2007), a capacidade de aprendizagem verbal e cognição visual auxiliam na recuperação de sensibilidade funcional em adultos (LUNDBORG; ROSÉN, 2007).
- Para a redução do tempo de reparação, é ideal que sejam feitas intervenções na fase aguda, pois isso viabiliza melhores condições para o retorno das funções musculares e sensitivas.
- O tipo de lesão exerce grande influência, como esperado, pois lesões mais simples e limpas são de melhor prognóstico, enquanto as lesões por esmagamento, ou complexas com riscos de infecção, muitas vezes resultam em perdas irreparáveis do tecido.
- O nível da lesão também interfere principalmente no tempo de recuperação, pois, dado o crescimento de 1 a 2 mm/dia. Assim, quanto mais alto o nível da lesão mais tempo será exigido para o axônio atingir as células alvo (fibras musculares e aos órgãos sensitivos). Caso as células alvo permaneçam por muito tempo se atividade, podem ocorrer processos de atrofia e fibrose.

### **3.4 Sequelas e Complicações**

---

As LNPs resultam em consequências que diminuem a funcionalidade, as aptidões motoras e a sensibilidade. Os primeiros sintomas da lesão aguda do nervo são sensações anormais, como alteração ou diminuição da sensibilidade, paralisia dos músculos antes inervados, perda da função e, em alguns casos, dor. Outros sinais precoces incluem a alteração na textura da pele, hipersensibilidade e falta de arrepios dos pelos na região. Em alguns casos mais severos em que a lesão é mais grave, a fibras nervosas do Sistema Nervoso

Periférico Autônomo podem ser afetadas, causando a perda de funções simpáticas e parassimpáticas. Duas semanas após a lesão degenerativa, áreas de perda de sensibilidade são bem definidas e prevalece uma intensa intolerância ao frio e a perda de massa muscular (BIRCH, 2011).

Em lesões nervosas mais graves, não há uma recuperação sensorial completa, os axônios sensitivos podem não atingir a pele de forma adequada e ocorre uma cross-reinervação, com diferenciação dos receptores sensoriais nos locais de origem (BURNETT; ZAGER, 2004). As alterações de sensibilidade são graves e requerem um remodelamento e reaprendizado no processo de adaptação do cérebro para a nova demanda de informações sensoriais, até então desorganizadas (DAHLIN, 2008; ROSÉN et al., 2006).

A dor neuropática também é uma das graves consequências das lesões e a prevalência desse sintoma está associado diretamente a um prognóstico ruim e altos níveis de incapacidade (NOVAK, CHRISTINE B; REBECCA, 2013).

Na lesão do nervo motor, na fase aguda, ocorrem fibrilações no músculo desnervado, que são contrações irregulares que ocorrem devido à liberação da acetilcolina nas junções neuromusculares a partir da porção distal do nervo lesionado, provocando contrações espontâneas, repetitivas e desordenadas (BERNE et al., 2008). Vários trabalhos na literatura analisam as fibrilações e ondas positivas agudas na fase aguda da lesão, com o propósito de diagnosticar as LNP, por meio da eletroneuromiografia avaliam a atividade da musculatura desnervada e a condução nervosa. Essas técnicas viabilizam a classificação do tipo de lesão gerada (BERGQUIST; HAMMERT, 2013; BSTEH et al., 2013; CAMPBELL, 2008; CIARAMITARO et al., 2010; COLLIN et al., 2014; DALLA TOFFOLA et al., 2012; DIMBERG, 2012; KANE; OWARE, 2012; MONDELLI et al., 2005; NEAL; FIELDS, 2010; WILLMOTT et al., 2012; XUE et al., 2011).

Ainda em consequência da lesão, na musculatura desnervada pode ocorrer um processo de atrofia imediato e, após dois meses, taismudanças degenerativas começam a afetar as características anatômicas das fibras musculares. Esse é um processo progressivo, em que a maioria das fibras musculares são substituídas por tecido conjuntivo, fibroso e gorduroso. Caso ocorra a reinervação em até três meses, as funcionalidades do músculo são restabelecidas normalmente, caso não aconteça, as capacidades do músculo diminuem progressivamente. O tecido fibroso que substitui as fibras musculares durante o processo de atrofia encurta-se provocando contraturas musculares, que podem debilitar ainda mais as funções. Para evitar tais contraturas severas, é de fundamental a realização de exercícios de

alongamento (BERNE et al., 2008; DRAKE, 2011). Desta forma, a recuperação motora pode ser prejudicada caso não haja uma reinervação eficiente, além do que, pode ocorrer a cross-reinervação motora, quando uma fibra muscular originalmente do tipo rápida é reinervada por axônios com características do tipo lentos, o que pode produzir um resultado funcional abaixo do ideal e resultar em contrações ineficientes e efeitos tróficos específicos das fibras musculares (BERNE et al., 2008; BURNETT; ZAGER, 2004; MIDRIO, 2006).

### 3.5 Tratamento

---

O tratamento médico das lesões dos nervos periféricos pode se dar de duas formas e depende exclusivamente do tipo de lesão ocorrida: nos casos mais graves, como na neurotmesse, são indicados tratamentos cirúrgicos, e para os tipos menos graves, como a axôniotmese e neuropraxia, são indicados tratamentos clínicos conservadores.

Apesar de grandes avanços nas técnicas cirúrgicas, a recuperação funcional completa do nervo lesionado é rara. O tratamento cirúrgico tem como objetivo restaurar a continuidade do nervo. A sutura direta das duas extremidades é a intervenção mais comum, exceto quando o espaço intersegmentar é amplo, nesses casos há indicação de enxerto para permitir a reparação dos nervos. A sutura entre as extremidades serve como guia para o crescimento axonal e, mesmo após reparo cirúrgico, menos de 25% dos pacientes recuperam totalmente as funções motoras e sensitivas. No tratamento conservador clínico, os objetivos são de acompanhamento da recuperação do nervo periférico (GREVE; AMATUZZI, 1999b; LEE et al., 2003). Além dos fatores fisiológicos, que acontecem com objetivo de reparação e crescimento axonal, agentes farmacêuticos e substâncias como o ácido hialurônico e seus derivados, são largamente utilizados para acelerar crescimento axonal (DEUMENS et al., 2010; MEKAJ et al., 2014).

Na reabilitação, deve-se levar em consideração as características individuais de cada paciente, como a idade, gênero, dominância e profissão, pois se tratando de MMSS, esses fatores interferem no seu desenvolvimento e recuperação. Os principais objetivos do tratamento e intervenção fisioterapêutica na fase aguda estão relacionados com a amplitude de movimento, controle da dor, prevenção de aderência cicatricial e diminuição de edema. A educação e o entendimento do paciente sobre a lesão são de extrema importância para a compreensão da recuperação pós-cirúrgica, se for o caso, e a evolução gradativa pós-trauma.

Na fase subaguda e crônica, a intervenção objetiva a recuperação de força, movimentação fina e reeducação da sensibilidade (GREVE; AMATUZZI, 1999b).

Períodos de imobilização pós-cirúrgico são indicados e amplamente recomendados na literatura. Esses períodos podem variar de alguns dias a algumas semanas, a depender da gravidade da lesão (NOVAK, CHRISTINE B.; VON DER HEYDE, 2013).

Outro tratamento largamente utilizado envolve procedimentos de eletroestimulação, associados. Os parâmetros da estimulação variam para os diferentes tipos de tratamento, sendo que existem diversos protocolos descritos na literatura (MICHLOVITZ, 2005).

### 3.6 Lesão do Nervo Radial

---

As lesões do nervo radial têm a maior incidência dentre as lesões nervosas no membro superior (MONDELLI et al., 2005; NOBLE et al., 1998). A lesão ocorre principalmente associada à fratura de úmero. Essa associação acontece pela posição anatômica do nervo radial que está em contato com o terço médio do úmero (RASHEED et al., 2008)e pode ocorrer em diferentes etapas, sendo dividida em três categorias, dependendo do momento em que ocorreu: 1) a lesão primária do nervo radial que acontece no momento da fratura, 2) a lesão radial não imediata que pode ser ocasionada pela formação do calo ósseo ou de tecido cicatricial formado devido à instabilidade da fratura óssea e 3) a lesão secundária acontece durante técnicas cirúrgicas invasivas para redução e fixação da fratura do úmero (BHARDWAJ; SWE, 2012; WANG et al., 2014).

O nervo radial se origina no plexo braquial, nas raízes C5 a C8 e T1, especificamente no fascículo posterior é o maior ramo de maior calibre desse segmento. O nervo chega ao braço medialmente ao úmero, passando entre a margem inferior do músculo redondo maior, cabeça longa do músculo tríceps braquial e o corpo do úmero. Passa diagonalmente ao redor da face posterior do terço médio do úmero pelo sulco radial, segue distalmente entre os músculos braquial e braquiorradial e ao nível do epicôndilo lateral do úmero abaixo da margem lateral da fossa cubital, e se divide em dois ramos, o profundo e o superficial. O ramo profundo, ou interósseo posterior, tem distribuição muscular e articular e o ramo superficial emite fibras sensitivas para a região lateral da face dorsal da mão e dos dedos (DRAKE; VOGL, 2011; FREITAS, P. P., 2005; MOORE; DALLEY; AGUR, 2007). A Figura 5 ilustra a posição anatômica do nervo radial.



Figura 5: Posição anatômica do nervo radial. Extraída e adaptada de (DRAKE et al., 2013).

O nervo radial inerva os diversos músculos do compartimento posterior do antebraço:

- Braquiorradial
- Extensor radial longo do carpo
- Extensor radial curto do carpo
- Supinador
- Extensor ulnar do carpo
- Extensor comum dos dedos
- Abdutor longo do polegar
- Extensor longo do polegar
- Extensor curto do polegar
- Extensor próprio do dedo indicador

Neste capítulo, daremos ênfase nos músculos Extensor Radial Longo do Carpo, Extensor Radial Curto do Carpo e Extensor Ulnar do Carpo (Figura 6), por serem os mais importantes na execução de extensão de punho.

**Extensor Radial Longo do Carpo:** origina-se na parte distal da crista supra-epicondilar lateral e do epicôndilo lateral do úmero e inserção na face dorsal da base do II metacarpo.

Função: extensão e abdução do punho, inervado pelo nervo radial antes da bifurcação entre ramo superficial e profundo.

**Extensor Radial Curto do Carpo:** origem no epicôndilo lateral do úmero e inserção nas bases metacarpais II e III.

Função: extensão e abdução do punho, inervado pelo ramo profundo do nervo radial antes do nervo passar entre as duas cabeças do músculo supinador.

**Extensor Ulnar do Carpo:** origem no epicôndilo lateral e inserção na face medial da base do V metacarpo.

Função: Extensão e adução do punho, inervado pelo interósseo posterior (ramo profundo do nervo radial).

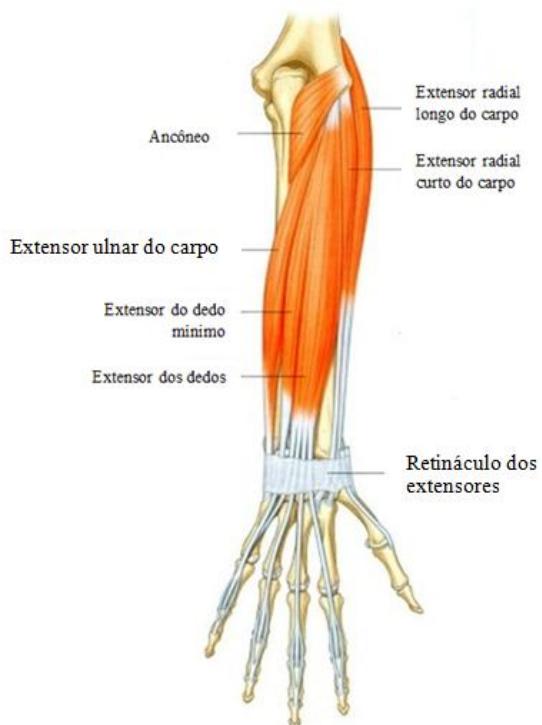


Figura 6: Músculos do compartimento posterior do antebraço, inervados pelo nervo radial. Extraída e adaptada de (DRAKE et al., 2013).

A disfunção motora e sensitiva resultante dependerá do local da lesão. Em estudos internacionais as maiores incidência deste tipo de lesão, em ordem de acometimento, são: axoniotmese, neuropraxia e neurotmese (BHARDWAJ; SWE, 2012; RASHEED et al., 2008).

Os déficits funcionais motores das lesões do nervo radial associadas às fraturas do terço médio do úmero são: perda da extensão de punho, fraqueza na supinação e na flexão de cotovelo, extensão ulnar do punho, perda na extensão das articulações metacarpofalangianas dos dedos, extensão e abdução radial do polegar.

A perda sensitiva afeta a face dorsal do polegar e dorso do segundo, terceiro e metade radial do quarto dedo. A região de perda sensitiva está ilustrada na Figura 7.



Figura 7: Região sensitiva inervada pelo ramo profundo do nervo radial. Extraída e adaptada de (BERNE et al., 2008).

A lesão específica do nervo radial é reconhecida principalmente pela postura do punho em flexão, causada pela disfunção da musculatura extensora, frequentemente referida como “punho caído”. Além dessa disfunção clássica, a função preensora da mão é comprometida, pois o recrutamento dos músculos extensores, responsáveis pela estabilização do punho durante a preensão e o manuseio de objetos, foi comprometido (FREITAS, P. P., 2005; GREVE; AMATUZZI, 1999b).

## **Reabilitação e Métodos de Avaliação em Lesão Nervosa Periférica**

**L**esões Nervosas periféricas causam alterações no Sistema Nervoso e no Sistema Muscular. Essas mudanças resultam na perda de sensibilidade e motricidade, podendo ter um impacto negativo nas atividades de vida diária. A reabilitação é essencial para otimização das consequências da lesão e retomada da funcionalidade (NOVAK, CHRISTINE B; REBECCA, 2013). Contudo, vários fatores devem ser considerados para diagnóstico, bem como são necessários métodos objetivos para avaliação evolutional da reparação nervosa (ÅBERG et al., 2007), conforme descrevemos a seguir.

### **4.1 Protocolos de Reabilitação**

O tratamento e a reabilitação da LNP se baseiam em uma intervenção multidisciplinar, objetivando a proteção da cicatrização, promoção da reeducação da sensibilidade, retorno da função motora e da funcionalidade da mão. A intervenção fisioterapêutica assiste as consecutivas fases de recuperação (inicial, intermediária e final). Os aspectos gerais do tratamento têm como propósito na fase inicial pós-operatória a manutenção da mobilidade articular, o controle da dor e diminuição de edema. Outro fator de imensa importância é a orientação do paciente quanto aos cuidados necessários e, quando essa relação é bem conduzida, permite ao paciente compreender as dificuldades no período de recuperação e se adequar às mesmas (FREITAS, P. P., 2005; GREVE; AMATUZZI, 1999b).

A primeira estratégia na fase aguda, para casos de intervenção cirúrgica, envolve um período de imobilização, dependente da gravidade da lesão e da tensão exercida sobre o reparo cirúrgico. O tempo ideal ainda não está completamente estabelecido na literatura, mas varia entre 3–10 dias a 3 semanas de imobilização. Curtos períodos de tempo podem minimizar as cicatrizes e acelerar a recuperação e longos períodos de imobilização podem proteger e resguardar de agentes externos; em contra partida, períodos extensos podem agir como um mediador de aumento na produção de colágeno e tecidos cicatriciais (NOVAK, CHRISTINE B.; VON DER HEYDE, 2013). Mesmo no período de imobilização deve-se realizar a movimentação das articulações livres (FREITAS, P. P., 2005).

Nos casos das LNPs em membros superiores, é muito comum o uso de órteses funcionais, buscando minimizam os efeitos prejudiciais do desequilíbrio muscular, prevenindo a contratura articular, os estiramentos de estruturas menores, o desenvolvimento de padrões de movimento e ainda ajudam na funcionalidade da mão no período de recuperação (FREITAS, P. P., 2005).

Ainda na fase aguda, o tratamento da cicatriz tem como objetivo a não formação de aderências, e se baseia no massageamento e mobilização para obter uma cicatriz modelada. Para o tratamento de dor e edema pode-se utilizar malhas ou luvas de compressão, aplicar massagem terapêutica, crioterapia, banhos de contraste térmico, elevação do membro e movimentação ativa (GREVE; AMATUZZI, 1999b).

Em uma fase intermediária ou de disfunção as principais metas de tratamento são a recuperação da amplitude de movimento e das disfunções sensitivas e motoras. Nesse momento movimentos passivos e ativos devem ser implementados no tratamento para ganho de ADM (FREITAS, P. P., 2005).

Após a lesão acontece uma dramática perda de sensibilidade, que desorganiza as representações do membro superior nas áreas corticais e para a recuperação é necessário um reaprendizado e remodelação sensitiva no SNC. Faz-se necessário aplicar técnicas de reeducação da sensibilidade com diferentes texturas na terapia e é importante que o paciente dê continuidade a esses estímulos trabalhando a técnica de reaprendizado sensitivo orientado em sua residência (DAHLIN, 2008).

Ainda, juntamente com os procedimentos corriqueiros de tratamento é recomendado e bastante utilizado, o uso de técnicas de eletroestimulação muscular. Contudo, os parâmetros de tratamento variam para os diferentes tipos de lesão e sujeito, dando origem a diferentes protocolos descritos na literatura. Nos casos de LNP o músculo desnervado sofre um

processo de mudanças estruturais patológicas e atrofia, então para minimizar esse processo a estimulação elétrica pode instigar o ganho de força e atividade contrátil (MICHLOVITZ, 2005).

Por fim, para a recuperação das funções motoras, recomenda-se exercícios ativos para ganho de força e movimentação fina (FREITAS, P. P., 2005). No entanto, para as complexas funções da mão, apenas recuperação de força não é o bastante, e o tratamento deve se dar com a interação coordenada da reeducação de sensibilidade e das funções motoras para otimização dos resultados (NOVAK, CHRISTINE B.; VON DER HEYDE, 2013).

## 4.2 Métodos de Avaliação Clínica

---

As LNPs são heterogêneas, pois ocorrem de diferentes formas, em diferentes níveis e, em alguns casos, envolvem outros tecidos além do nervo periférico. Diversos fatores como, idade, tipo cirúrgico, dominância dos membros superiores (MMSS), ocupação profissional e aspectos psicológicos do paciente criam variações e até dificuldades para a avaliação clínica e acompanhamento da evolução da recuperação. Em grande parte, as maiores dificuldades para avaliação referem-se ao uso de escalas qualitativas que, muitas vezes, impedem avaliações mais precisas. A literatura sugere que haja uma combinação de diversos questionários de funcionalidade e testes específicos de funções motoras e de sensibilidade para minimização das limitações de metodologias individuais (ÅBERG et al., 2007; LUNDBORG; ROSÉN, 2007).

Para qualquer intervenção terapêutica é imprescindível uma avaliação, contendo o histórico da lesão, informações detalhadas das técnicas médico-cirúrgicas, descrições subjetivas dos sintomas de dor, alterações na sensibilidade e no desempenho motor, dentre outros aspectos particulares a cada caso.

Como parte da avaliação do Exame Físico, são analisados o posicionamento da mão pós-lesão, presença de atrofia, cicatrizes, presença de queimaduras ou ferimentos em outros tecidos. Na palpação da cicatriz observa-se presença de aderência e dor, bem como o tônus muscular. Avalia-se ainda a medida circunferencial no local do edema e na musculatura e o sinal de Tinel, para verificar o nível de crescimento neural (FREITAS, P. P., 2005).

Ainda reforçando a anamnese, deve-se realizar avaliação da amplitude de movimento (ADM) das articulações acometidas, bem como testes detalhados das funções de sensibilidade e motora e de funcionalidade.

O principal método para avaliação do grau de mobilidade articular é a goniometria. Na aplicação do método, o braço fixo do goniômetro é colocado em paralelo à peça óssea proximal e o braço móvel é colocado junto à peça óssea distal que acompanha o movimento articular, mensurando assim as limitações da ADM. Para as falanges utilizam-se goniômetros menores e mais adequados (FREITAS, P. P., 2005; NORKIN; WHITE, 2009).

Os testes de sensibilidade são de suma importância para a caracterização do comprometimento, que varia de acordo com as características da lesão. Existem diversos testes, sendo que a maioria é de caráter subjetivo (ÅBERG et al., 2007; FREITAS, P. P., 2005):

- *Teste de dois pontos de discriminação:* analisa a presença de sensibilidade funcional e restauração da gnosiá tática, por meio de estímulos em dois pontos com distância variada;
- *Monofilamentos:* são utilizados para detectar o limiar mecânico do menor filamento, mapeando os diferentes níveis de sensibilidade na área lesada;
- *Limiarestérmicos:* teste aplicado bilateralmente, para a detecção das mudanças de temperatura ou presença de dor pela intolerância ao frio;
- *Eletroneurografia:* permite a mensuração da velocidade de condução nervosa a partir de estímulos elétricos transcutâneos e detecção da resposta por eletrodos de superfície.

A avaliação das funções motoras da mão é baseada em testes específicos para os músculos desnervados. Em tais testes, o aumento gradativo da força e das funções musculares representa a evolução e eficácia da reinervação periférica (ÅBERG et al., 2007; FREITAS, P. P., 2005):

- *Teste manual de força muscular:* aplicação de resistência manual gradativa imposta contra o movimento do paciente; cada músculo é avaliado separadamente de acordo com a capacidade contrátil;
- *Força de preensão:* medição da força de pinça e preensão manual, por dinamômetros;
- *Eletromiografia:* Eletromiografia invasiva ou eletromiografia de superfície podem também ser utilizadas para avaliar o status da atividade muscular durante a contração.

Os testes funcionais são questionários de auto relato de desempenho nas atividades de vida diária (ÅBERG et al., 2007; FREITAS, P. P., 2005):

- *Teste de 4 questões:* pequeno questionamento sobre dor, intolerância ao frio, com registro escalar de funcionalidade;

- *The validateddisibilitiesofthearm, shoulderandhand (DASH)*: questionário específico incluindo 30 itens, com dois módulos opcionais, para percepção das habilidades de desempenho das atividades do membro superior nas tarefas de vida diária;
- *The assessmentof motor andprocessskills (AMPS)*: teste para avaliar a evolução motora e habilidades em tarefas com objetos utilizados no dia a dia;
- *Teste funcional para mão de Sollerman*: avaliação de manipulação fina e específica.

Åberg e colaboradores (2007) realizaram um estudo para analisar, em diferentes critérios, quais os métodos clínicos seriam mais eficazes para avaliar a evolução da recuperação de pacientes pós LNP. Os métodos clínicos para avaliação das funções de sensibilidade, funções motoras e de funcionalidade foram baseados no estudo de Rosén e Lundborg (2000), que propuseram um modelo quantitativo de avaliar a recuperação funcional após a lesão do nervo periférico, nos membros superiores (ÅBERG et al., 2007; ROSÉN; LUNDBORG, 2000). Os autores avaliaram pacientes que sofreram lesão completa no nervo mediano e compararam com voluntários normais. Participaram do estudo 15 pacientes, sendo uma amostra bastante heterogênea, com média de idade de 34,5 (15 – 60) anos, todos tinham a mão direita como membro dominante, desses 8 lesionaram a mão do lado dominante e a média de tempo pós-lesão era de 4,5 anos (18 meses – 9 anos). Os voluntários saudáveis tinham média de idade de 32,2 (9 – 54) anos e todos tinham a mão direita como membro dominante. Os critérios para a validação dos testes eram cinco: 1) o método deveria mostrar diferença significativa na comparação dos pacientes e dos voluntários normais, 2) o método deveria ser eficaz na discriminação entre membro lesionado e o membro não lesionado dentro do grupo dos pacientes, 3) o método deveria ser eficaz para avaliação de lesão do nervo mediano, 4) o método deveria distinguir o grupo que participou efetivamente do estudo, com uma pequena amostra da população da base de dados dos pesquisadores e 5) o método não deveria ter alta variabilidade acentuada nos resultados dentro do grupo de voluntários saudáveis. Baseado nesses critérios de validação, 16 métodos de avaliação foram avaliados. Para análise de sensibilidade 3 testes preencheram os 5 requisitos de validação: o teste de dois pontos de discriminação; BMRC (teste específico para nervo mediano) e a eletroneuromiografia. Os métodos eficazes na avaliação da função motora baseados nos 5 critérios foram: teste manual de força muscular; eletroneuromiografia na avaliação da condução nervosa do nervo motor e eletromiografia. Para os testes de funcionalidade, 4 preencheram os 5 critérios: *Teste de 4 questões*; *The validated disibilities of the arm*,

*shoulder and hand (DASH) The assessment of motor and process skills (AMPS) e Teste de funcionalidade para mão de Sollerman*. Por fim, os autores destacam que, embora os testes clínicos sejam de suma importância, vários possuem grandes limitações na efetividade da avaliação, dependem da experiência do avaliador e ainda podem apresentar variações entre avaliadores. A aplicabilidade de mesmo depende ainda do espaço e dos recursos da clínica de atendimento. Mas, ainda assim, as diversas técnicas de avaliação existentes auxiliam efetivamente na avaliação da evolução dos pacientes.

### **4.3 Eletromiografia**

---

A Eletromiografia detecta a atividade muscular, servindo como um método de registro dos potenciais elétricos gerados pelos músculos e oferece parâmetros de avaliação do comportamento do sistema muscular e do controle motor (MERLETTI; PARKER, 2004; ZHOU; RYMER, 2004).

O estudo da atividade muscular é uma ferramenta de extrema importância para analisar o estado saudável da musculatura ou alterações causadas por patologias, sendo muito utilizado atualmente para auxílio em diagnósticos, estudos biomecânicos, na análise de padrões de recrutamento muscular em determinadas tarefas como na marcha, podendo ainda ser aplicado na reabilitação com funções de biofeedback para apoio ao reaprendizado motor e ganho de força (AMADIO; DUARTE, 1996).

O sinal mioelétrico é o registro dos potenciais de ação produzidos durante a contração muscular. O potencial de ação de uma unidade motora (PAUM) representa a somação temporal e espacial dos potenciais de ação individuais de todas as fibras de uma unidade motora (UM)(DE LUCA, C. J., 1979). A Figura 8representa os potenciais de ação das fibras musculares de uma UM gerando os sinais elétricos individuais e a somação representados do lado direito.

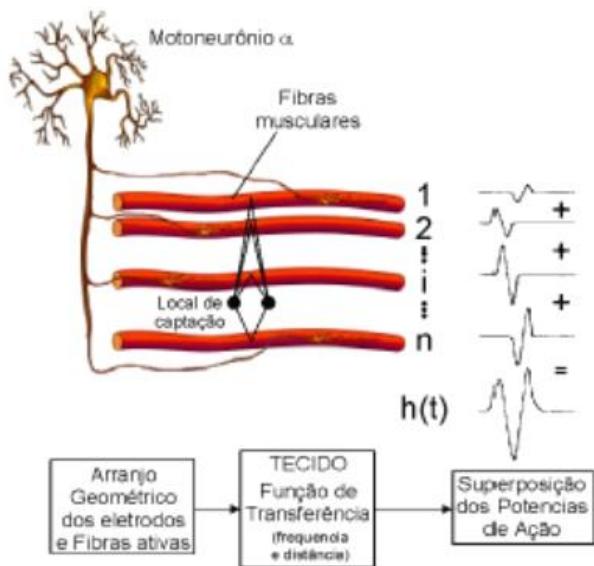


Figura 8: Representação esquemática da geração do potencial de ação de uma unidade motora, captado por dois eletrodos. Adaptação do artigo original de De Luca, 1979, retirada de (TAKAHASHI, 2006).

O eletrodo capta a soma de vários PAUMs que, devido a estímulos sequenciais de disparo advindos do SN, resultam em trens de potenciais de ação (TPAUMs). Essa sucessão de estímulos permite a manutenção da contração do músculo. A Figura 9 ilustra o modelo fisiológico esquemático da geração e captação do sinal EMG.

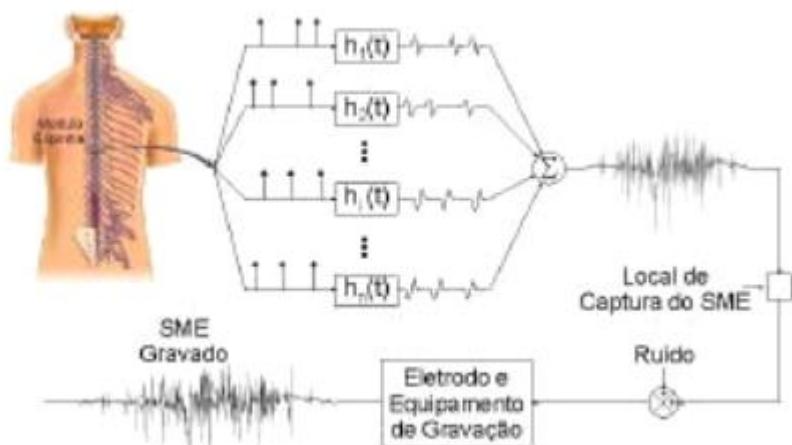


Figura 9 Representação esquemática da geração do sinal mioelétrico. Adaptação do artigo original de De Luca, 1979, retirada de (TAKAHASHI, 2006).

A captação do sinal depende de diversos fatores, como as propriedades anatômicas e fisiológicas e as características da instrumentação usada na coleta. Dentre os fatores que

podem interferir nas características do sinal, podemos citar fatores intrínsecos, como o diâmetro e o número de fibras musculares, o número de unidades motoras ativas, a velocidade de condução o fluxo sanguíneo no músculo, a taxa de disparo das unidades motoras, a distância entre a pele e as fibras musculares ativas, entre outros. Dentre os fatores extrínsecos podemos citar as características da instrumentação como o tipo de eletrodo, posicionamento dos eletrodos, preparação da pele, software de aquisição e demais equipamentos utilizados no processo (DE LUCA, C., 2006).

Existem dois métodos principais para avaliações eletromiográficas: Eletromiografia invasiva (EMGi) e eletromiografia de superfície (EMGs).

A técnica de EMGi permite a captação de sinais mais localizados da musculatura e permite avaliar músculos profundos e pequenos. No entanto é uma técnica invasiva, podendo gerar alguns desconfortos e apresentar alguns inconvenientes, como a necessidade de esterilização do material, perigo da quebra dos fios dentro do músculo e difícil repetibilidade. E ainda, a dor gerada pode aumentar a espasticidade do músculo (TAKAHASHI, 2006).

A EMGs, por sua vez, é uma técnica de fácil aplicação, pois a captação ocorre na superfície da pele. Os eletrodos utilizados podem ser de dois tipos distintos: eletrodos ativos com amplificador diferencial - essa configuração tem a vantagem de diminuir os artefatos e ruídos comuns; e eletrodos passivos, que não possuem amplificador acoplado e requerem uma extensiva preparação da pele para garantir boa razão sinal/ruído. Nas análises atuais, há uma tendência de utilização de eletrodos de superfície bipolares, sendo necessários três pontos de detecção, dois posicionados no músculo almejado, diferenciados em relação a uma referência-terceiro eletrodo (DE LUCA, C., 2006).

Os sinais EMGs propiciam uma visão mais global dos processos musculares, sendo muito úteis em uma grande variedade de estudos. Contudo, o sinal coletado pode apresentar cross-talking associado à atividade de músculos adjacentes e não permite avaliar isoladamente atividade das musculaturas profundas (DE LUCA, C., 2006). Entretanto, a cuidadosa localização dos eletrodos pode reduzir ou quase eliminar a possibilidade de cross-talking. Segundo estudos na literatura, o melhor posicionamento dos eletrodos de captação sobre o músculo é entre o ponto motor e a junção miotendinosa, além disso, ambos os eletrodos devem ser posicionados sobre as mesmas fibras musculares (DE LUCA, C. J., 1997).

O sinal EMG pode ser analisado no domínio do tempo e no domínio da frequência. A análise no domínio do tempo exibe principalmente o padrão de atividade muscular durante a contração e serve de referência para a comparação entre diferentes tipos de contração e

fornecer parâmetros associados à amplitude do sinal (DE LUCA, C. J., 1997). Em muitos casos, como na comparação entre populações distintas e até entre coletas realizadas em momentos distintos, é crucial a normalização do sinal (ERVILHA; DUARTE; AMADIO, 1998). A análise no domínio da frequência permite extrair informações sobre o conteúdo espectral do sinal. Tais parâmetros podem permitir, por exemplo, avaliações sobre a velocidade de condução das fibras musculares, sobre o recrutamento de UMs e fadiga muscular (DE LUCA, C. J., 1997).

### **4.3.1 Eletromiografia em Lesões Nervosas Periféricas**

---

#### **i. Eletromiografia Invasiva**

A eletromiografia e o exame de condução nervosa são frequentemente usados para diagnóstico e acompanhamento da evolução fisiológica funcional de lesões que acometem o SNP. Na literatura são comuns trabalhos de pesquisa que utilizam a avaliação por eletrodiagnóstico, suportada na eletromiografia invasiva (BERGQUIST; HAMMERT, 2013; BSTEH et al., 2013; CAMPBELL, 2008; CIARAMITARO et al., 2010; COLLIN et al., 2014; DALLA TOFFOLA et al., 2012; DIMBERG, 2012; KANE; OWARE, 2012; MONDELLI et al., 2005; NEAL; FIELDS, 2010; WILLMOTT et al., 2012; XUE et al., 2011).

Na desnervação, os músculos apresentam potenciais espontâneos elétricos anormais, denominados fibrilações e ondas agudas positivas. Tais fenômenos são comuns entre 7–10 dias e 3–4 semanas após a LNP. A fibrilação costuma prevalecer, mesmo que em menor frequência, até um ano após a lesão (FREEDMAN et al., 2012; RASHEED et al., 2008).

Willmott e colaboradores (2012) fizeram uma revisão da literatura, analisando estudos em animais e estudos de relato de casos em seres humanos de quase todo o último século, para um parecer sobre a prática clínica na análise dos potenciais de fibrilação em casos de desnervação muscular. Os autores afirmam que potenciais de fibrilação e ondas agudas positivas são características que determinam o tipo e o prognóstico das lesões nos nervos periféricos e ainda auxiliam na diferenciação entre neuropatias ou lesões axonais mais graves (WILLMOTT et al., 2012).

Rasheed e colaboradores (2008) buscaram definir o fator etiológico mais comum causador da lesão do nervo radial. Para o diagnóstico, utilizaram a EMG com eletrodos concêntricos de agulha, e analisaram as características de atividade involuntária, como as

fibrilações e ondas agudas positivas. O estudo de condução nervosa foi feito usando ainda eletrodos de superfície, analisando a velocidade de condução, as latências e amplitude das respostas aos estímulos. Em um grupo heterogêneo de 100 pacientes com idade média de 28,6 (17 – 34) anos, por meio do diagnóstico com EMGi e de condução nervosa, foi possível diagnosticar o nível e o tipo da lesão. Desses parâmetros, constatou-se, quanto ao nível da lesão, que 2% não tiveram lesão nervosa, 85% apresentaram lesão do nervo radial no nível do antebraço, 9% no nervo interósseo e 4% nos ramos superficiais do nervo radial. Quanto ao tipo de lesão, 38% apresentaram Neuropraxia, 44% Axôniotmese e 16% Neurotmese. Por fim, observou-se que a causa mais comum da lesão do nervo radial foi por ferimento de armas de fogo, seguido de fratura de úmero nesse estudo especificamente (RASHEED et al., 2008).

Como citado, estudos com EMGi são utilizados nos casos de desnervação, principalmente na fase de diagnóstico na detecção característica de fibrilações (WILLMOTT et al., 2012). No entanto, mesmo após a reabilitação, os pacientes podem permanecer com sequelas. Segundo Dauble e colaboradores (2009), avaliando sujeitos via EMGi, os músculos afetados ainda podem apresentar características patológicas, como as descargas complexas repetitivas e potenciais de ação de longa duração, mesmo na fase crônica (DAUBE; RUBIN, 2009).

## ii. Eletromiografia de Superfície

Estudos que se baseiam em EMGs em biomecânica, por exemplo, analisam principalmente o início da contração muscular para determinar a ação dos músculos em determinadas tarefas, a relação do sinal com a força exercida e até mesmo a fadiga durante dadas atividades. Nesses estudos, o EMGs apresenta uma grande vantagem em relação ao EMGi, pois possibilitam o estudo dos segmentos do sistema musculoesquelético de forma global (DE LUCA, CARLO J, 1997).

Alguns trabalhos na literatura referenciam o uso da EMGs para análise da atividade muscular dos músculos pós-LNP (CHIBA; ECHIGO, 2012; DIAS; RIBEIRO, 2009; MCGARVEY et al., 2013a; MCGARVEY et al., 2013b).

Dias e Ribeiro (2009), no estudo que desenvolveram com sujeitos acometidos por linfadenectomia axilar, que provoca neuropraxia, e com a finalidade de analisar o aumento da atividade mioelétrica entre o período pré-operatório e 3, 12 meses após a intervenção cirúrgica, fizeram a análise de EMGs dos músculos serrátil anterior, trapézio superior e deltoide médio. Adotaram como parâmetro de comparação no domínio do tempo os valores

de RMS e constataram um aumento da atividade muscular, exceto para o serrátil, entre o período pré-operatório e 3 meses após a cirurgia (DIAS; RIBEIRO, 2009).

Chiba e Echigo (2012), usaram o EMGs apenas para auxiliar no diagnóstico de uma suspeita de neuropatia trigeminal em um estudo de caso. Baseados em parâmetros de amplitude, avaliaram os valores de RMS no trabalho muscular do músculo temporal e músculo masseter, bilateralmente. Constatou-se que voluntário não possuía trabalho muscular do lado esquerdo, com diagnóstico confirmado por ressonância magnética (CHIBA; ECHIGO, 2012).

McGarvey e colaboradores (2013), avaliam a dinâmica dos músculos responsáveis pelo movimento do ombro em pacientes pós-lesão do nervo acessório. Além de avaliar o lado acometido pela LNP, avaliam também o lado saudável e ainda comparam os resultados com indivíduos saudáveis, fazendo avaliações nos dois membros superiores e comparando o lado dominante e o lado não dominante. A análise se baseou nos valores de RMS do sinal EMGs e os resultados mostram a diferença entre os grupos saudável e lesionados. Os autores apontam algumas limitações no estudo do EMGs, devido a poucas referência na literatura e no protocolo experimental, associadas à dificuldades no posicionamento dos eletrodos devido a variações anatômicas; diferenças entre composição da fibra muscular e tecido adiposo entre os indivíduos; complicações para avaliação da execução de exercícios dinâmicos, que poderiam ter causado fadiga; e o acometimento patológico distinto entre sujeitos, com alguns pacientes reportando sensações dolorosas. Mas, ainda assim, afirmam que a avaliação da EMGs, foi positiva e pode ser aplicada adequadamente para avaliação da musculatura em uma fase crônica pós-lesão (MCGARVEY et al., 2013a).

O presente estudo utiliza a ferramenta de EMGs para avaliar os voluntários e comparar as características da atividade muscular dos indivíduos pós lesão nervosa periférica e dos voluntários que não sofreram lesão. Como a literatura a investigação objetiva avaliação de possíveis mudanças nas características da atividade muscular que possam justificar a permanência de tais sequelas. Os participantes deste estudo sofreram lesão do nervo radial, afetando a motricidade dos músculos da parte posterior do antebraço, são responsáveis pela extensão do punho e dedos. Para a análise da atividade, foram extraídos do sinal EMGs, características no domínio do tempo e no domínio da frequência, para comparação com os sujeitos normais.

## Materiais e Métodos

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Uberlândia – Uberlândia MG (BIOLAB/UFU) em conjunto com pesquisadores do Laboratório de Biomecânica e Controle Motordo Departamento de Fisioterapia Aplicada da Universidade Federal do Triângulo Mineiro – Uberaba MG (LABCOM/UFTM). A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética da Universidade Federal do Triângulo Mineiro sob o protocolo número 2713.

### 5.1 Sujetos

Participaram dessa pesquisa um total de 26 voluntários, sendo 6 voluntários com lesão unilateral do nervo radial, que sofreram comprometimento das funções de extensão do punho e 20 voluntários sem lesões neuromusculares nos MMSS. As coletas foram realizadas em ambos os centros de pesquisa BioLab/UFU e LABCOM/UFTM.Os participantes foram informados antes das avaliações sobre os procedimentos do estudo e assinaram um termo livre e esclarecido.

Para o grupo dos voluntários que sofreram LNP (grupo com lesão - GCL), os critérios de inclusão adotados foram:

- lesão unilateral do nervo radial ao nível do úmero;
- tipo de lesão classificada como Neuropraxia ou Axônioptese;
- submissão a tratamento de reabilitação fisioterapêutica.

O relato de dor na realização do movimento nas contrações voluntárias durante o experimento foi adotado como critério de exclusão para o grupo de pacientes com LNP.

Nesse grupo, um dos pacientes foi excluído por relatar dor no momento da tarefa, e outro voluntário foi excluído por problemas na coleta, restando 4 voluntários compondo o grupo dos voluntários que sofreram LNP.

No grupo controle sem LNP (grupo sem lesão - GSL), os 20 voluntários foram subdivididos em 2 grupos segundo o gênero: 10 Homens (GSL\_H) e 10 Mulheres (GSL\_M).

Os critérios de inclusão para o GSL:

- idade acima de 18 anos;
- não ter histórico de doenças nervosas traumáticas ou degenerativas nos MMSS.

O relato de dor ou desconforto na realização do movimento nas contrações voluntárias durante o experimento foi adotado como critério de exclusão para o grupo de pacientes sem LNP.

Os pacientes pós LNP foram recrutados mesmo após alta do tratamento fisioterapêutico. Todos participaram direta ou indiretamente de um programa de extensão realizado no LABCOM/UFTM. Como a amostra de pacientes com lesão, composta por 4 voluntários, é reduzida e heterogênea, neste trabalho optou-se pela avaliação individual de cada um e, posteriormente segue-se uma discussão mais global dos achados.

## 5.2 Instrumentação

---

Para a coleta dos sinais de eletromiografia, foi utilizado o equipamento Myosystem Br1\_P84® da empresa Datahominis Tecnologia Ltda (Figura 10), o equipamento possui 8 canais de eletromiografia e 4 canais auxiliares, com razão de rejeição de modo comum de 92dB, resolução A/D de 16 bits e configurações programáveis, tais como ganho total, frequência de corte do filtro passa-baixa e taxa de amostragem para cada canal. Para a coleta de força de tração foi utilizada uma célula de carga CSA ZL da empresa MK Controle e Instrumentação com capacidade de 20 kgf (Figura 11).



Figura 10: MyosystemBr1-P84, eletrodo de superfície ativo bipolar e eletrodo de referência (DataHominis Tecnologia Ltda).



Figura 11: Célula de Carga CSA ZL da empresa MK Controle e Instrumentação com capacidade de 20 kgf.

Para detecção e quantificação da atividade muscular utilizou-se dois canais de EMG e a célula de carga foi acoplada a um canal auxiliar. O *software* do próprio equipamento foi utilizado para coleta simultânea dos dois sinais EMG e da força de tração.

Os sinais foram condicionados por filtros passa-faixa em 15Hz-1kHz, ganho ajustável para cada canal, dependendo de sua amplitude de entrada, e amostrado a 8kHz. Os eletrodos de superfície ativos bipolares possuíam 10 mm de distância entre as barras de captação (Figura 10) e ganho de 20 vezes.

Para a adaptação da célula de carga foi confeccionada uma haste metálica de forma de T, que permitia a preensão da mão para a efetuação da tarefa. Essa haste metálica foi acoplada a célula de carga e o conjunto adaptado para se fixar em uma mesa confeccionada para o experimento. A Figura 12 ilustra a célula de carga e a haste de preensão acopladas à mesa do experimento.



Figura 12: Célula de Carga e haste metálica em forma de T, acopladas a mesa confeccionada para o experimento.

### 5.3 Protocolo Experimental

---

Para o grupo dos voluntários com lesão (GCL), primeiramente foi realizada a avaliação clínica para análise de força muscular manual dos extensores de punho e funcionalidade domembro superior, essa avaliação foi realizada no LABCOT/UFTM.

A avaliação EMGs de ambos os grupos foi executada no BioLab-UFU, bem como no LABCOT/UFTM pela equipe de pesquisadores.

#### i. Avaliação Clínica

Foram realizados procedimentos comuns de avaliação, como anamnese completa contendo as características da lesão nervosa, o histórico do ocorrido e antecedentes pessoais, bem como foi questionado sobre o tratamento fisioterapêutico realizado. No exame físico, foi feita a inspeção do trofismo muscular do antebraço, palpação de partes ósseas, partes moles e palpação da cicatriz para verificar aderência. A goniometria foi utilizada para avaliar a ADM, e realizada para os segmentos do cotovelo e punho.

Apesar dos vários levantamentos, daremos destaque àqueles com maior correlação com os propósitos desta pesquisa, a saber: os testes para avaliação de força e de funcionalidade.

- Teste de força instrumental de preensão palmar com dinamômetro: foi utilizado um dinamômetro da marca Jamar®; o teste foi realizado com o voluntário sentado, mantendo o

ombro em posição neutra, cotovelo em 90° e antebraço em posição neutra; foram realizadas três preensões e registrado o valor média das mesmas.

- Teste manual de força muscular para os músculos do compartimento posterior do antebraço, extensor radial do carpo (ERC) e extensor ulnar do carpo (EUC): O teste foi realizado com o voluntário sentado com cotovelo em 90° apoiando o antebraço em uma mesa, o avaliador para testar o ERC, solicitava que o voluntário realizasse uma extensão de punho com desvio radial contra uma força de resistência e para testar o EUC, realizava a extensão de punho com desvio ulnar contra a força de resistência imposta pelo avaliador.
- Questionário de avaliação funcional DASH: questionário constituído por 30 questões auto-aplicáveis e dois módulos opcionais, sendo um para atividades esportivas e musicais e outro para atividades de trabalho. A pontuação do questionário varia de 0 – 100, sendo que, maiores valores percentuais correspondem a mais problemas de funcionalidade.

## ii. Avaliação EMGs

Para avaliação dos músculos inervados pelo Nervo Radial, do compartimento posterior do antebraço, foram selecionados o m. extensor radial longo do carpo e m. extensor radial curto do carpo, devido a posição anatômica, o eletrodo de superfície capta a atividade de ambos os músculos, sendo que esses serão referenciados no texto como m. extensor radial do carpo (ERC) e avaliação do m. extensor ulnar do carpo (EUC). Os eletrodos ativos de superfície foram posicionados sobre os músculos após a devida abrasão e limpeza do local (Figura 13). Para o posicionamento na musculatura, foi solicitado ao voluntário que, contra uma resistência máxima imposta pelo avaliador, realizasse extensão de punho com desvio radial, para posicionar o eletrodo no ERC, e extensão com desvio ulnar, para posicionamento do eletrodo no EUC. O eletrodo de referência foi posicionado no maléolo lateral. Após o posicionamento dos eletrodos, os diversos parâmetros do software de captação foram ajustados (ganho,etc).

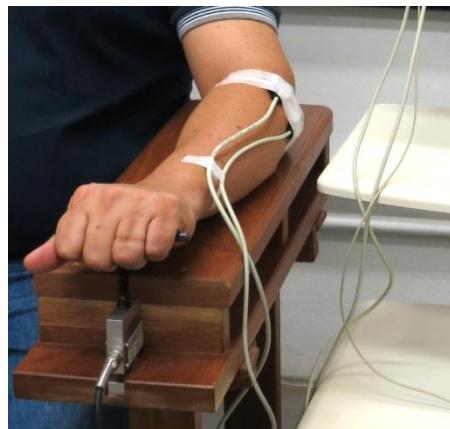


Figura 13: Posicionamento dos eletrodos ativos nos músculos do antebraço.

Inicialmente os voluntários se mantiveram sentados em frente a uma mesa, com o apoio do antebraço e realizaram a contração isométrica voluntária máxima (CIVM) de extensão de punho, tracionando a célula de carga que estava adequadamente acoplada a haste metálica em forma de T, para a adaptação à preensão da mão, fixa a uma superfície rígida, como ilustrado na Figura 14.



Figura 14: Voluntário realizando CIVM de extensão de punho.

A fim de avaliar a atividade máxima dos músculos ERC e EUC, a tarefa de extensão neutra do punho foi realizada durante 55 segundos e consistiu de 3 momentos de 5 segundos

de contração isométrica voluntária máxima (CIVM) intercaladas por 10 segundos de relaxamento. A atividade foi realizada para ambos os membros superiores. Toda a tarefa experimental foi guiada por um áudio indicando os momentos de contração e o repouso.

## 5.4 Análise de dados

---

Os sinais EMG foram processados *off-line* por meio de um aplicativo Matlab® desenvolvido no BioLab-UFU. O software (Figura 15) permite a delimitação das janelas de processamento (seleção automática de cada uma das contrações) e o cálculo das características (Root Mean Square – RMS, Frequência Média – FM, e Frequência Mediana - FMD) de cada uma das contrações, bem como os valores médios das 3 contrações de um dado músculo. Para tal, basta seguir os seguintes passos:

- a. Selecionar a pasta com os arquivos em formato .txt gerados pelo MyosystemBr1-P84;
- b. Selecionar o arquivo a ser processado – contendo uma avaliação de um sujeito;
- c. Definir o uso, ou não, de filtros digitais para eliminar artefatos de baixa e alta frequência, bem como de 60Hz. Para o canal da célula de carga pode ser aplicado um filtro passa-baixa de 20 Hz para eliminação de artefatos de alta frequência;
- d. Selecionar o canal do EMG que será usado como referência para a detecção do *onset* das contrações, para o janelamento de todas as contrações no canal selecionado e nos demais canais, inclusive o canal auxiliar da célula de carga;
- e. Solicitar a detecção automática do *onset* das contrações. Uma vez detectadas, o software automaticamente define as janelas de processamento de cada contração em 3 segundos, excluindo-se o primeiro 0,5 segundo;
- f. Solicitar os cálculos das características para cada janela e suas médias para cada sinal (Processar);
- g. Após o processamento os dados são expostos em uma tabela, que pode ser exportada para uma planilha excel, para estruturação e posterior análise.

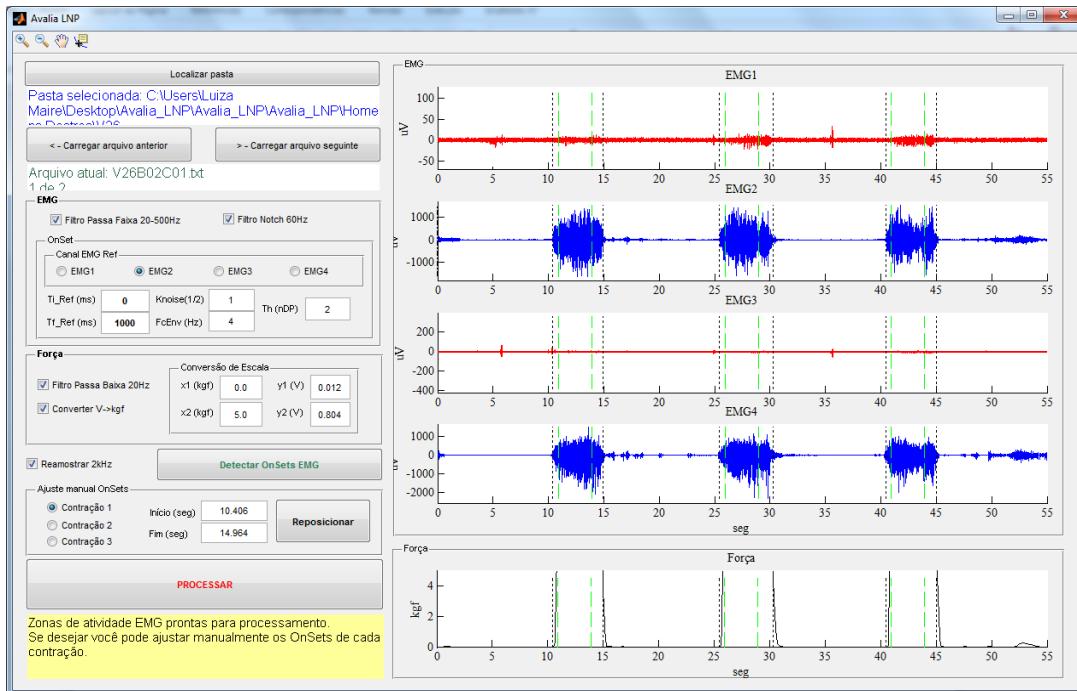


Figura 15: Aplicativo de software desenvolvido para cálculo automáticos das características dos sinais EMGs.

A opção por parâmetros associados às variações de amplitude (RMS) e de frequência (FM e FMD) nos permitem observar diversas características dos sinais EMG correlacionadas a acontecimentos fisiológicos. No EMGs é facilmente observado em condições normais que há um aumento progressivo da atividade das amplitudes exercida força progressiva, sugerindo um aumento do recrutamento e/ou do aumento da frequência de disparo de UMs. Na relação entre o sinal EMG e a força, existem indícios de uma relação linear. Mas esta relação é dependente de uma série de fatores, como o posicionamento do eletrodo, espessura da camada adiposa do sujeito, inclinação das fibras musculares, velocidade de condução das fibras e métodos experimentais individuais (DE LUCA, CARLO J, 1997; MERLETTI; PARKER, 2004). Por outro lado, análises no domínio da frequência nos permitem avaliar questões como fadiga muscular e até, conforme descrito em trabalho recente no BioLab-UFU (FREITAS, A. M., 2015) diferenças nos sinais EMG causadas por proporções distintas de tipos de fibras nas musculaturas.

## 5.5 Análise Estatística

Conforme descrito anteriormente, o grupo de voluntários com lesão apresenta características muito distintas. Assim, decidiu-se avaliar as características de cada um deles

individualmente e, posteriormente, compará-los aos sujeitos do grupo sem lesão, mais homogêneos, permitindo análises estatísticas fidedignas.

Comparação grupo SL: as comparações foram feitas considerando a subdivisão do GSL, primeiramente em Grupo de Homens e Grupo de Mulheres, analisando as diferenças entre membro dominante *versus* membro não dominante intergrupo. Posteriormente, os sujeitos do GLS serão avaliados comparando-se os grupos homens *versus* mulheres. Para tal, o teste de normalidade Shapiro-Wilk será aplicado para averiguar se as amostras seguem uma distribuição normal e, caso afirmativo, o teste t para amostras independentes será utilizado. Para amostras que não apresentaram distribuição normal, foi utilizado Wilcoxon para amostras independentes. Ambos os testes objetivam avaliar as diferenças entre os grupos considerando o valor de  $p = 0,05$ .

Comparação entre grupos: Se as variações entre o membro de dominância e o gênero não apontarem diferenças estatísticas. A comparação entre os grupos foi feita avaliando o membro hígido do grupo SL com o membro lesionado do grupo CL. Aplicando o teste de normalidade Shapiro-Wilk, caso as amostras sigam uma distribuição normal, o teste t para amostras independentes será utilizado. Para amostras que não apresentaram uma distribuição normal, será utilizado o teste não paramétrico Wilcoxon para amostras independentes com intervalo de 95% de confiança.

## Resultados

**O**s voluntários que sofreram LNP do nervo radial tiveram principalmente acometimento da musculatura dos MMSS, responsáveis pela extensão do punho, dedos e do polegar. As avaliações tiveram como principal objetivo analisar características dos sinais EMGs destes sujeitos e confrontá-las com as obtidas de um grupo de voluntários não lesionados. Para tal, diversas análises foram propostas e os resultados são apresentados a seguir. Os dados são apresentados a partir da análise qualitativa fisioterapêutica e da análise quantitativa por meio da Eletromiografia.

### 6.1 Sujeitos

Participaram dessa pesquisa 24 sujeitos, sendo 4 voluntários que sofreram LNP formando o Grupo Com Lesão (GCL) e 20 sujeitos sem histórico de lesões neuromusculares nos MMSS. Os sujeitos sem lesão (GSL) foram agrupados de acordo com o gênero, formando dois subgrupos: Grupo Sem Lesão de Homens (GLS\_H, n = 10) e Grupo Sem Lesão de Mulheres (GSL\_M, n = 10). A Tabela 2 apresenta as características dos quatro voluntários que sofreram LNP.

Tabela 2: Características dos voluntários do GCL.

Grupo *Com Lesão*

Voluntário	Gênero	Idade	Dominância	Lado da Lesão	Tempo de Lesão
1	M	30	D	E	8 meses
2	M	48	D	D	2 anos e 7 meses
3	M	33	D	E	2 anos e 10 meses
4	F	67	D	D	3 anos e 10 meses

M: Masculino; F: Feminino; D: Direita; E: Esquerda.

O voluntário 1 do sexo masculino com 30 anos de idade, com dominância à direita, sofreu a lesão do nervo radial no membro superior esquerdo/não dominante, há 8 meses. Esse voluntário ainda estava em tratamento fisioterapêutico no momento de realização deste estudo. É praticante de montaria em touros, um esporte que exige muito da musculatura do antebraço. E ainda, o mesmo encontra-se em recuperação após sua segunda lesão nervosa no mesmo membro.

O voluntário 2 do sexo masculino com 48 anos de idade, com dominância à direita, sofreu lesão no membro direito/dominante há 2 anos e 7 meses e exerce a profissão de motorista de caminhão.

O voluntário 3 do sexo masculino com 33 anos de idade, têm o membro direito como o membro de dominância, sofreu lesão no membro superior esquerdo/não dominante a 2 anos e 10 meses e trabalha como vendedor.

O voluntário 4 do sexo feminino, tem 67 anos de idade, dominância à direita, sofreu LNP no membro direito/dominante há 3 anos e 10 meses e exerce atividades no lar. Dentre todos os sujeitos do GCL é a única mulher, com idade acima dos demais voluntários e o maior tempo pós-lesão.

As Tabelas 3 e 4 apresentam as características dos indivíduos dos grupos GSL\_He e GSL\_M, respectivamente.

Tabela 3: Características dos indivíduos do grupo controle masculino.

Grupo <i>Sem Lesão Homens</i>		
Voluntário	Idade	Dominância
1	25	D
2	26	D
3	30	D
4	43	D
5	24	D
6	30	E
7	30	E
8	35	E
9	32	E
10	31	E

M: Masculino; D: Direito; E: Esquerdo.

Tabela 4: Características dos indivíduos do grupo controle feminino.

**Grupo *Sem Lesão Mulheres***

Voluntário	Idade	Dominância
1	28	D
2	26	D
3	26	D
4	57	D
5	51	D
6	47	E
7	27	E
8	35	E
9	29	E
10	27	E

F: Feminino; D: Direito; E: Esquerdo.

O grupo de homens sem lesão possui média de idade de 30,6 ( $\pm 5,50$ ) anos, desses, 5 têm o membro direito como membro dominante e 5 têm dominância esquerda. O grupo sem lesão de mulheres, com média etária de 35,3 ( $\pm 11,82$ ) anos, possui 5 indivíduos com dominância no membro direito e 5 no esquerdo.

## 6.2 Avaliação Clínica

---

Apesar da avaliação clínica ter sido completa, o objetivo dessa pesquisa é avaliar a aptidão motora dos voluntários e por esse motivo serão apresentados apenas os resultados de interesse, como a força e o teste de funcionalidade. Assim, a Tabela 5 apresenta os resultados do teste de dinamometria, teste manual de força muscular e do questionário de avaliação da funcionalidade DASH dos voluntários do GCL.

Tabela 5: Resultados dos testes de dinamometria, força muscular e de funcionalidade (DASH) do GCL.

Voluntário	Dinamometria [kgf]		Teste Manual de Força Muscular				DASH [%]
	Membro _L	Membro _NL	Membro _L	Membro _NL	Membro _L	Membro _NL	
1	15	40	4	5	5	5	7,5
2	47	48	5	5	5	5	33,3
3	36	42	4	5	5	5	8,3
4	8	13	5	5	5	5	20

\_L: Lesionado; \_NL: Não Lesionado.

A descrição dos resultados da avaliação clínica será feita individualmente para cada voluntário com lesão, levando em consideração o lado da lesão do voluntário, expondo as resultantes dos dois testes de força, Dinamometria e Teste Manual de Força Muscular, separando os MMSS em membro lesionado e membro não lesionado. O teste de funcionalidade DASH à direita na tabela representa a somatória em porcentagem do resultado do questionário.

O voluntário 1 sofreu a lesão no membro superior esquerdo/não dominante há oito meses. Na análise do teste de dinamometria o mesmo apresenta menor força de preensão no membro lesionado (não dominante). No teste manual de força apresentou grau 4 para o músculo ERC no membro lesionado. Os valores percentuais do teste de funcionalidade são baixos, apenas 7,5, o menor resultado dentre os outros voluntários (quanto maiores os valores resultantes do teste, maiores são as dificuldades que o entrevistado enfrenta nas atividades de vida diária).

O voluntário 2 sofreu lesão no membro direito/dominante há 2 anos e 9 meses. Na avaliação com dinamômetro a diferença entre os membros superiores é quase insignificante, como também no teste de força manual o desempenho foi satisfatório para todas as avaliações dos dois músculos. No entanto no teste de funcionalidade a resultante de 33,3 é a mais alta, quando comparada com os demais voluntários. Tal resultado indica que o sujeito apresenta dificuldades na execução de algumas atividades de vida diária.

O voluntário 3 sofreu lesão no membro superior esquerdo/não dominante, apresenta uma diferença mínima entre os membros superiores no teste de preensão, mas levando em consideração que o membro lesionado foi o membro não dominante, esse é um resultado esperado. No teste de força manual obteve uma classificação 4 para o músculo ERC. No teste de funcionalidade, a resultante de 8,3 é baixa, indicando pouca dificuldade nas atividades do dia-a-dia.

O voluntário 4 possui o maior tempo pós-lesão, 3 anos e 10 meses, do membro direito/dominante, é do gênero feminino e possui maior idade de 67 anos. No teste de dinamometria V4 apresenta menor valor de preensão no membro lesionado, enquanto que no teste manual de força não apresenta diferença entre os membros superiores. No teste de funcionalidade apresenta um valor intermediário de 20%.

Como se nota, o teste de funcionalidade DASH foi o que apresentou valores mais distintos entre os sujeitos. Os valores percentuais dos voluntários 2 e 4 são altos, significando que existem dificuldades na execução das AVD's, já para os voluntários 1 e 3, os

valores DASH foram baixos, indicando pouca ou nenhuma dificuldade para realização de suas tarefas da vida diária, provavelmente devido ao fato de que a lesão ocorreu no membro não dominante.

### 6.3 Eletromiografia

A avaliação experimental por eletromiografia foi realizada para ambos os grupos experimentais com o intuito de comparar a atividade muscular entre os voluntários com lesão e os voluntários sem lesão. A exposição dos resultados da EMG será feita em três etapas, primeiro os resultados apenas para os voluntários do GCL, seguido dos resultados para o GSL e finalmente a comparação entre os grupos.

As coletas de EMG dos músculos extensorradial do carpo e extensor ulnar do carpo foram feitas realizando o movimento de extensão de punho em força máxima enquanto o voluntário tracionava uma haste conectada a uma célula de carga. A captação do sinal mioelétrico foi feita simultaneamente com a coleta de força, pelo software do eletromiógrafo. A Figura 16 representa uma coleta de 55 segundos, destacando a execução das três contrações intercaladas por períodos de relaxamento.

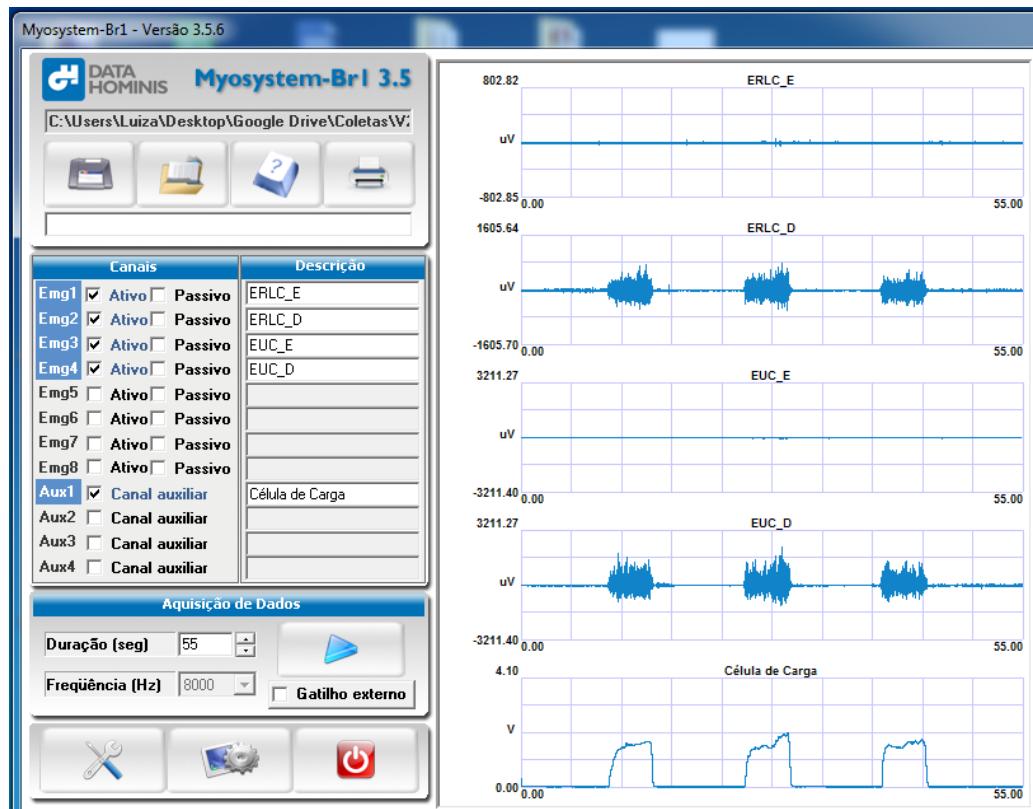


Figura 16: Software de captura dos sinais se EMG. Captação simultânea da atividade muscular e da força.

Os resultados dos músculos avaliados serão apresentados separadamente, e na ordem de apresentação das características extraídas, primeiro a características no domínio do tempo (RMS) e depois as características no domínio da frequência (FM e FMD).

### 6.3.1 Grupo Com Lesão

---

Os valores de RMS e de força estão plotados nas figuras a seguir. Como a execução do movimento solicitado aos voluntários foi uma extensão neutra de punho, o valor da força exercida pode ser considerado a mesma para ambos os músculos. Os valores de RMS do músculo Extensor Radial do Carpo são apresentados na Figura 17 e os do músculo Extensor Ulnar do Carpo estão representados na Figura 18.

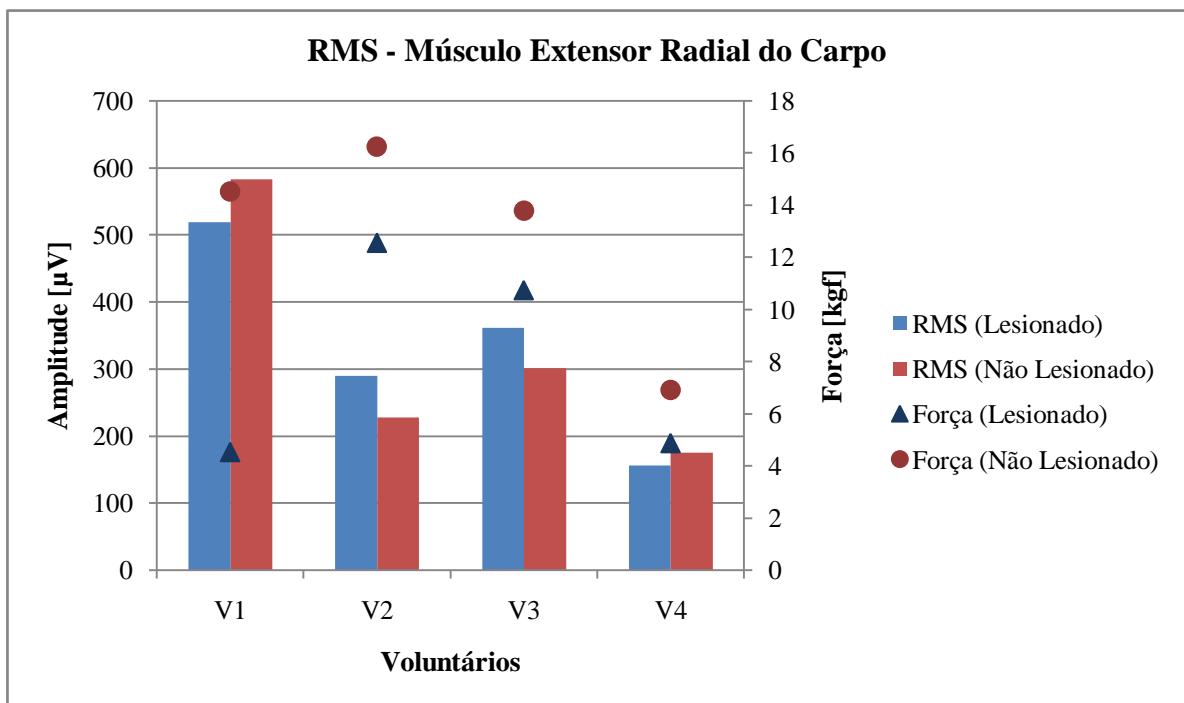


Figura 17: Valores de RMS e força para os voluntários do GCL. O eixo vertical à esquerda representa em  $\mu\text{V}$  os valores correspondentes ao RMS e o eixo vertical à direita representa os valores em kgf da força de tração exercida na célula de carga. Os valores são representados para o membro lesionado e para o membro não lesionado.

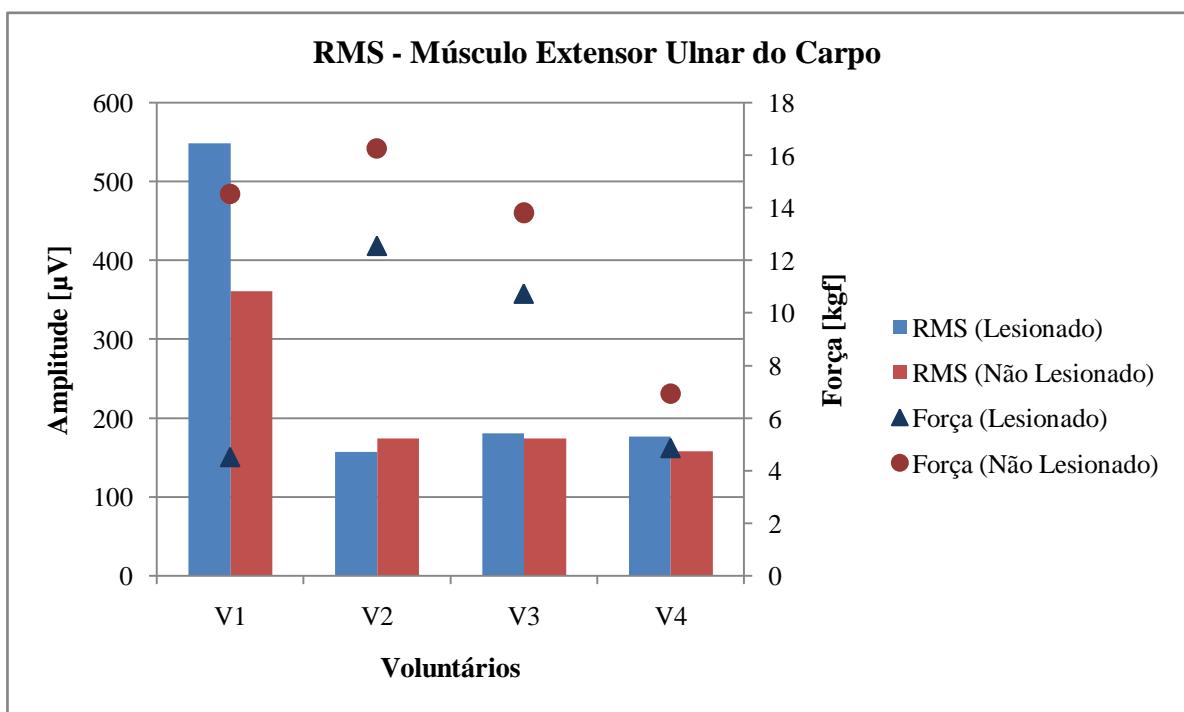


Figura 18: Representação dos valores de RMS para o m. EUC e valores de força de tração, para os voluntários do GCL. O eixo vertical à esquerda representa os valores em  $\mu\text{V}$  do RMS e o eixo vertical à direita representa os valores em kgf da força de tração na célula de carga.

Na execução do movimento o músculo ERC apresentou maiores valores de RMS do que o EUC. Os valores de RMS para ambos os músculos é variável e não seguem um padrão de acordo com o lado da lesão ou com o lado de dominância dos MMSS. O voluntário 1 apresentou valores exacerbantes e bem altos de RMS em relação aos demais voluntários para ambos os músculos, possivelmente devido à sua atividade esportista ou pela fase da lesão. Na representação dos valores de RMS para o músculo Extensor Ulnar do Carpo o V1, apresenta maior amplitude no membro lesionado, enquanto a força de tração exercida é consideravelmente baixa.

O valor de força medido por meio da célula de carga se diferenciou consideravelmente entre os membros, sendo que todos os voluntários apresentaram maiores valores de força no membro sem lesão. É notória essa diferenciação de força na comparação dos membros de acordo com o lado de lesão, independente da dominância. Essas resultantes do teste quantitativo de força com a célula de carga, apresentam uma diferenciação explícita em comparação aos testes quantitativos da avaliação clínica, que não foram eficientes para detectar essa diferença entre os membros superiores.

Os valores de Frequência Média e Frequência Mediana estão descritos nas Figura 19 e Figura 20, representando, respectivamente, os valores para os músculos ERC e EUC.

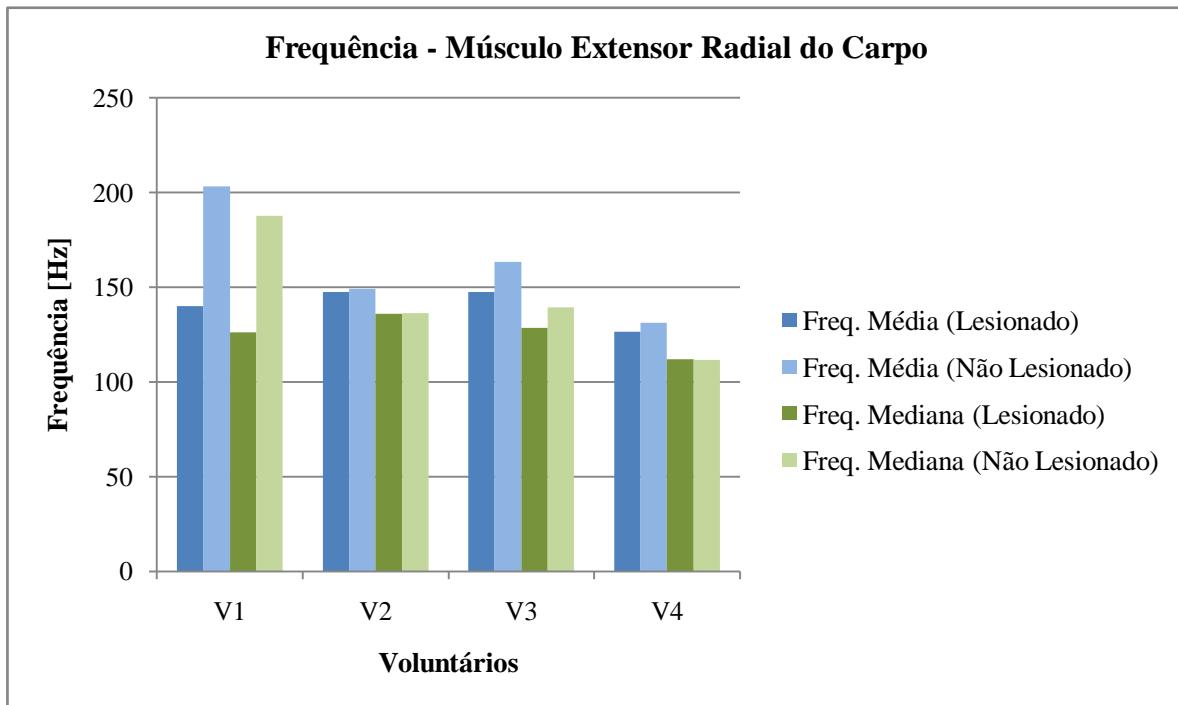


Figura 19: Representação das características no domínio da frequência (FM) e (FMD). Os valores estão representados para os membros superiores, membro lesionado e membro não lesionado, na sequência primeiro valores de Frequência Média seguido dos valores da Frequência Mediana, para os voluntários do GCL.

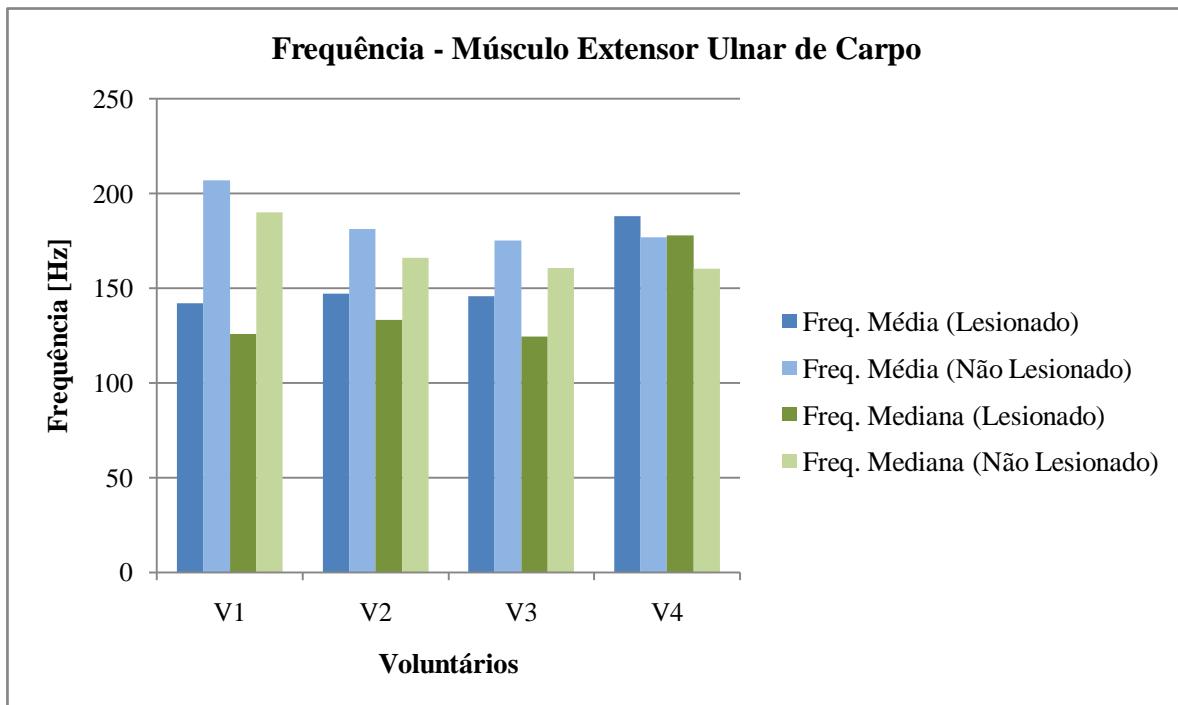


Figura 20: Valores de Frequência Média e Frequência Mediana para o m. EUC, ilustrando os valores para o membro que ocorreu a lesão para o membro contralateral à lesão dos quatro voluntários acometidos pela LNP.

Os valores de frequência média são ligeiramente mais altos que os valores de frequência mediana para ambos os músculos, conforme esperado para o espectro de frequência dos sinais EMG.

Na comparação entre os membros para o músculo Extensor Radial do Carpo, V1, que sofreu a lesão no membro não dominante, apresentou maiores valores de FM e FMD para o membro não lesionado. O V3, que também sofreu lesão no membro não dominante, também apresentou essa mesma tendência, mas a diferenciação do membro não lesionado em relação ao membro lesionado foi menor. V2 e V4 apresentam pouca diferença entre os valores para as musculaturas dos membros superiores.

Na comparação entre os músculos, o Extensor Ulnar do Carpo de todos os voluntários, exceto V4, apresenta maiores valores de FM e FMD para o membro não lesionado. V4 segue uma tendência inversa, apesar das diferenças não serem muito pronunciadas.

### **6.3.2 Grupo Sem Lesão**

---

Os voluntários do GSL foram submetidos a uma única avaliação de EMG. Como, dentro desse grupo, a subdivisão é feita de acordo com o lado de dominância e com o gênero, a análise estatística foi aplicada para verificar a diferenciação intra grupo. Primeiramente foi aplicado o teste estatístico com o intuito de avaliar se haveria diferença entre o membro dominante e o membro não dominante. Como todas as coletas foram realizadas unicamente à máxima contração voluntária, a comparação dos valores de RMS entre os sujeitos não pode ser realizada, uma vez que a necessária normalização resulta em valores RMS normalizados idênticos ou muito próximos, a depender do método de normalização. Assim, os resultados e análises serão focados nas características no domínio da frequência (FM e FMD).

Na Tabela 6 são representados os valores de média e desvio padrão para as características do espectro de frequência para o GSL de homens e na Tabela 7 as características para o GSL de mulheres, comparando o lado dominante e o lado não dominante dos músculos ERC e EUC.

Tabela 6: Valores médios e o desvio padrão das características de frequência (FM e FMD) do GLS\_H, de acordo com a dominância e o p-valor das comparações estatísticas.

Grupo Sem Lesão Homens				
Característica	Músculo Extensor Radial do Carpo		Músculo Extensor Ulnar do Carpo	
	Membro_Dominante	Membro_Não Dominante	Membro_Dominante	Membro_Não Dominante
Frequência				
Média	128,77 ± 29,65	116,38 ± 25,83	123,37 ± 16,90	125,74 ± 19,75
<b>P-valor</b>		0,33		0,43
Frequência				
Mediana	110,99 ± 28,77	97,95 ± 23,27	123,37 ± 16,88	125,74 ± 21,81
<b>P-valor</b>		0,99		0,32

Tabela 7: Médias e desvio padrão dos valores de FM e FMD da comparação estatística para o GLS\_M.

Grupo Sem Lesão Mulheres				
Característica	Músculo Extensor Radial do Carpo		Músculo Extensor Ulnar do Carpo	
	Membro_Dominante	Membro_Não Dominante	Membro_Dominante	Membro_Não Dominante
Frequência				
Média	127,11 ± 28,18	121,66 ± 18,89	151,17 ± 26,48	140,41 ± 22,75
<b>P-valor</b>		0,62		0,34
Frequência				
Mediana	110,15 ± 27,32	102,37 ± 19,41	131,67 ± 29,84	117,73 ± 25,03
<b>P-valor</b>		0,47		0,27

Essa análise estatística foi realizada com o intuito de verificar possíveis diferenças entre os membros superiores, se havia discrepância entre o membro dominante e o membro não dominante, mas, como constatado não houve diferença estatística em nenhuma das situações. Assim, decidiu-se avaliar possíveis diferenças entre GSL\_H e GLS\_M, independente da dominância. A Tabela 8 representa a comparação entre os grupos para o músculo ERC, enquanto a Tabela 9 representa a comparação para músculo EUC.

Tabela 8: Comparação estatística entre o GSL\_H versus GSL\_M, dos valores de frequência para o ERC.

Músculo Extensor Radial do Carpo				
Característica	Membro Dominante		Membro Não Dominante	
	Grupo Homens	Grupo Mulheres	Grupo Homens	Grupo Mulheres
Frequência Média [Hz]	128,77 ± 29,65	127,11 ± 28,18	116,38 ± 25,83	121,66 ± 18,89
<b>P-valor</b>		0,90		0,61
Frequência Mediana [Hz]	110,99 ± 28,77	110,14 ± 27,32	97,95 ± 23,27	102,37 ± 19,41
<b>P-valor</b>		0,95		0,65

Tabela 9: Comparação entre os voluntários o GSL\_H versus GSL\_M, para o EUC.

Característica	Músculo Extensor Ulnar do Carpo			
	Membro Dominante		Membro Não Dominante	
	Grupo Homens	Grupo Mulheres	Grupo Homens	Grupo Mulheres
Frequência Média [Hz]	123,37 ± 16,90	151,17 ± 26,48	125,74 ± 19,75	140,41 ± 22,75
<b>P-valor</b>		0,40		0,37
Frequência Mediana [Hz]	123,37 ± 16,88	131,67 ± 29,84	125,74 ± 21,81	117,73 ± 25,03
<b>P-valor</b>		0,45		0,37

De acordo com os valores de p obtidos, não houve diferença estatisticamente significante em nenhuma das comparações de nenhum dos músculos entre os voluntários de diferentes gêneros. Desta forma, decidiu-se que todos os voluntários podem ser tomados como uma única população, cujas características podem ser utilizadas para, por exemplo, verificar como os sujeitos que sofreram lesão se compararam à uma população de sujeitos não lesionados. A próxima seção se destina então a realizar exatamente tal análise.

### 6.3.3 Comparação entre os Grupos

Como na análise estatística dentro do grupo controle não foi detectada diferença estatística entre os membros superiores de acordo com a dominância e não houve diferença entre os gêneros, todos os valores de FM e FMD do membro dominante e do membro não dominante e de ambos os grupos GSL\_H e GSL\_M foram agupados e formam a média do GSL, que foi comparada estatisticamente com os valores de frequência do membro lesionado dos voluntários do grupo CL. Essa análise foi feita com o intuito de observar se existe diferença entre a atividade muscular entre um membro que sofreu uma lesão do nervo periférico *versus* um membro sem lesão.

O grupamento dos valores extaídos do membro dominante e do membro não dominante dos voluntários hígidos do gênero masculino e do gênero feminino, formam a média do GSL, sendo o total de 40 amostras de atividade muscular dos músculos do antebraço, tanto de voluntários com dominância a direita e com dominância a esquerda. A média do GCL é formada apenas pelos valores de frequência do membro lesionado.

As comparações serão feitas apenas para as características no domínio da frequência, pelos achados conclusivos de Freitas (2015).

Na Figura 21 estão representados os valores frequência média para o músculo ERC e na Figura 22 representados os valores de frequência mediana. Os valores de FM para o músculo EUC estão representados na Figura 23 e os valores de FMD na Figura 24.

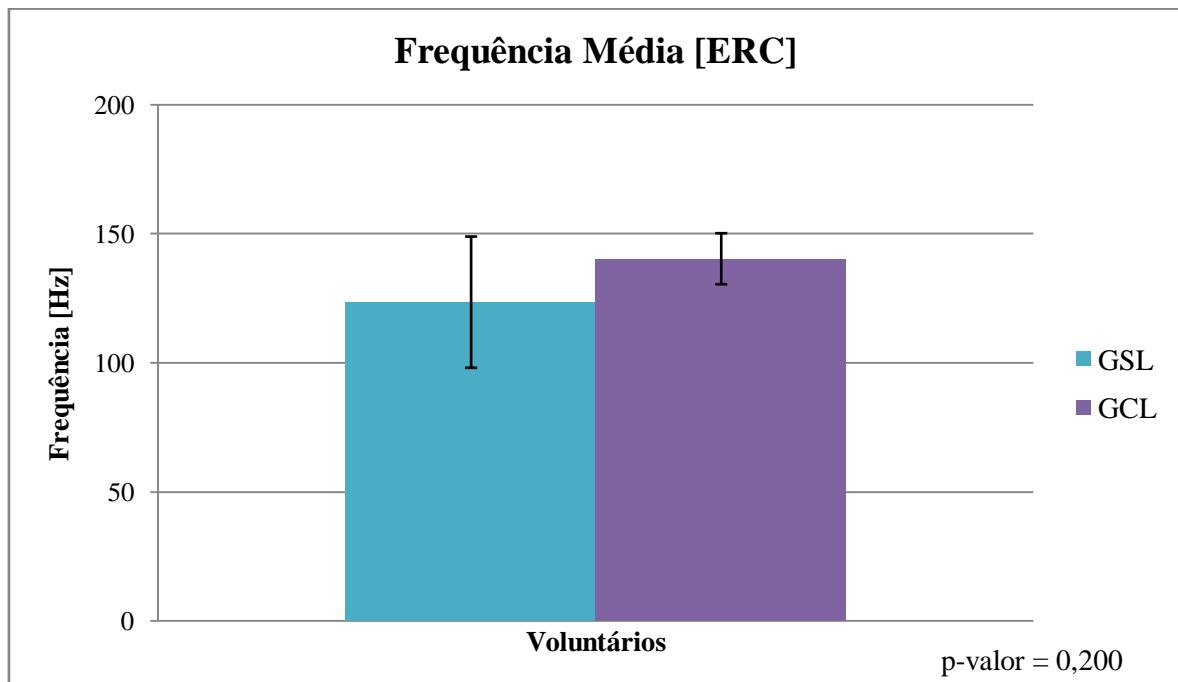


Figura 21: Valores de frequência média na comparação entre os valores extraídos do grupo controle SL e do membro lesionado do grupo CL para o músculo extensor radial do carpo.

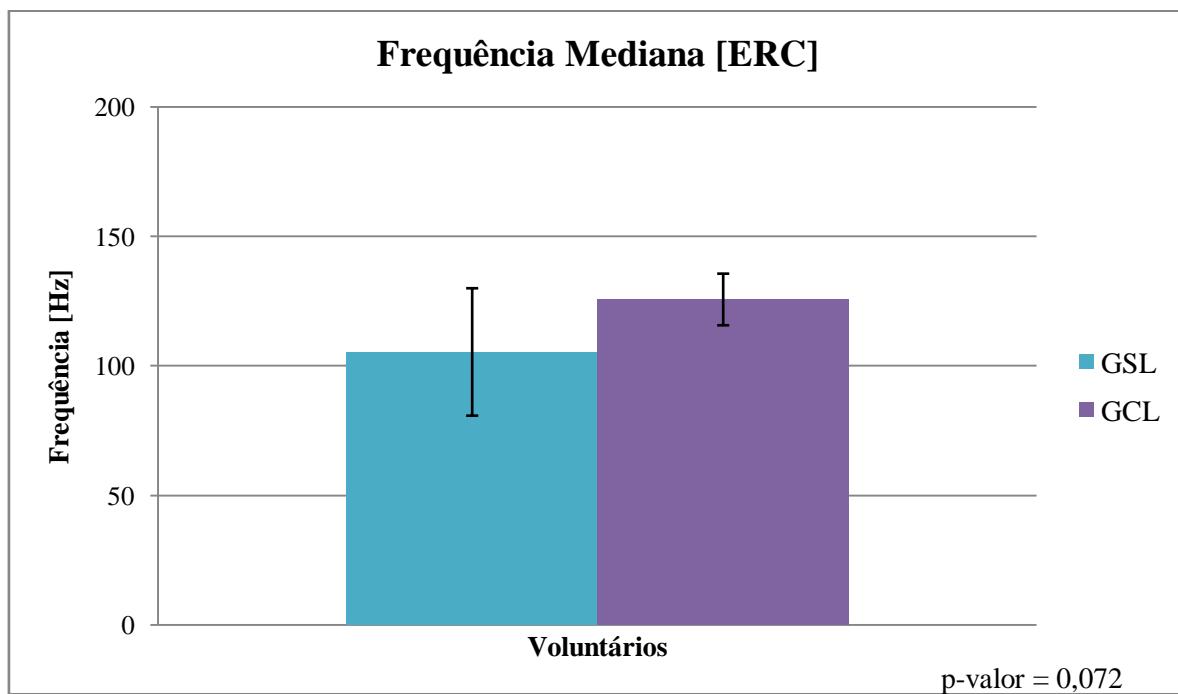


Figura 22: Frequência mediana na comparação entre a média dos voluntários SL versus o membro lesionado dos voluntários do GCL.

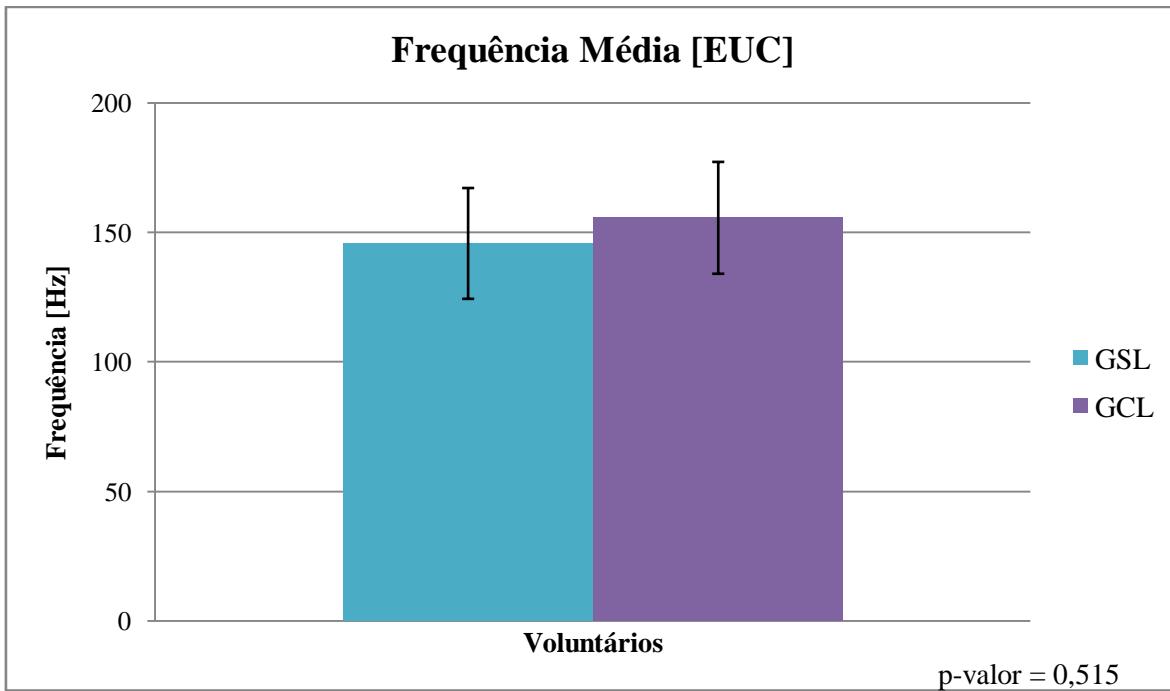


Figura 23: Valores de FM, para o músculo extensor ulnar do carpo, na comparação dos membros superiores do GSL versus o membro lesionado do GCL.

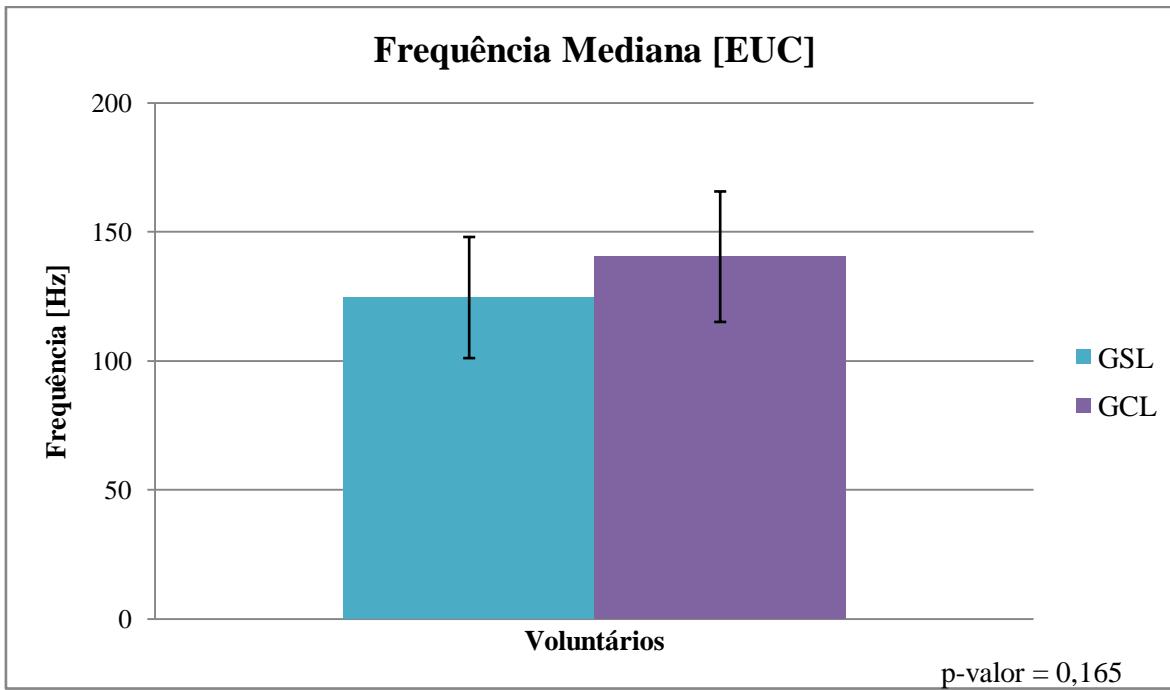


Figura 24: Valores de frequência mediana do músculo extensor ulnar do carpo, na comparação entre os valores extraídos da atividade muscular de todos os voluntários do grupo sem lesão em comparação aos valores do membro lesionado do grupo com lesão.

Não houve diferença estatística em nenhuma das comparações. Nota-se que os valores de FM e FMD para os dois músculos analisados é ligeiramente maior para o grupo com lesão, mas sem diferença estatisticamente significativa.

## Discussão

**A**s lesões nervosas são consideravelmente prejudiciais, de difícil recuperação e podem variar desde simples compressões a uma transecção total do nervo. O histórico do paciente e os exames clínicos são cruciais para definir o diagnóstico, a indicação do tratamento correto e os princípios da reabilitação. Vários fatores podem interferir na recuperação, como a idade do paciente, o nível, o tipo da lesão e o tempo de recuperação são alguns elementos que o categorizam individualmente (DAHLIN, 2008; LUNDBORG; ROSÉN, 2007). Diante disso, neste estudo, optou-se por análises em separado dos resultados de cada voluntário comprometidos por LNP.

As características da lesão dos voluntários do GCL foram muito similares. Todos foram diagnosticados com neuropraxia do nervo radial, as lesões ocorreram ao nível do braço em consequência a fratura do úmero e acometeram a musculatura do compartimento posterior do antebraço, responsáveis pela extensão de punho e dedos. A neuropraxia é descrita como contusões mais simples nos nervos, mais branda, no entanto, pode ser grave com comprometimento da função parcialmente (BIRCH, 2011). Segundo Raffee et al. (1985), nesse tipo de comprometimento podem ocorrer rupturas mínimas de alguns axônios, mas não existem exames clínicos que possam quantificar detalhadamente a quantidade de axônios seccionados.

Além dos fatores associados à recuperação, a regeneração pós-traumática é severamente complexa e o indivíduo pode permanecer com sequelas (BERNE et al., 2008; LEE et al., 2003; NOVAK, CHRISTINE B.; VON DER HEYDE, 2013), e as consequências comuns são a diminuição da funcionalidade, das aptidões motoras e de sensibilidade fina

(BIRCH, 2011). As consequências motoras, podem resultar de uma reinervação inadequada da musculatura devido à diminuição da quantidade das junções neuromusculares, que podem ocorrer devido as mínimas rupturas nos axônios que não se regeneram efetivamente. Nesse caso de recrutamento falho, o mecanismo de demanda de força faz-se principalmente pelo aumento da taxa de disparo(DAUBE; RUBIN, 2009). Schulte-Mattler e colaboradores (2000) também afirmam que o número de unidades motoras no músculo pode ser reduzido por fatores fisiológicos, como a idade ou por fatores patofisiológicos como a desnervação crônica. O aumento da taxa de disparo em sujeitos que sofreram uma desnervação muscular ocorre pela redução da capacidade de recrutamento (SCHULTE-MATTLER et al., 2000).

Os testes clínicos fisioterapêuticos foram idealizados para analisar possíveis indícios dessas dificuldades remanescentes, sendo muito enfatizada a questão de recuperação da força. No entanto, para a função da mão, apenas recuperação de força não é o bastante, pois necessita de movimentação articular complexa, com bom equilíbrio das musculaturas que gere padrões normais de posicionamento (NOVAK, CHRISTINE B.; VON DER HEYDE, 2013).

O teste de dinamometria é um método avaliativo que quantifica a força de preensão da mão. Ele é bastante difundido na literatura e aplicado principalmente na prática clínica, pela capacidade de quantificar a força que caracteriza o estado motor dos membros superiores e do corpo como um todo (BOHANNON, 2003). A força de preensão é produzida pela co-contração e ativação dos músculos flexores e extensores do punho e dedos. A estabilização dos músculos extensores é de extrema importância durante a preensão, por esse motivo a avaliação com o dinamômetro é aplicável em indivíduos que sofreram algum tipo de disfunção nos músculos de extensão de punho e dedos (SHIMOSE; MATSUNAGA; MURO, 2011).

Suzuki et al. (2012), a fim de avaliar a influência dos extensores de punho na desenvoltura da preensão palmar, provocaram um bloqueio sintético no nervo radial na altura do braço de indivíduos hígidos, aplicaram o teste experimental de dinamometria antes e após o bloqueio e verificaram uma queda nos valores de força pós bloqueio significativa (SUZUKI et al., 2012).

Bohannonet al. (2003), analisaram 10 estudos precedentes que avaliaram a dominância dos membros superiores pela força de preensão. O dinamômetro Jamar® foi usado na metade das pesquisas revisadas. Na maioria dos estudos, o membro dominante excedeu a força de

preensão do membro não dominante, para uma dominância à direita. Já para os indivíduos com dominância à esquerda, os resultados não foram conclusivos (BOHANNON, 2003).

Em nosso estudo, todos os voluntários do GCL possuem dominância à direita, no entanto a lesão do nervo radial, em dois dos voluntários foi do lado dominante e dois do lado não dominante. Nos casos de lesão à esquerda, para os voluntários 1 e 3, as forças de preensão são menores para esse membro não dominante e lesionado. Para o voluntário 2, com lesão à direita, os valores do membro dominante se equiparam aos do membro não lesionado a esquerda. A voluntária 4, com o maior tempo de lesão do grupo, apresenta, neste teste, menor valor de preensão no membro dominante/lesionado, mas deve-se levar em consideração ainda sua idade de 67 anos de idade, o que poderia indicar resultados pertinentes ou o fato de não ter ocorrido uma recuperação total, o que estaria interferindo na força de preensão palmar.

A avaliação pelo teste manual de força pode também ser questionada pela sua subjetividade, mas estudos defendem sua importância e principalmente a aplicabilidade, por ser um estudo convencional e, ao contrário da dinamometria, o teste permite que a avaliação seja orientada na direção exata do movimento de interesse, abrangendo várias possibilidades (JEPSEN, J. et al., 2004). O teste manual tem grande importância para o exame clínico e ainda auxilia no diagnóstico (JEPSEN, J. R.; HAGERT, 2010). Kendall (1991) aponta a extrema importância do teste, mas destaca que a efetividade dos resultados é dependente do conhecimento de anatomia e das funções musculares. Em suas conclusões, a grande vantagem de todos os testes qualitativos aplicados subjetivamente pelos terapeutas é a identificação das limitações dos pacientes e o fácil emprego nas práticas clínicas (KENDALL, 1991). Por esta razão, apesar de sua subjetividade, o teste manual de força é largamente utilizado na prática clínica.

Jespens, et al (2004), em seu estudo com 41 voluntários para avaliar a efetividade do teste manual de força, analisou os dois membros superiores simultaneamente para garantir maior precisão. O teste foi aplicado por dois avaliadores para diminuir o viés. Seus resultados demonstraram boa confiabilidade do teste, mesmo apontando variáveis que podem interferir, como a experiência clínica do avaliador, o gênero, a idade e as características individuais de cada paciente (JEPSEN, J. et al., 2004).

Em nossos experimentos, os nossos voluntários que sofreram lesão, não apresentaram diferenças entre os membros pelo teste manual de força. Tal resultado pode ter sido consequência do tempo pós-lesão dos sujeitos, indicando possível recuperação de força.

O teste de funcionalidade DASH (Disability of Arm, Shoulder and Hand), tem como objetivo de detectar dificuldades na prática de atividades de vida diária. O questionário é constituído por 30 questões auto-aplicáveis e dois módulos opcionais, sendo um para atividades esportivas e musicais e outro para atividades de trabalho. Os itens são relacionados à intensidade dos sintomas de dor, fraqueza, rigidez e parestesia do membro superior, além de quantificar o grau de dificuldade no desempenho das atividades de vida diária, o comprometimento de atividades sociais, dificuldades para dormir e alterações psicológicas que as limitações do membro causam na vida da paciente (POLSON et al., 2010).

Åberg et al (2007), que comparou diversas ferramentas para avaliação de LNP, observaram que o teste de funcionalidade DASH provia bons resultados, permitindo diferenciar voluntários hígidos de pacientes lesionados, além de descriminar o membro lesionado do membro não lesionado (ÅBERG et al., 2007; ROSÉN; LUNDBORG, 2000).

Em nosso estudo, observamos que o DASH foi capaz de detectar diferenças entre os voluntários, não diretamente perceptíveis pelos demais métodos clínicos aplicados. Dois voluntários que sofreram lesão no membro dominante (V2 e V4) apresentando maiores índices, indicando maior dificuldade de execução de tarefas diárias, enquanto os voluntários que sofreram a lesão no membro não dominante (V1 e V3) apresentaram percentuais baixos de dificuldades. Esses resultados podem ser indicativos de que novas ferramentas sejam necessárias para avaliação mais precisa dos sujeitos lesionados.

Como se observa, apesar das avaliações fisioterapêuticas serem bastante recomendadas e utilizadas, estas possuem limitações na efetividade da avaliação, dependendo da experiência do avaliador e das respostas subjetivas dos avaliados. A aplicabilidade dos diversos testes ainda depende do espaço e dos recursos da clínica em específico. Mas certamente os testes auxiliam efetivamente na avaliação da evolução dos pacientes (ÅBERG et al., 2007). Entretanto, há que se reforçar a necessidade por novas pesquisa e novas mecanismos de avaliação.

Em consequência da desnervação da musculatura, ocorre um processo de atrofia muscular imediato e mudanças degenerativas que começam a afetar as características anatômicas das fibras musculares, num processo progressivo. Porém, caso ocorra a reinervação em até três meses, as funcionalidades do músculo são restabelecidas normalmente. Caso contrário, as capacidades do músculo diminuem progressivamente com o passar do tempo (BERNE et al., 2008; DRAKE, 2011). No entanto, conforme citado, apesar de não possuirmos formas precisas de quantificar exatamente o processo de reinervação da

musculatura, as possíveis mudanças na ativação dos músculos podem resultar em variações nas características do sinal EMG (PIZZATO et al., 2007). Neste sentido, para a avaliação específica das características da musculatura pós-lesão, efetuamos o estudo para avaliação da atividade muscular por meio da Eletromiografia de superfície, na tentativa de avaliar não apenas possíveis modificações ou diferenciações nas características musculares dos voluntários que sofreram o processo traumático, mas também, e principalmente, se, após determinado tempo de tratamento e recuperação, estes sujeitos teriam suas funções musculares normais restauradas.

Os estudos de EMG de superfície para avaliação de LNP são restritos na literatura. Utilizando uma metodologia semelhante ao nosso estudo, McGarvey e colaboradores, afirmam serem os primeiros a efetuarem uma avaliação da lesão baseado em EMGs (MCGARVEY et al., 2013a). Em nossa revisão literária, não encontramos outros estudos avalia LNP por meio de EMGs.

Apesar de suas potencialidades, a EMGs possui algumas questões importantes que devem ser avaliadas cuidadosamente. Por exemplo, o posicionamento dos eletrodos de superfície nos músculos do antebraço não é tarefa simples, dado que os mesmos são músculos muito próximos, com variados graus de função em comum e uma área de superfície de pele relativamente pequena para o posicionamento. A rotação e a movimentação do antebraço também podem fazer com que o eletrodo se desloque sobre a pele, resultando em artefatos. Mogk e Keir (2003) buscando evitar cross-talking em coletas EMG de músculos do antebraço, posicionaram os eletrodos de superfície uma distância de 3 cm entre eles, para estudo da força de preensão nas três posturas do antebraço: pronação, supinação e postura neutra. Como primeiro achado, os autores observaram que a atividade EMG não foi afetada pela alteração da postura do antebraço. Para a análise do cross-talking fizeram uma relação entre os eletrodos comparando os sinais comuns entre eles e relatam a apenas de 1 a 2% de sinal comum entre os eletrodos (MOGK; KEIR, 2003). Outros estudos também indicam a análise adequada dos músculos do antebraço utilizando eletrodos de superfície bipolares, como utilizado nesta pesquisa (FINNERAN; O'SULLIVAN, 2013; SHIMOSE et al., 2011).

Em nosso estudo, analisamos separadamente as características do Extensor Radial do Carpo e do Extensor Ulnar do Carpo. O posicionamento dos eletrodos foi realizado com bastante cuidado e muito bem fixados, com fita adesiva e velcro ao redor do antebraço, para evitar o deslocamento.

Do sinal EMG extraímos características no domínio do tempo e no domínio da frequência para melhor analisar a atividade da musculatura. A característica no domínio do tempo, RMS é amplamente analisada em vários trabalhos na literatura. As duas características extraídas no domínio da frequência a Frequência Média e a Frequência Mediana, são amplamente destacadas na literatura como elementos para predição do processo de recrutamento de unidades motoras, fadiga muscular, dentre outros aspectos importantes para esta pesquisa (ELCADI; FORSMAN; CRENSHAW, 2011). A tarefa para a avaliação da atividade muscular nesta pesquisa consistiu em contrações isométricas voluntárias máximas.

Em seu trabalho, McGarvey et al. (2013) fizeram avaliações de voluntários pós LNP por meio de EMG de superfície e, além de avaliar o lado acometido pela lesão, avaliaram o lado saudável e ainda os compararam com indivíduos saudáveis. Eles fizeram o estudo de movimentos dinâmicos da musculatura do ombro, pois os voluntários sofreram lesão do nervo acessório, com o agravante da lesão ser em consequência de tumores malignos. A análise dos valores RMS mostrou diferenças significativas entre os grupos (MCGARVEY et al., 2013a). Os autores fizeram essa avaliação apenas com valores extraídos no domínio do tempo, e 70% dos voluntários do grupo que haviam sofrido LNP estavam na fase aguda, com um tempo inferior a 4 meses. Os voluntários com lesão do nosso estudo estão todos na fase crônica, esse tipo de comparação faz com que nosso trabalho seja complementar na literatura, mostrando a grande importância de uma avaliação no período pós recuperação, avaliando o sucesso das terapias. Além disso, fazemos uma extração de características também no domínio da frequência que nos indica a distinção importante da musculatura, como a diferenciação do tipo de fibra. Até então não foram encontrados outros trabalhos na literatura que analisem os valores de frequência por meio da EMGs pós LNP.

Na avaliação individual dos voluntários com lesão o V1 se destaca em comparação aos demais voluntários, apresentando valores altos de RMS, assim julgamos que essa diferença seja devido a atividade de montaria em touros que exige muito da musculatura do antebraço.

Na avaliação individual, quando comparados os dois membros tanto para o ERC como para o EUC, os valores de RMS dos voluntários com lesão, exceto o voluntário 1, não apresentam um padrão muito diferenciado entre os MMSS. Já os valores de força (kgf) representam explicitamente a diferenciação entre o membro lesionado e o membro não lesionado, sendo que o membro lesionado, sem nenhuma exceção, apresenta déficit de força.

Novamente, os resultados do voluntário 1 se contrapõem à tendência quando ocorre um aumento nos valores de RMS simultaneamente aos valores de Força, uma vez que os

valores de RMS são expressivamente maiores no membro lesionado e os valores de força não. Este achado pode ser esclarecido pelas afirmações Freedman et al. (2012), em que, nos casos de lesão dos nervos periféricos, o aumento da taxa de disparo pode aumentar substancialmente para atenuar a pouca capacidade de aumento do recrutamento, devido as falhas da reinervação, gerando aumento nos valores de RMS.

Shimose, et al (2011), fez um estudo experimental aplicando um protocolo de fortalecimento para os músculos extensores durante oito semanas, para analisar a atividade de extensão de punho e o quanto esta influência na preensão palmar. Eles avaliaram o progresso pelo teste de dinamometria e a atividade muscular por meio de Eletromiografia. Na EMG analisaram os músculos responsáveis pela extensão e flexão de punho, extraiendo duas características, uma no domínio do tempo (RMS) e uma no domínio da frequência (Frequência Mediana). Para os músculos Extensor Radial do Carpo e Extensor Ulnar do Carpo, os resultados mostram um aumento dos valores de RMS e FMD após o treinamento, sendo apontada como causa a adaptação neural que acontece nos músculos após o treinamento (SHIMOSE et al., 2011). De acordo com esses achados, podemos equiparar o voluntário 1 que apresentou maiores valores de RMS e de FMD quando comparado aos voluntários aos demais voluntários com lesão. A ressalva dessas diferenças pode ser explicada o fato do V1 estar em tratamento e certamente em seu protocolo de reabilitação deve executar exercícios de fortalecimento para os extensores de punho. As características individuais desse voluntário colaboram para as diferenças, mas o treinamento na reabilitação também está provavelmente influenciando nesses resultados diferenciados.

As características no domínio da frequência extraídas do sinal de EMG de superfície, em especial a frequência média e a frequência mediana, são bem estabelecidos na literatura e correlacionados, por exemplo, com avaliações de fadiga muscular que pode ocorrer durante uma contração sustentada à força máxima ou submáxima, resultando em um decaimento de FM e FMD (KAPLANIS et al., 2009; MARINA et al., 2013; MING et al., 2014). Outros estudos apontam as medidas de frequência para a classificação dos tipos de fibras musculares predominantes, em que altos valores são geralmente associados com a prevalência de fibras do tipo II, que são fibras rápidas com maior força de contração, enquanto menores valores de frequência são relacionados com uma maior proporção de fibras do tipo I, que são fibras lentas e mais resistentes a fadiga (FIORAMONTE 2011; FREITAS, A. M., 2015; KUPA et al., 1995).

Freitas (2015), em conjunto com nosso trabalho, chegou a conclusão que os valores extraídos das características no domínio da frequência, especificamente o valor da frequência média e o valor da frequência mediana foram as atribuições do sinal EMGs capazes de detectar a diferenciação entre proporções de tipos de fibras, chegou a essas conclusões após uma metodologia de seleção de características testadas em sinais emulados e assim como para os sinais sintéticos os valores de FM e FMD também foram eficientes para a diferenciação e caracterização de proporção de fibras em sinais reais (FREITAS, A. M., 2015).

Os músculos do antebraço têm maior predomínio de fibras do tipo I, no entanto fatores genéticos, demanda funcional e a variações individuais podem alterar o recrutamento muscular (FUGL-MEYER et al., 1982). No caso das lesões nervosas periféricas, a reinervação ineficiente ou a ocorrência de reinervação cruzada podem modificar e gerar consequências negativas de força e funcionalidade dos membros acometidos (BERNE et al., 2008; BURNETT; ZAGER, 2004; MIDRIO, 2006), uma vez que a predominância e a característica do tipo de fibra é determinada pela inervação (BERNE et al., 2008; DRAKE; VOGL, 2011; GUYTON, ARTHUR C et al., 2006).

Ainda na influência do tipo de fibras musculares a Eletroestimulação, técnica usada no tratamento de desnervação muscular pode influenciar. Não há parâmetros definidos, para eletroestimulação nesses casos. A aplicação do estímulo é geralmente diretamente sobre a musculatura, podendo promover uma mudança nas fibras musculares, pois o músculo desnervado necessita de uma carga elétrica maior e a aplicação do estímulo prevê também estimular a aceleração do crescimento nervoso (NOVAK, CHRISTINE B.; VON DER HEYDE, 2013). Há por anos, uma controvérsia e confusão em respeito ao uso da eletroestimulação no músculo desnervado, a justificativa a favor da utilização é que por meio do exercício induzido eletricamente, o tecido pode manter um estado mais saudável até ocorrer a reinervação. Essa técnica permite amenizar as alterações estruturais e funcionais, como: perda da atividade reflexa, atrofia, degeneração, fibrose e fibrilação que são contrações espontâneas desordenadas das fibras musculares. Existem evidências de que a estimulação elétrica retarda a atrofia e degeneração muscular, mas não previne completamente. As diversas contradições são pela aplicabilidade variável do tipo de estimulação elétrica, parâmetros da frequência, duração do pulso, tempo de subida da corrente e intensidade (AGNE, 2009; KITCHEN; RIBEIRO, 2003; LOW et al., 2001).

No presente estudo, as características de frequência (FM e FMD) foram extraídas de três repetições em contração máxima, sendo utilizadas as médias dos valores para cada

contração. Na comparação entre as características dos membros dominantes e não dominantes dos voluntários com lesão, percebe-se uma tendência de maiores valores em ambos os músculos (ERC e EUC) para o membro não lesionado, sendo que para o EUC essa tendência para os voluntários 1, 2 e 3 está bastante explícita.

Na comparação dos valores de frequência entre os voluntários do Grupo Sem Lesão, as análises estatísticas entre o membro dominante *versus* o membro não dominante e entre o grupo de mulheres *versus* o grupo de homens não apresentaram diferenças estatisticamente significativas. O fato de não haver diferenciação entre os gêneros é corroborado pelo estudo de Elcadi e colaboradores (2011) que, em atividade de contração voluntária máxima, extraíram os valores de frequência média e mediana do músculo ERC e também não encontraram diferenças significativas entre os gêneros (ELCADI et al., 2011).

Após a constatação de que a dominância dos MMSS e o gênero não apresentaram diferenças estatísticas no grupo dos voluntários sem lesão, o agrupamento desses valores foi feito com o objetivo de analisar se a atividade muscular dos membros que sofreram lesão do nervo periférico se diferenciavam. Apesar da amostra do grupo CL ser bastante heterogênea, o agrupamento de indivíduos com lesão vem sendo feito nos vários trabalhos da literatura comparando essa população (ÅBERG et al., 2007; MCGARVEY et al., 2013a; MCGARVEY et al., 2013b; RASHEED et al., 2008).

Em todas as comparações entre os grupos não houve diferença estatisticamente significativa, na comparação do membro dos sujeitos hígidos com o membro lesionados dos voluntários que sofreram lesão do nervo radial. Na comparação entre os grupos, e observando os valores de FM e FMD dos músculos lesionados do GCL, percebe-se que, apesar de existirem alguns valores destes voluntários ligeiramente diferentes e maiores das médias do grupo controle (GSL), tal diferenciação não atinge níveis que os coloquem definitivamente fora da “amostra de sujeitos normais”. Estes achados podem indicar que tais pacientes já tenham adquirido boa recuperação graças ao tratamento.

Capítulo **8**

## Conclusão

**O**s voluntários que sofreram LNP do nervo radial tiveram principalmente o acometimento da musculatura dos MMSS, responsáveis pela extensão do punho, há indícios na literatura de que pós-lesão, em alguns casos há permanência de sequelas. As avaliações tiveram o principal objetivo de caracterizar os voluntários que sofreram LNP, por meio das avaliações clínicas e de eletromiografia.

As análises de força pelos métodos quantitativos com a célula de carga foram mais eficientes do que as avaliações clínicas, sendo assim deve-se repensar nos métodos de avaliação para essa típica fase após a lesão.

Os voluntários com tempo de recuperação acima de 8 meses de lesão apresentaram-se similares aos sujeitos hígidos, na comparação dos valores de FM e FMD indicando boa recuperação e a eficácia dos protocolos de reabilitação, esses achados são complementados quando confrontado com o trabalho de McGarvey que na avaliação da EMGs na fase aguda os voluntários lesionados apresentaram diferenças dos voluntários hígidos, os resultados do nosso trabalho concluem que na fase crônica não houve essa diferenciação.

Sendo assim, com o presente trabalho podemos afirmar que a ferramenta de EMGs foi importante para avaliação dos voluntários após acometimento motor em consequência a LNP. E foi possível comparar o comportamento do sinal eletromiográfico de voluntários após lesão do nervo radial e de indivíduos sem histórico desta lesão. Observamos que ambos os grupos de voluntários apresentaram o mesmo comportamento para as características extraídas capazes de identificar diferenças na atividade muscular. Desta forma, podemos afirmar que,

em relação às características avaliadas, os sujeitos com lesão nervosa apresentaram um quadro de recuperação satisfatória.

## **Trabalhos futuros**

---

- Avaliar sujeitos com LNP em uma fase aguda e extrair as características no domínio da frequência.
- Na tarefa de execução de força, adotar um protocolo com a execução de diferentes níveis de força submáxima.
- Fazer avaliações periódicas ao decorrer da recuperação, fazendo um acompanhamento até a recuperação total.

## Referências

- ÅBERG, M. et al. Considerations in evaluating new treatment alternatives following peripheral nerve injuries: a prospective clinical study of methods used to investigate sensory, motor and functional recovery. **Journal of plastic, reconstructive & aesthetic surgery**, v. 60, n. 2, p. 103-113, 2007.
- AGNE, J. E. Eu sei eletroterapia. **Santa Maria: Pallotti**, 2009.
- AMADIO, A. C.; DUARTE, M. Fundamentos biomecânicos para a análise do movimento humano. **São Paulo: Laboratório de Biomecânica/EEFUSP**, 1996.
- BERGQUIST, E. R.; HAMMERT, W. C. Timing and appropriate use of electrodiagnostic studies. **Hand clinics**, v. 29, n. 3, p. 363-370, 2013.
- BERNE, R. M.; KOEPHEN, B. M.; STANTON, B. A. **Physiology**. Elsevier Brasil, 2008. ISBN 0323045820.
- BHARDWAJ, A.; SWE, K. M. M. Study of Incidence and Treatment of Radial Nerve Palsy in Fracture Shaft of Humerus. **International Journal of Collaborative Research on Internal Medicine & Public Health**, v. 4, n. 5, p. 796-801, 2012.
- BIRCH, R. **Surgical disorders of the peripheral nerves**. Springer Science & Business Media, 2011. ISBN 1848821085.
- BOHANNON, R. W. Grip strength: a summary of studies comparing dominant and nondominant limb measurements. **Perceptual and motor skills**, v. 96, n. 3, p. 728-730, 2003.
- BSTEH, G. et al. Prognosis and prognostic factors in non-traumatic acute-onset compressive mononeuropathies—radial and peroneal mononeuropathies. **European Journal of Neurology**, v. 20, n. 6, p. 981-985, 2013.
- BURNETT, M. G.; ZAGER, E. L. Pathophysiology of peripheral nerve injury: a brief review. **Neurosurgical focus**, v. 16, n. 5, p. 1-7, 2004.
- CAMPBELL, W. W. Evaluation and management of peripheral nerve injury. **Clinical neurophysiology**, v. 119, n. 9, p. 1951-1965, 2008.

CHIBA, M.; ECHIGO, S. Unilateral atrophy of the masticatory muscles and mandibular ramus due to pure trigeminal motor neuropathy: a case report. **Oral surgery, oral medicine, oral pathology and oral radiology**, v. 113, n. 6, p. e30-e34, 2012.

CIARAMITARO, P. et al. Traumatic peripheral nerve injuries: epidemiological findings, neuropathic pain and quality of life in 158 patients. **Journal of the Peripheral Nervous System**, v. 15, n. 2, p. 120-127, 2010.

COLLIN, P. et al. Neuropathy of the suprascapular nerve and massive rotator cuff tears: a prospective electromyographic study. **Journal of Shoulder and Elbow Surgery**, v. 23, n. 1, p. 28-34, 2014.

CONTRIBUTORS, W. **Human Physiology**. Blacksleet River, 2012. ISBN 1449977375.

DAHLIN, L. B. (ii) Nerve injuries. **Current Orthopaedics**, v. 22, n. 1, p. 9-16, 2008.

DALLA TOFFOLA, E. et al. Choosing the best rehabilitation treatment for Bell's palsy. **European journal of physical and rehabilitation medicine**, v. 48, n. 4, p. 635-642, 2012.

DAUBE, J. R.; RUBIN, D. I. Needle electromyography. **Muscle & nerve**, v. 39, n. 2, p. 244-270, 2009.

DE LUCA, C. Electromyography. **Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation**, 2006.

DE LUCA, C. J. Physiology and mathematics of myoelectric signals. **Biomedical Engineering, IEEE Transactions on**, n. 6, p. 313-325, 1979.

\_\_\_\_\_. The use of surface electromyography in biomechanics. **Journal of applied biomechanics**, v. 13, p. 135-163, 1997.

DE LUCA, C. J. The use of surface electromyography in biomechanics. / Utilisation de l'electromyographie de surface en biomecanique. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 13, n. 2, p. 135-163, 1997.

DESPOPOULOS, A.; SILBERNAGL, S. **Color atlas of physiology**. Thieme, 2003. ISBN 1588900614.

DEUMENS, R. et al. Repairing injured peripheral nerves: bridging the gap. **Progress in neurobiology**, v. 92, n. 3, p. 245-276, 2010.

DIAS, R.; RIBEIRO, M. J. P. Padrão da atividade mioelétrica dos músculos da cintura escapular após linfadenectomia axilar no câncer de mama. **Rev Bras Ginecol Obstet**, v. 31, n. 5, p. 224-9, 2009.

DIMBERG, E. L. Electrodiagnostic evaluation of ulnar neuropathy and other upper extremity mononeuropathies. **Neurologic clinics**, v. 30, n. 2, p. 479-503, 2012.

DRAKE, R. **Gray Anatomia para estudantes**. Elsevier Brasil, 2011. ISBN 8535245839.

DRAKE, R.; VOGL, A. W.; MITCHELL, A. W. **Anatomia para estudantes**. Elsevier Brasil, 2013. ISBN 8535268391.

DRAKE, R.; VOGL, W. **Anatomia para estudantes**. Elsevier Brasil, 2011. ISBN 8535245839.

ELCADI, G. H.; FORSMAN, M.; CRENSHAW, A. G. The relationship between oxygenation and myoelectric activity in the forearm and shoulder muscles of males and females. **European journal of applied physiology**, v. 111, n. 4, p. 647-658, 2011.

ERVILHA, U.; DUARTE, M.; AMADIO, A. Estudo sobre procedimentos de normalização do sinal eletromiográfico durante o movimento humano. **Rev Bras Fisiot**, v. 3, n. 1, p. 15-20, 1998.

FINNERAN, A.; O'SULLIVAN, L. Effects of grip type and wrist posture on forearm EMG activity, endurance time and movement accuracy. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 43, n. 1, p. 91-99, 2013.

FIORAMONTE , I. S. K. Estudo do Sinal Eletromiográfico em Exercícios Isométricos em Diferentes Velocidades de Contração **Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista – Unesp**, 2011.

FREEDMAN, M. et al. Electrodiagnostic evaluation of compressive nerve injuries of the upper extremities. **Orthopedic Clinics of North America**, v. 43, n. 4, p. 409-416, 2012.

FREITAS, A. M. **Seleção de características para identificação de diferentes proporções de tipos de fibras musculares por meio da eletromiografia de superfície**. . 2015

FREITAS, P. P. **Reabilitação da mão**. Atheneu, 2005. ISBN 8573797118.

FUGL-MEYER, A. R. et al. Is muscle structure influenced by genetical or functional factors? A study of three forearm muscles. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 114, n. 2, p. 277-281, 1982.

GREVE, J. M.; AMATUZZI, M. M. Medicina de reabilitação aplicada à ortopedia e traumatologia. **São Paulo: Roca**, v. 2, 1999a.

\_\_\_\_\_. **Medicina de reabilitação aplicada à ortopedia e traumatologia.** 1999b.

GRIFFIN, M. F. et al. Peripheral Nerve Injury: Principles for Repair and Regeneration. **The Open Orthopaedics Journal**, 2014.

GUYTON, A.; HALL, J. **Tratado de Fisiologia Médica 9ª Edição 1998**: Editora Guanabara-Koogan.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E.; GUYTON, A. C. **Tratado de fisiologia médica**. Elsevier Brasil, 2006. ISBN 8535216413.

GUYTON, A. C. et al. **Tratado de Fisiologia Médica**. Elsevier, 2006.

JEPSEN, J. et al. Manual strength testing in 14 upper limb muscles A study of inter-rater reliability. **Acta Orthopaedica**, v. 75, n. 4, p. 442-448, 2004.

JEPSEN, J. R.; HAGERT, C.-G. The neurological examination in work-related upper limb pain. **International Musculoskeletal Medicine**, v. 32, n. 1, p. 7-15, 2010.

KANE, N.; OWARE, A. Nerve conduction and electromyography studies. **Journal of neurology**, v. 259, n. 7, p. 1502-1508, 2012.

KAPLANIS, P. et al. Surface EMG analysis on normal subjects based on isometric voluntary contraction. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 19, n. 1, p. 157-171, 2009.

KENDALL, F. P. Manual muscle testing: there is no substitute. **Journal of Hand Therapy**, v. 4, n. 4, p. 159-161, 1991.

KITCHEN, S.; RIBEIRO, L. B. **Eletroterapia: prática baseada em evidências**. Manole, 2003. ISBN 8520414532.

KUPA, E. et al. Effects of muscle fiber type and size on EMG median frequency and conduction velocity. **Journal of Applied Physiology**, v. 79, n. 1, p. 23-32, 1995.

LEE, A. C. et al. Controlled release of nerve growth factor enhances sciatic nerve regeneration. **Experimental neurology**, v. 184, n. 1, p. 295-303, 2003.

LONGENBAKER, S. N.; GALLIART, P. **Mader's understanding human anatomy & physiology**. McGraw-Hill Higher Education, 2008. ISBN 0073288861.

LOW, J. et al. **Eletroterapia explicada: princípios e prática**. Elsevier Brasil, 2001. ISBN 8535231226.

LUNDBORG, G.; ROSÉN, B. Hand function after nerve repair. **Acta physiologica**, v. 189, n. 2, p. 207-217, 2007.

MACHADO, A. B. M.; CAMPOS, G. B. **Neuroanatomia funcional**. Atheneu Belo Horizonte, 1993.

MARINA, M. et al. Comparison of an intermittent and continuous forearm muscles fatigue protocol with motorcycle riders and control group. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 23, n. 1, p. 84-93, 2013.

MARTÍNEZ DE ALBORNOZ, P. et al. Non-surgical therapies for peripheral nerve injury. **British Medical Bulletin**, v. 100, n. 1, p. 73-100, December 1, 2011 2011.

MCGARVEY, A. C. et al. Impact of neck dissection on scapular muscle function: a case-controlled electromyographic study. **Archives of physical medicine and rehabilitation**, v. 94, n. 1, p. 113-119, 2013a.

MCGARVEY, A. C. et al. Scapular muscle exercises following neck dissection surgery for head and neck cancer: a comparative electromyographic study. **Physical therapy**, v. 93, n. 6, p. 786-797, 2013b.

MEKAJ, A. Y. et al. Application of topical pharmacological agents at the site of peripheral nerve injury and methods used for evaluating the success of the regenerative process. **Journal of orthopaedic surgery and research**, v. 9, n. 1, p. 94, 2014.

MERLETTI, R.; PARKER, P. A. **Electromyography: physiology, engineering, and non-invasive applications**. John Wiley & Sons, 2004. ISBN 0471675806.

MICHLOVITZ, S. L. Is there a role for ultrasound and electrical stimulation following injury to tendon and nerve? **Journal of Hand Therapy**, v. 18, n. 2, p. 292-296, 2005.

MIDRIO, M. The denervated muscle: facts and hypotheses. A historical review. **European journal of applied physiology**, v. 98, n. 1, p. 1-21, 2006.

MING, D. et al. sEMG feature analysis on forearm muscle fatigue during isometric contractions. **Transactions of Tianjin University**, v. 20, p. 139-143, 2014.

MOGK, J. P.; KEIR, P. J. Crosstalk in surface electromyography of the proximal forearm during gripping tasks. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 13, n. 1, p. 63-71, 2003.

MONDELLI, M. et al. Mononeuropathies of the radial nerve: clinical and neurographic findings in 91 consecutive cases. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 15, n. 4, p. 377-383, 2005.

MOORE, K. L.; DALLEY, A. F.; AGUR, A. M. **Anatomia orientada para clínica**. Ed. Médica Panamericana, 2007. ISBN 9687988894.

NEAL, S.; FIELDS, K. B. Peripheral nerve entrapment and injury in the upper extremity. **American family physician**, v. 81, n. 2, p. 147-155, 2010.

NETTER, F. H. **Atlas of human anatomy**. Elsevier Health Sciences, 2014. ISBN 1455758841.

NOBLE, J. et al. Analysis of upper and lower extremity peripheral nerve injuries in a population of patients with multiple injuries. **Journal of Trauma and Acute Care Surgery**, v. 45, n. 1, p. 116-122, 1998.

NORDIN, M.; FRANKEL, V. Biomecânica básica do sistema músculo esquelético. **Rio de Janeiro**, 2003.

NORKIN, C. C.; WHITE, D. J. **Measurement of joint motion: a guide to goniometry**. FA Davis, 2009. ISBN 080362347X.

NOVAK, C. B. et al. Biomedical and psychosocial factors associated with disability after peripheral nerve injury. **The Journal of Bone & Joint Surgery**, v. 93, n. 10, p. 929-936, 2011.

NOVAK, C. B.; REBECCA, L. Evidence and Techniques in Rehabilitation Following Nerve Injuries. **Hand clinics**, v. 29, n. 3, p. 383-392, 2013.

NOVAK, C. B.; VON DER HEYDE, R. L. Evidence and Techniques in Rehabilitation Following Nerve Injuries. **Hand Clinics**, v. 29, n. 3, p. 383-392, 8// 2013.

PIZZATO, L. M. et al. Análise da freqüência mediana do sinal eletromiográfico de indivíduos com lesão do ligamento cruzado anterior em exercícios isométricos de cadeia cinética aberta e fechada. **Rev Bras Med Esporte**, v. 13, p. 1-5, 2007.

POLSON, K. et al. Responsiveness, minimal importance difference and minimal detectable change scores of the shortened disability arm shoulder hand (QuickDASH) questionnaire. **Manual therapy**, v. 15, n. 4, p. 404-407, 2010.

POWERS, S. K. et al. **Fisiologia do exercício: teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho.** 2000. ISBN 8520410464.

RASHEED, M. U. H.; MARSHOOD, A. A.; AKHTAR, M. R. RADIAL NERVE INJURIES. 2008.

ROBINSON, L. R. Traumatic injury to peripheral nerves. **Muscle & nerve**, v. 23, n. 6, p. 863-873, 2000.

ROSÉN, B.; BJÖRKMÅN, A.; LUNDBORG, G. Improved sensory relearning after nerve repair induced by selective temporary anaesthesia—a new concept in hand rehabilitation. **The Journal of Hand Surgery: British & European Volume**, v. 31, n. 2, p. 126-132, 2006.

ROSÉN, B.; LUNDBORG, G. A model instrument for the documentation of outcome after nerve repair. **The Journal of hand surgery**, v. 25, n. 3, p. 535-543, 2000.

\_\_\_\_\_. The long term recovery curve in adults after median or ulnar nerve repair: A reference interval. **Journal of Hand Surgery (British and European Volume)**, v. 26, n. 3, p. 196-200, 2001.

RYDEVIK, B. et al. **Biomecânica Básica do Sistema Músculo Esquelético.**

SCHULTE-MATTNER, W. J. et al. Relation between maximum discharge rates on electromyography and motor unit number estimates. **Muscle & nerve**, v. 23, n. 2, p. 231-238, 2000.

SHIMOSE, R.; MATSUNAGA, A.; MURO, M. Effect of submaximal isometric wrist extension training on grip strength. **European journal of applied physiology**, v. 111, n. 3, p. 557-565, 2011.

SIQUEIRA, R. Peripheral Nerve Injury: A Review. **Revista de Neurociência**, v. 15, n. 3, 2007 2007.

SUZUKI, T. et al. Wrist extension strength required for power grip: a study using a radial nerve block model. **Journal of Hand Surgery (European Volume)**, v. 37, n. 5, p. 432-435, 2012.

TAKAHASHI, L. S. O. **Análise da relação entre eletromiografia e força do músculo quadríceps em exercícios resistidos**. 2006. Universidade de São Paulo

VAN DE GRAAFF, K. M. **Human anatomy**. Wm. C. Brown, 1992. ISBN 0697078922.

VIDDELEER, A. R. et al. Sequential MR Imaging of Denervated and Reinnervated Skeletal Muscle as Correlated to Functional Outcome. **Radiology**, v. 264, n. 2, p. 522-530, August 1, 2012 2012.

WANG, X. et al. Secondary radial nerve palsy after internal fixation of humeral shaft fractures. **European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology**, v. 24, n. 3, p. 331-333, 2014.

WILLMOTT, A. D.; WHITE, C.; DUKELOW, S. P. Fibrillation potential onset in peripheral nerve injury. **Muscle & nerve**, v. 46, n. 3, p. 332-340, 2012.

XUE, G. et al. Intravenous umbilical cord mesenchymal stem cell infusion for the treatment of combined malnutrition nonunion of the humerus and radial nerve injury. **Regenerative medicine**, v. 6, n. 6, p. 733-741, 2011.

ZHOU, P.; RYMER, W. Z. Can standard surface EMG processing parameters be used to estimate motor unit global firing rate? **Journal of neural engineering**, v. 1, n. 2, p. 99, 2004.

# Apêndice

## Trabalhos completos apresentados e publicados em anais de congressos

- MARIANO, D. T. G., FREITAS, A. M., LUIZ, L. M. D., SILVA, A. N., PIERRE, P., NAVES, E. L. M. **An accelerometer-based human computer interface driving an alternative communication system.** 5th IEEE Biosignals and Biorobotics conference (BRC 2014), 2014, Salvador. 5th ISSNIP-IEEE Biosignals and Biorobotics Conference (2014): Biosignals and Robotics for Better and Safer Living (BRC). IEEE, 2014.
- LUIZ, L. M. D., FREITAS, A. M., MARIANO, D. T., CARDOSO, R. G., PINO, P., NAVES, E. L. M. **Comunicação alternativa de paciente com Esclerose Lateral Amiotrófica por meio de Acelerometria.** VII Simpósio em Engenharia Biomédica, 2014, Uberlândia.
- MARQUES, I. A., AZEVEDO, M. R., LUIZ, L. M. D., MIZIARA, I. M., NAVES, E. L. M. **Ensaio Sobre a Interferência dos Protetores Bucais no Equilíbrio de Atletas do Karatê.** VII Simpósio em Engenharia Biomédica, 2014, Uberlândia.
- FREITAS, A. M., LUIZ, L. M. D., SILVA, M. B., PELLET, D. C. S., FERNANDES, L. F. R. M., BARBOSA, A. S. **Protocolo de coleta do sinal eletromiográfico do músculo extensor radial do carpo durante a realização de terapias de reabilitação.** VII Simpósio em Engenharia Biomédica, 2014, Uberlândia.
- LUIZ, L. M. D., FREITAS, A. M., SILVA, M. B., PELLET, D. C. S., FERNANDES, L. F. R. M., BARBOSA, A. S. **Comportamento da Frequência Mediana do sinal EMG em pacientes pós Lesão Nervosa Periférica.** XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, 2014, Uberlândia.
- FREITAS, A. M., LUIZ, L. M. D., SILVA, M. B., PELLET, D. C. S., FERNANDES, L. F. R. M., BARBOSA, A. S. **Análise da irradiação em músculos homólogos e contralaterais durante atividade unilateral de extensão de punho.** XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, 2014, Uberlândia.

## Prêmios

- 2014 - 1º lugar da premiação pela apresentação do **Protocolo de coleta do sinal eletromiográfico do músculo extensor radial do carpo durante a realização de terapias de reabilitação.** II Mostra de Tecnologia em Saúde do VII Simpósio em Engenharia Biomédica, Universidade Federal de Uberlândia.

