



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
NÚCLEO DE TECNOLOGIAS ESTRATÉGICAS EM SAÚDE-NUTES
MESTRADO PROFISSIONAL EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM SAÚDE**

ROSSINI LUCENA DE MEDEIROS

**BIOFEEDBACK ELETROMIOGRÁFICO ASSISTIDO
ELETRICAMENTE POR CORRENTE FES**

Campina Grande-PB

2015

ROSSINI LUCENA DE MEDEIROS

**BIOFEEDBACK ELETROMIOGRÁFICO ASSISTIDO
ELETRICAMENTE POR CORRENTE FES**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia em Saúde, da Universidade Estadual da Paraíba, como exigência para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Sandy Gonzaga de Melo

Campina Grande

2015

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

M488b Medeiros, Rossini Lucena de.
Biofeedback eletromiográfico assistido eletricamente por Corrente Fes [manuscrito] / Rossini Lucena de Medeiros. - 2015.
64 p. : il. color.

Digitado.
Dissertação (Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia em Saúde) - Universidade Estadual da Paraíba, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, 2015.
"Orientação: Prof. Dr. Sandy Gonzaga de Melo, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa".

1. Eletromiografia de superfície. 2. Biofeedback eletromiográfico. 3. Recrutamento muscular. I. Título.

21. ed. CDD 611.73

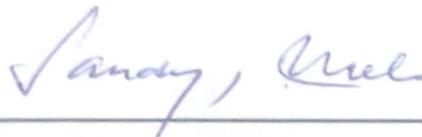
ROSSINI LUCENA DE MEDEIROS

**BIOFEEDBACK ELETROMIOGRÁFICO ASSISTIDO
ELETRICAMENTE POR CORRENTE FES**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia em Saúde, da Universidade Estadual da Paraíba, como exigência para obtenção do título de Mestre.

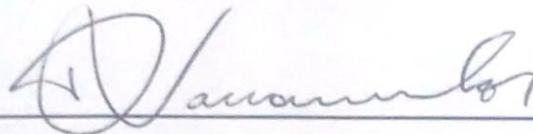
APROVADO EM 11/ 12/2015

BANCA EXAMINADORA



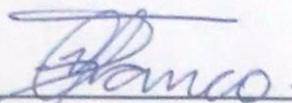
Prof. Dr. SANDY GONZAGA DE MELO

Orientador UEPB



Prof. Dr. Danilo de Almeida Vasconcelos

Examinador Interno-UEPB



Prof. Dr. Ciro Franco de Medeiros Neto

Examinador Interno-UEPB

***A minha amada mãe Eulália,
a meu pai Valdeci (in memória) e a meus irmãos Rossana e
Rossandro, que reforçam o alicerce da minha existência a cada encontro, dando
forças para transpor obstáculos e concretizar meus objetivos, DEDICO.***

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, nosso criador, por ter propiciado a oportunidade de concluir mais esta etapa na vida profissional, vencer

desafios e tornar-me mais forte e capaz de superar limites;

A minha amada mãe **Eulália**, que me apoia na concretização dos meus sonhos, e me ajudou a superar as dificuldades e as saudades;

Ao meu amado pai **Valdeci** (*in memória*), que mesmo tão longe dos nossos olhos, ajuda sua família e conforta as dores e saudades;

Ao meu orientador Prof. Dr. **Sandy Gonzaga de Melo**, pela generosidade, competência profissional, por disponibilizar seu tempo para ajudar-me na consumação desse objetivo, e por repassar seus conhecimentos;

Aos meus queridos irmãos **Rossana** e **Rossandro**, pela compreensão e ajuda, proporcionada em todos os momentos da vida pessoal e profissional;

As minhas tias **Luzia** e **Fátima**, por apoiarem a consolidação dos meus objetivos;

Aos meus avôs **Tenente** e **Chiquinha** (*in memória*), pelos ensinamentos da busca do caminho, correto perante as adversidades do mundo, e ao ver sua família realizada e feliz;

A meu avô **Antônio** (*in memória*), que sempre manteve um sorriso de satisfação por saber que sua família é constituída por pessoas de bem e que procuram alcançar seus objetivos sem derrubar os sonhos dos outros;

À minha amada namorada **Kallyne Yslanne**, pelo companheismo, amor e carinho.

RESUMO

BIOFEEDBACK ELETROMIOGRÁFICO ASSISTIDO ELETRICAMENTE POR CORRENTE FES

As inovações tecnológicas são consideradas como meios fundamentais de proporcionar avanços na fisioterapia atual. A eletromiografia de superfície-EMG's é definida como uma técnica que promove a detecção e análise do sinal eletromiográfico captado pela contração perceptível ou não dos músculos esqueléticos. O protocolo SENIAM para posicionamento dos eletrodos em eletromiografia já foi corroborado por estudos que avaliaram a atividade eletromiográfica principalmente dos extensores do joelho, indicam que deve ser seguido para melhor obtenção das respostas musculares. O biofeedback eletromiográfico-BFB-EMG é uma técnica de aprendizado definida como um processo de monitoração de eventos fisiológicos. Eles captam o sinal elétrico dos músculos em atividade, em microvolts (μV), e o transfere para um display que é visualizado pelo paciente na forma de sinais denominados de amplitude eletromiográfica. A estimulação elétrica funcional (Functional Electrical Stimulation - FES), pode ser definida como uma técnica de estimulação elétrica transcutânea dos neurônios motores, com características semelhantes à fisiológica e com a finalidade de produzir contração muscular, são usados na prática clínica para o fortalecimento muscular, assim como para a recuperação e preservação funcional dos músculos enfraquecidos. Justificando-se na necessidade de se buscar inovações tecnológicas que contribuam para a melhoria da eficácia e da redução dos custos com procedimentos de saúde, esta pesquisa objetivou unir em um método de intervenção as tecnologias de BFB-EMG com a assistência da corrente FES e, em seguida, idealizou, em um só equipamento, a sinergia entre as mesmas. O teste proposto por esta pesquisa avaliou o BFB-EMG num grupo de 10 voluntários, grupo controle, e também avaliou o BFB-EMG com assistência da corrente FES noutros 10 voluntários, grupo intervenção, as pesquisas seguiram todos os critérios éticos e aprova no comitê de ética em pesquisa com seres humanos da UEPB, a coleta de dados foi realizada no SESI-PB e o equipamento desenvolvido em laboratório dos pesquisadores. Todas as projeções de testes estatísticos apresentaram relevância e hipóteses alternativas diferente de zero, com diferenças entre as médias mais favoráveis para o grupo intervenção que fez uso do BFB-EMG com assistência da corrente FES para o recrutamento muscular. A equipe de pesquisadores idealizou um equipamento que uniu as tecnologias de BFB-EMG com a

corrente FES, que se encontra em fase final de testes, com boa resposta e funcionalidade. Pesquisas mais elaboradas precisam ser incentivadas para concretização desta inovação metodológica e tecnológica para a fisioterapia, pois ao unir as duas tecnologias o novo método precisa ser exaustivamente testado e comprovado pela comunidade científica.

Palavras Chave: Eletromiografia de superfície; Biofeedback eletromiográfico; Recrutamento muscular.

ABSTRACT

ELECTROMYOGRAPHIC BIOFEEDBACK ASSISTED BY CURRENT ELECTRICALLY FES

Technological innovations are considered as fundamental means of provided advances in current therapy. Electromyography surface-EMG's is defined as a technique that promotes the detection and analysis of electromyographic signals picked up by the noticeable contraction of skeletal muscles or not. The SENIAM protocol for placement of electrodes in electromyography has been corroborated by studies that evaluated the electromyographic activity of the knee extensors mainly indicate that must be followed to obtain the best muscle responses. The EMG-BFB-EMG biofeedback is a learning technique defined as a physiological event monitoring process. They pick up the electrical signal of the working muscles in microvolts (μV), and transfers it to a display that is displayed by the patient in the form of signs called electromyographic amplitude. Functional electrical stimulation (Functional Electrical Stimulation - FES), can be defined as a transcutaneous electrical stimulation technique of motor neurons, with characteristics similar to the physiological and in order to produce muscle contraction, they are used in clinical practice for muscle strengthening, as well as the recovery and functional preservation of weakened muscles. If justifying the need to pursue technological innovations that contribute to improving the efficiency and reducing health procedures costs, this research aimed to unite in an intervention method the BFB-EMG technologies with the assistance of FES current and, then conceived in one box, the synergy between them. The test proposed by this research assessed the BFB-EMG in a group of 10 volunteers, control group and also evaluated the BFB-EMG with current assistance FES other 10 volunteers, the intervention group, the research followed all ethical criteria and approves the committee ethics in research with human beings of UEPB, data collection was held at SESI-PB and equipment developed in the laboratory of researchers. All statistical tests projections showed relevance and alternative hypotheses different from zero, with differences between the most favorable medium for the intervention group made use of EMG-BFB with the current FES assistance for muscle recruitment. The team devised a device that united the EMG BFB-technologies with the current FES, which is in the final testing phase, with good response and functionality. More elaborate research needs to be encouraged to build this methodological and technological innovation for physiotherapy as to combine the two technologies the

new method needs to be thoroughly tested and proven by the scientific community.

Keywords: Surface electromyography; Electromyographic biofeedback; Muscle recruitment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Eletrodos de superfície.....	20
Figura 2: Exemplo de filtros.....	21
Figura 3: Biofeedback Eletromiográfico.....	27
Figura 4: Aparelho de eletroestimulação funcional.....	31
Figura 5: Neurodyn III Ibramed ^R e Miotec ^R	35
Figura 6: Posicionamento dos eletrodos BFB-EMG mais FES.....	39
Figura 7: Software biofeedback e eletromiógrafo de superfície Miotec ^R	39
Figura 8: Protótipo em fase final de testes.....	44
Figura 9: Protótipo Biofeedback eletromiográfico assistido com corrente FES.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados de coleta do grupo controle.....	40
Tabela 2: Dados de coleta grupo intervenção.....	42
Tabela 3: Dados de coleta dos grupos controle e intervenção em comparação.....	43

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1-Teste de Normalidade Shapiro-Wilk para o grupo controle.....	41
Gráfico 2-Teste de Normalidade Shapiro-Wilk para o grupo intervenção.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS

EMG- Eletromiografia

EMG's-Eletromiografia de superfície

FES-Eletroestimulação funcional

μ V-Micro volts

mm-milímetros

mA-mili ampère

V-Volts

ON-ligado

OFF-desligado

Hz-Hertz

AVE-Acidente vascular encefálico

BFB-EMG-Biofeedback eletromiográfico

NUTES-Núcleo de Tecnologias Estratégicas em Saúde

UEPB-Universidade Estadual da Paraíba

SESI- Serviço Social da Indústria

SENIAM- *Surface EMG for Non-Invasive Assessment of Muscles*

Sumário

1	Introdução	16
2	Referencial Teórico	19
2.1	Eletromiografia de superfície (EMG's)	19
2.1.1	Aquisição do sinal e eletrodos	20
2.1.2	Instrumentação do EMG	20
2.1.3	Preparação para colocação dos eletrodos	21
2.1.4	Processamento do sinal	21
2.1.5	Recomendações SENIAM de sensores bipolares	22
2.2	Biofeedback eletromiográfico (BFB-EMG)	22
2.2.1	Conceito	22
2.2.2	Aplicações do BFB-EMG	24
2.2.3	Instrumentação do Biofeedback Eletromiográfico (BFB-EMG)	26
2.3	Estimulação elétrica funcional (FES)	27
2.3.1	Definição e aplicações	27
2.3.2	Instrumentação do FES	30
2.3.3	Parâmetros	31
3	Objetivos da investigação	33
3.1	Gerais	33
3.2	Objetivos específicos	33
4	Planejamento metodológico do experimento	34
4.1	Métodos de execução	34
4.2	Teste de avaliação	34
4.3	Local da Pesquisa	35
4.4	Escolha do experimento.	35
4.5	População e Amostra da Pesquisa.	36
4.6	Critérios de Inclusão e Exclusão	36
4.7	Critérios Éticos	36
4.8	Fonte de Custeio	37
4.9	Análise dos Dados	37
4.10	Créditos acadêmicos da equipe técnica	37
4.11	Critérios de Regulação e Usabilidade	37
4.12	Instrumentação e diagrama de blocos do Protótipo	38
5	Resultados	39

6 Discussão.....	45
7 Conclusão	51
Referencias	53
APÊNDICES	60
APÊNDICE A.....	61
APÊNDICE B.....	63
APÊNDICE C.....	64

1 Introdução

É notória a importância das inovações tecnológicas na fisioterapia atual. Elas são consideradas como meios fundamentais de proporcionar avanços cada vez mais solucionadores de problemas e de melhorias de métodos e técnicas de abordagem de diagnóstico e tratamento de doenças, proporcionando aos pacientes uma melhor qualidade de vida e uma maior independência funcional, pela precocidade com que é instituída a terapia (CUNHA *et al*, 2007).

A eletroterapia e o eletrodiagnóstico são técnicas eficazes e fundamentais no diagnóstico e reabilitação de pacientes com lesões neuromusculares. O eletrodiagnóstico determina o tipo e a quantidade de fibras musculares que estão lesionadas dando suporte para eletroterapia realizar os procedimentos de recuperação cinético-funcional destas estruturas lesionadas.

Um dos mais importantes métodos de eletrodiagnóstico é a Eletromiografia de Superfície (EMG's) e, dentre as técnicas de eletroterapia, destaca-se a Eletroestimulação Funcional – FES (OLIVEIRA *et al*, 2012).

Historicamente a eletromiografia de superfície (EMG's), foi desenvolvida para determinar e avaliar o grau de lesão das estruturas musculares. Pesquisas atuais têm demonstrado que a ativação de grupos musculares precisa ser mais detalhada e específica para tornar mais eficiente a resposta de músculos aos exercícios de treinamento e de reabilitação, principalmente, em paciente com alguma perda da resposta muscular voluntária (CUNHA e BONFIM, 2007).

Algumas pesquisas têm demonstrado que a eletromiografia de superfície (EMG's) pode ser utilizada como ferramenta de biofeedback em reabilitação e reaprendizado motor, em sequelados de patologias neurológicas e/ou musculares. Ela é realizada colocando-se eletrodos sobre a pele que recobre o músculo a ser trabalhado. Estes eletrodos captam e transmitem a um processador, o sinal eletromiográfico que fornece uma retroalimentação auditiva e/ou visual proporcional à resposta da atividade do músculo (LOPES *et al*, 2004).

Sabe-se, ainda, que a EMG's é uma técnica criada para avaliação do desempenho muscular e o biofeedback eletromiográfico trouxe uma inovação a esta tecnologia à medida que possibilitou ao paciente um processo de fortalecimento muscular, orientado através da retroalimentação dos sinais emanados da atividade muscular (VIUDES, 2005).

O Eletromiógrafo de superfície realiza a captação do sinal elétrico gerado pelo músculo durante a contração, condiciona e converte em um sinal digital que é

apresentado e trabalhado matemática e estatisticamente. Já o biofeedback eletromiográfico é uma modalidade de treinamento muscular que fornece um estímulo de retroalimentação positiva captada a partir da contração muscular, enquanto que a corrente FES oferece um aporte de estímulos elétricos que ativam as unidades (VIEIRA, MALTA e SABINO, 2007).

Justificando-se na necessidade de se buscar novas abordagens e inovações tecnológicas que contribuam para a melhoria da eficácia e da redução dos custos com procedimentos de saúde, é fundamental que haja mais incentivos à busca dos mesmos, em particular, para a fisioterapia atual, como é o caso do presente trabalho, que pretendeu, através da sinergia entre dois métodos, a eletroterapia e o biofeedback, potencializar a eficácia deles no recrutamento muscular de um modo geral. A inovação tecnológica pode facilitar o atendimento em tratamentos neuromusculares.

A problemática levantada por esta pesquisa buscou unir em um método de intervenção as tecnologias de biofeedback eletromiográfico com a assistência da corrente FES e, em seguida, idealizou, em um só equipamento, a sinergia entre as mesmas: Biofeedback eletromiográfico (BFB-EMG) com assistência da corrente FES.

O teste proposto por esta pesquisa avaliou o BFB-EMG num grupo de 10 voluntários, denominado de grupo controle, e também avaliou o BFB-EMG com assistência da corrente FES noutros 10 voluntários, que foram denominados de grupo intervenção. Para ambos os grupos os pesquisadores realizaram avaliação eletromiográfica antes e depois de 10 sessões de intervenção de recrutamento muscular do músculo reto femoral direito.

Este projeto idealizou e implementou o método de união de duas tecnologias de intervenção fisioterapêutica para recrutamento muscular, biofeedback eletromiográfico (BFB-EMG) assistido por corrente FES, como também idealizou um protótipo de equipamento capaz de associar os procedimentos de captação do sinal eletromiográfico decorrente da contração voluntária assistida com estímulo de corrente FES.

Os pesquisadores realizaram e desenvolveram um modelo de teste da associação das tecnologias citadas acima, BFB-EMG e FES, como forma de provar a eficácia da união das mesmas na conduta fisioterapêutica para recrutamento muscular, além disso idealizaram e construíram o protótipo pretendido que uniu as tecnologias usadas na pesquisa. Tecnicamente foi útil e necessária a composição de uma equipe coordenada pelos pesquisadores, que usou os conhecimentos de eletrotécnica e programação de computadores e micro controladores para a confecção do protótipo.

Os principais resultados apontaram normalidade dos dados coletados pelo teste de

Shapiro-Wilk e aumento considerável da amplitude eletromiográfica do grupo intervenção em relação ao grupo controle, com diferença das médias entre ambos de 10,6%, no teste *t* de Student para as amostras independentes, com intervalo de confiança de 95% e o *P*-valor de 0,003959216 confirmando a hipótese diferente de zero.

Com relação ao teste *t* de Student em amostras pareadas, o grupo controle, apenas BFB-EMG, obteve valor da Média das Diferenças (Antes-Depois) de 76,855 (microvolts), com *P*-valor igual a 0,000540039.

Já para o grupo intervenção, também com teste *t* de Student em amostras pareadas, o valor da Média das Diferenças (Antes-Depois) foi de 105,956 (microvolts) e *P*-valor igual a 0,000641899, também confirmando o padrão de confiança de 95%.

Todas as projeções de testes estatísticos apresentaram relevância e hipóteses alternativas diferente de zero, com diferenças entre as médias mais favoráveis para o grupo intervenção que fez uso do BFB-EMG com assistência da corrente FES para o recrutamento muscular. A equipe de pesquisadores idealizou um equipamento que uniu as tecnologias de BFB-EMG com a corrente FES, que se encontra em fase final de testes, com boa resposta e funcionalidade.

Pesquisas mais elaboradas precisam ser incentivadas para concretização desta inovação metodológica e tecnológica para a fisioterapia, pois ao unir as duas tecnologias o novo método precisa ser exaustivamente testado e comprovado pela comunidade científica.

2 Referencial Teórico

2.1 Eletromiografia de superfície (EMG's)

A EMG's é definida como uma técnica que promove a detecção e análise do sinal eletromiográfico captado pela contração perceptível ou não dos músculos esqueléticos. Foi amplamente difundida a partir da década de 90 com a publicação de inúmeros trabalhos científicos que abordaram temas de anatomia, de investigação biomecânica e de controle motor.

Para aquisição dos sinais pode-se utilizar eletrodos de superfície, não invasivos, e eletrodos de agulha, invasivos, sendo, estes últimos, mais eficientes durante a análise de músculos-alvos em áreas de difícil captação, como as mãos e a face (TANK *et al*, 2009).

O eletromiógrafo registra a atividade elétrica presente no músculo em contração, a qual decorre normalmente da ativação neuromuscular. O sinal registrado é composto pela soma das atividades elétricas de unidades motoras ativas. As contrações musculares são estimuladas pelo potencial de ação de unidades motoras, o qual se move ao longo do sarcolema das fibras musculares. As principais características do sinal eletromiográfico avaliadas são as variáveis de amplitude e de frequência. A amplitude eletromiográfica é usada, principalmente, para avaliar e quantificar padrões de força muscular e a frequência para avaliar as mudanças fisiológicas que ocorrem durante o trabalho muscular, como a fadiga, por exemplo, (OLIVEIRA *et al*, 2012).

O EMG's é tido não somente como um importante instrumento de utilização na prática clínica, diagnóstica e terapêutica, mas, também, como formidável ferramenta de pesquisa científica, onde suas principais abordagens são no estudo da atuação de músculos como agonistas e antagonistas, buscando coletar informações detalhadas sobre o desempenho dessas funções no organismo e sua influência no movimento humano. Também é importante ressaltar que, a despeito da grande evolução atual, ainda faltam modelos consensuais de padronização de parâmetros de utilização dessa tecnologia, tais como: posicionamento dos eletrodos sobre a pele, tempo de contração de fibras tônicas, número de contrações de fibras fásicas, avaliação concomitante de músculos agonistas e antagonistas, entre outros (RESENDE *et al*, 2011).

Além de seu emprego na avaliação do processo de contração muscular, as técnicas de eletromiografia vêm sendo também utilizadas na avaliação dos mecanismos de instalação e resolução da fadiga muscular, tanto em pessoas saudáveis como em portadoras de lesões instaladas, como, por exemplo, a lombalgia.

O EMG's permite a análise espectral dos sinais eletromiográficos quanto à frequência média (FM) e, quando ela decai em contrações fatigantes, é medida objetiva do processo de fadiga muscular (KAWANO *et al*, 2008).

A eletromiografia também é o método de avaliação do comportamento muscular escolhido em situações ocupacionais e isquêmicas, possibilitando melhores procedimentos de avaliação e de tratamento de lesões neuromusculares, através da análise do espectro de potencia do sinal eletromiográfico e, também, da amplitude deste sinal (BANDEIRA, BERNI e RODRIGUES-BIGATON, 2009).

2.1.1 Aquisição do sinal e eletrodos

Sensores (eletrodos) cutâneos superficiais ou invasivos têm por função captar a atividade mioelétrica por meio do potencial de despolarização da contração muscular, os amplificadores ampliam este sinal elétrico, para então serem codificados em visualização gráfica e/ou audição. Os eletrodos têm por função monitorar o sinal eletromiográfico convertendo a corrente iônica bioelétrica a uma corrente formada por elétrons. Os eletrodos mais utilizados são os de superfície e os intramusculares, o tamanho, formato e material também influenciam na captação do sinal mioelétrico. Aqueles são comumente constituídos com Prata/Cloreto de Prata (Ag/AgCl) e Prata (Ag) com formato circular e contato à pele em gel com metal (RAINOLDI, MELCHIORRI e CARUSO, 2004).

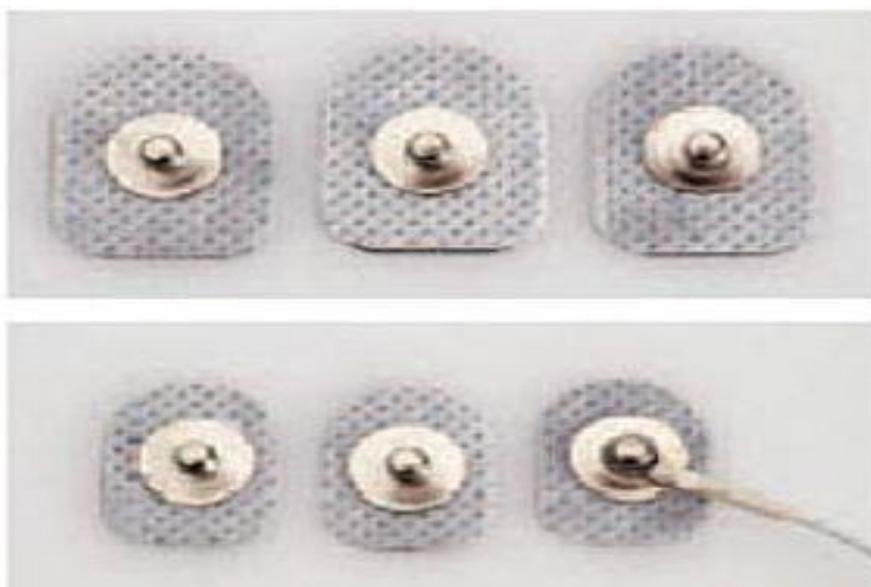


Figura 1-Eletrodos de superfície

2.1.2 Instrumentação do EMG

O processo de aquisição dos sinais mioelétricos pode sofrer interferências de

alimentação elétrica do equipamento, componentes elétricos, fontes de estimulação muscular, atividade de outros músculos, além de interferência dos próprios eletrodos de aquisição, estes podem ser minimizados com a limpeza dos eletrodos. Tais interferências podem ser minimizadas com uso de filtros, estes são dispositivos eletrônicos ou ferramentas digitais que atenuam variações específicas de frequências, em geral, podem ser usados quatro tipos básicos de filtros: filtro passa-alta (high pass), filtro passa-baixa (low pass), filtro rejeita banda (stop band) e filtro passa banda (band pass) (FORTI,2005).

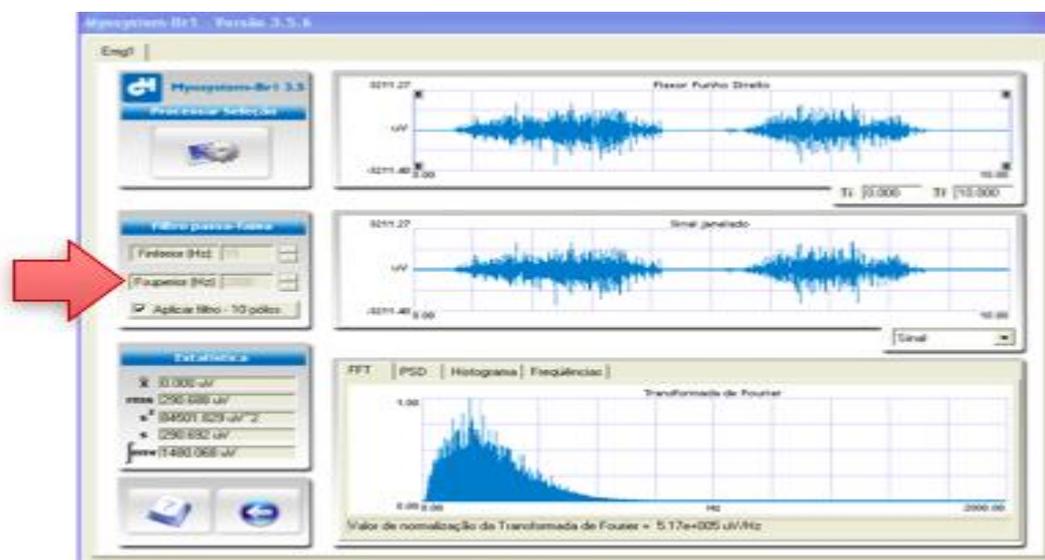


Figura 2: Exemplo de Filtros

2.1.3 Preparação para colocação dos eletrodos

A pele humana também pode interferir na aquisição dos sinais eletromiográficos se não for minimizada a impedância, resistência gerada pela pele às correntes de baixa frequência. Como forma de minimizar esta impedância é recomendável à realização de tricotomia, limpeza com álcool e com algumas controvérsias a abrasão da pele com lixa (PORTNEY e ROY, 2004).

2.1.4 Processamento do sinal

O circuito de processamento do sinal tem como principais instrumentos o amplificador que reproduz o evento bioelétrico com o mínimo de distorções, as características deste amplificador são alta impedância de entrada com normalmente uma largura de banda de 1 a 3000 Hz e ganho adequado para amplificar o pico do EMG para um nível de saída de 1 V, para assegurar fidelidade do sinal. Condicionador do sinal, que tem por função adequar o sinal eletromiográfico lido pelos sensores e o detector de envoltórias que seleciona a faixa adequada de sinal que após filtragem irão compor as

respostas gráficas e visuais adequadas (ANDRADE, 2007).

2.1.5 Recomendações SENIAM de sensores bipolares

Estas recomendações foram sugeridas em estudo confiável, trata da distância dos eletrodos, formato e tamanho destes, material e outros. Como ponto fraco destas recomendações é o fato de apenas contemplarem os sensores bipolares. Para músculos grandes a recomendação é de 20 mm entre os centros dos eletrodos, já para captação de músculos pequenos é aconselhável uma distância que não exceda 1/4 (25%) do tamanho do músculo a ser analisado. Em relação ao tamanho do eletrodo e sua área de captação dos sinais, esta recomenda não superior a 10 mm. Sobre o material dos sensores o estudo aconselha que o material apresenta sua aderência a pele, baixa impedância sensor-pele e permaneça estável às reações químicas com a pele, seu material adequado é o Ag/AgCl com gel (MESIN, TIZZANI e FARINA, 2006).

O estudo SENIAM faz referencia a 27 músculos diferentes, porém estas recomendações são em especial ao músculo reto-femoral, faz ainda como sugestão a limpeza com álcool, tricotomia e preparação da área da pele, os eletrodos devem ser colocados na metade da distância sobre uma linha da espinha íliaca ântero-superior até o bordo superior da patela. Fixá-los com fita dupla face ou tiras elásticas (SCHWARTZ, 2010).

O protocolo SENIAM para posicionamento dos eletrodos em EMG já foi corroborado por estudos que avaliaram a atividade eletromiográfica principalmente dos extensores do joelho, os mesmos indicam que aquele protocolo deve ser seguido para melhor obtenção das respostas musculares, o posicionamento do eletrodo EMG apresentou melhores resultados quando posicionado no médio ventre muscular destes músculos como reto femoral e vasto lateral (FINNI e CHENG, 2009).

2.2 Biofeedback eletromiográfico (BFB-EMG)

2.2.1 Conceito

É uma técnica de aprendizado definida como um processo de monitoração de eventos fisiológicos internos, normais e anormais, geralmente realizado por meio de eletrodos de superfície colocados sobre os músculos. Eles captam o sinal elétrico dos músculos em atividade, em microvolts (μV), e o transfere para um display que é visualizado pelo paciente na forma de sinais denominados de amplitude eletromiográfica.

Historicamente pode-se afirmar que a tecnologia biofeedback por EMG vem sendo utilizada desde que foi realizado o primeiro exame diagnóstico pela EMG, ao ser pedido que o indivíduo olhasse o osciloscópio e/ou que ouvisse o som da atividade eletromiográfica em um alto falante para relaxar ou para aumentar a atividade muscular (SILVA JUNIOR, 2013).

Pode ser utilizado para informar ao paciente sobre a atividade muscular, com o objetivo de controlar, pelo aprendizado, as respostas fisiológicas retroalimentadas, favorecendo o controle voluntário dos movimentos (controle motor); interação sensório-motora do circuito neuromuscular em casos de lesões; percepção mais elaborada da coordenação motora; além da redução da dor, através do relaxamento muscular (KIRNAP *et al*, 2005).

O BFB-EMG traz informações, em tempo real, dando ao paciente e ao terapeuta um feedback imediato da atividade elétrica muscular desenvolvida durante o movimento realizado, armazena as informações para posterior comparação e avaliação, não é invasivo e é uma técnica totalmente indolor, não apresenta efeitos colaterais e induz a atenção e a motivação do paciente. O método torna-se ainda mais benéfico quando aplicado com a consciência de suas potencialidades e limitações, proporcionando melhorias nos índices da amplitude mioelétrica registrada, que representam os ganhos de força e de controle motor, auferidos (BOTELHO e GODOI, 2003).

Algumas pesquisas utilizam células de carga acopladas a um sistema de biofeedback, nos quais elas geram um sinal que, juntamente com o sinal eletromiográfico, proporciona mais uma forma de estímulos visuais de retroalimentação. Essas grandezas apresentadas visualmente servem de estímulo para que o indivíduo execute as atividades mais eficientemente e, também, de fonte de análise por parte do examinador ou condutor da terapia física, como forma de identificar qual grupo muscular realizou com mais eficácia um determinado movimento (JUNG, KIM e LEE, 2014).

Os aparelhos de BFB-EMG mais modernos apresentam um sistema de software que promovem retroalimentação ao movimento e à atividade elétrica muscular. Esse sistema apresenta em forma de gráficos e armazena dados das respostas musculares ao exercício, o que pode tornar a técnica de treinamento neuromuscular mais eficaz para terapeuta e paciente, como é o caso do equipamento Miotec com software Miotool 400^R, de quatro canais, com eletrodos de superfície Double Ag/AgCl, usado neste trabalho (BERNARDES, GOMEZ e BENTO, 2010).

2.2.2 Aplicações do BFB-EMG

São diversas as aplicações clínicas nas mais distintas áreas da saúde humana que fazem uso atualmente da técnica de BFB-EMG como procedimento eficaz de recuperação e de reaprendizado motor. Na clínica uroginecológica as técnicas de recuperação da incontinência urinária de esforço têm se tornado cada vez mais sólidas pela associação com o BFB-EMG, onde se conclui que os exercícios do assoalho pélvico quando atrelados à técnica do BFB-EMG podem ser uma alternativa eficaz no tratamento conservador, mesmo em mulheres em período fértil (RETT, 2004).

Também como medida de prevenção e reabilitação da incontinência urinária, o BFB foi utilizado em sessões de recrutamento muscular do assoalho pélvico em mulheres grávidas de baixo risco no segundo trimestre, as mesmas foram avaliadas em sua amplitude eletromiográfica, este método de avaliação é entendido como um procedimento eficaz na mensuração da atividade muscular, os resultados obtidos apontaram que o BFB citado acima pode ter eficácia na prevenção e reabilitação da incontinência urinária (BATISTA *et al*, 2011).

Na clínica pediátrica também já foi testado com bons resultados a utilização do biofeedback para recuperação de transtornos miccionais. Nesta pesquisa foi utilizado o método do biofeedback com eletrodos de superfície apresentando índices de cura em 40% e melhora do quadro de 20,5% nas crianças tratadas. É importante relatar que o estudo não observou qualquer melhora em 26% dos casos tratados, logo o autor indicou a terapia de biofeedback com eletrodos de superfície para treinamento dos músculos do assoalho pélvico em crianças com transtornos miccionais, como método eficaz, porém ainda recomenda a assistência combinada de outras medidas terapêuticas (BLANCO *et al*, 2006).

As vantagens das técnicas de biofeedback no processo de reabilitação demonstram serem as mais promissoras possíveis, principalmente no processo de recuperação funcional da marcha hemiparética, além de melhorar a funcionalidade dos membros superiores, sendo também referenciado pelo ministério da saúde (MS) brasileiro, o mesmo publicou em 2013 um documento que estabelece diretrizes de atenção á reabilitação de pessoa com acidente vascular encefálico-AVE. Esta diretriz recomenda o uso do biofeedback como medida de inclusão no protocolo para recuperação de espasticidade, disfunção da marcha, disfunções manuais, contraturas e sincinecias (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2013).

O mesmo BFB-EMG também pode ser usado como recurso de tratamento em

pacientes com paralisia obstétrica, neste caso estudos demonstrou eficiência na melhoria do ganho de forma em músculos com perda funcional decorrente da avulsão do plexo braquial, por mais que os ganhos de força tenham sido consideráveis, só as intensidades de mais pesquisas comprovarão a real inserção dessa técnica na disfunção estudada (TAMANINI, 2011).

O biofeedback já foi testado no campo do esporte em indivíduos com paralisia cerebral espástica. Nesta área o objetivo é promover uma retroalimentação dinâmica durante o ato esportivo e com isso proporcionar uma correção de alguma ação fisiológica ou motora agravada pela deficiência. Tal estudo demonstrou a eficiência da utilização do biofeedback auditivo, reafirmando as seguintes vantagens do método: reabilitação motora com melhora da força muscular e redução da espasticidade; melhora do rendimento do treinamento esportivo; mais rápida reabilitação de lesões esportivas; melhor controle de sinais vitais (pressão arterial, frequência cardíaca); e melhora do controle emocional (CRUZ, 2003).

O controle neuromotor pode ser entendido como uma das grandes vantagens proporcionadas pelo BFB-EMG, particularmente em lesões que provocam disfunções neurofuncionais, pesquisa recente realizou estudo de caso em paciente com síndrome do impacto subacromial, o mesmo foi submetido a sessões de BFB-EMG visual, obteve como resultado positivo melhora da ativação motora em músculos prejudicados pela síndrome citada, esses benefícios devem ser estudados para indicar melhora do quadro clínico desta patologia (LARSEN *et al*, 2013).

Os músculos lesionados ou sadios transmitem sinais elétricos pela despolarização e repolarização celular. Estes sinais são captados na forma de sinais eletromiográficos, em μV , e interpretados como sinais analógicos e/ou digitais denominados de amplitude eletromiográfica, que podem representar, proporcionalmente, a força gerada pelos músculos (ARAÚJO, 2006).

Muitas técnicas de fisioterapia não oportunizam, ao paciente, a aquisição de um processo de aprendizagem, que é extremamente benéfico durante o treinamento de recuperação. O BFB-EMG, por permitir a retroalimentação dos sinais mioelétricos, promove mais eficácia na reabilitação de pacientes, pois estes pela apropriação de autoconhecimentos sobre eventos fisiológicos normais e anormais internos, retroalimentados por meio de sinais visuais e/ou auditivos, interferem positivamente no processo de recuperação. Recente pesquisa com pacientes hemiplégicos, sequelados de Acidente Vascular Encefálico – AVE, utilizou BFB-EMG com estímulo auditivo, obtendo melhora de 30% nos valores da EMG's para o extensor comum dos dedos da mão e

melhoria de 23,6% na força de preensão palmar (SOARES *et al*, 2009)

Os benefícios da técnica de biofeedback no processo de retroalimentação são a grande marca dessa técnica, ela permite ao próprio paciente entender e regular suas funções corporais mais voluntárias ou não, como ocorreu com estudo que constatou a eficácia do BFB-EMG para alterar o padrão muscular da região escapular e com isso favorecer a dinâmica da região nos casos de lesão ou não, com isso o padrão muscular se torna mais harmônico a dinâmica artrocinemática, logo este estudo corrobora o citado anteriormente sobre tais benefícios, nele o paciente foi incentivado a corrigir sua atividade muscular específica por um processo de retroalimentação (HUANG *et al*, 2013).

É importante enfatizar que o BFB-EMG promove a recuperação cinético-funcional que por sua vez é afetada nas lesões neuromusculares, o efeito desse método é mais eficiente, pois o princípio da intervenção é conseguido por um processo de retroalimentação entre a tecnologia e o paciente gerando assim o aprendizado e controle das ações motoras e biomecânicas (MAZZOLA, 2013).

Logo por sua grande difusão e eficiência nas diversas áreas da saúde, o biofeedback já comporta duas subdivisões que são: Biofeedback Biomecânico com abordagem no movimento, controle postural e força; completando com o Biofeedback Fisiológico com abordagem neuromuscular, cardiovascular e respiratória. Aquele que é responsável atualmente pela melhoria dos processos de reabilitação neuromotora e com destaque para o BFB-EMG, ele proporciona, como já dito anteriormente, um processo de incorporação do paciente ao seu próprio progresso de reabilitação e é por essa ótima proposta de reabilitação física, que esta pesquisa busca corroborar a atuação do BFB-EMG (GIGGINS, PERSSON e CAULFIELD, 2013).

Embora existam pesquisadores que não atribuam os resultados da reabilitação motora de pós-operatório ortopédico os métodos do BFB-EMG, ainda que sejam minoria merecem ser citados como forma de elucidar algumas dúvidas científicas para o fortalecimento entre os pares e a comunidade científica, como objetivo de tornar o BFB-EMG como método reconhecidamente eficaz e padrão para tais processos de reabilitação motora e biomecânica (VIEIRA, MALTA e SABINO, 2007).

2.2.3 Instrumentação do Biofeedback Eletromiográfico (BFB-EMG)

No mercado atua nacional existem duas marcas que são as mais importantes de

BFB-EMG, todas elas associam as tecnologias do EMG com o processo de retroalimentação muscular, que é o BFB, neste processo é importante enfatizar que o BFB-EMG não mede a contração muscular diretamente, mas sim a atividade elétrica associada à contração muscular.

A medida da atividade eletromiográfica é realizada em unidades quantitativas padrão (microvolts), a monitoração das alterações dessa atividade elétrica é útil e objetiva na comparação do processo de recrutamento muscular pelo próprio indivíduo e pelo terapeuta. A unidade de BFB-EMG recebe pequenas quantidades de atividade elétrica geradas por recrutamento muscular e captadas pelos eletrodos ativos que e de referência, em seguida estes sinais são amplificados e filtrados de possíveis interferências, por fim estes sinais elétricos emanados dos músculos são convertidos em unidades de informação significativas para o usuário, como a amplitude eletromiográfica, visualizado em tela de softwares específicos. Alguns BFB-EMG além de sinais visuais apresentam interfaces sonoras, dependendo do fabricante (DOSEN *et al*, 2015).



Figura 3: Biofeedback Eletromiográfico

2.3 Estimulação elétrica funcional (FES)

2.3.1 Definição e aplicações

A estimulação elétrica funcional (Functional Electrical Stimulation - FES), pode ser definida como uma corrente de estimulação elétrica transcutânea dos neurônios motores, com características semelhantes à fisiológica e com a finalidade de produzir

contração muscular. Sistemas de estimulação elétrica funcional (FES) são usados na prática clínica para o fortalecimento muscular, assim como para a recuperação e preservação funcional dos músculos enfraquecidos, logo define-se como indicações basilares o condicionamento muscular, condicionamento do padrão neuromotor e reorganização do padrão motor (ECARD *et al*, 2007).

As contrações induzidas são obtidas através de pulsos elétricos com duração de ordem de grandeza de segundos aplicados sobre frequência controlada. Com isso obtêm-se contrações em condições mais fisiológicas, sem o risco de queimaduras e o desconforto produzido pela exposição mais severa à eletricidade, como em outras técnicas de eletroestimulação. A FES provoca a contração de músculos paralisados ou enfraquecidos decorrente de lesão do neurônio motor superior, como derrames, traumas raqui-medulares ou crânio-encefálicos, paralisia cerebral, entre outros (KRUEGER-BECK *et al*, 2011).

A utilização da corrente FES já ultrapassa os limites da aplicação osteomuscular e, estudos recentes, têm demonstrado que a corrente FES pode, por aplicação transcraniana, surtir efeito positivo na diminuição da hipoperfusão cerebral em pacientes com pós-trauma craniano, submetidos à terapia pela corrente (AMORIM *et al*, 2011).

Em processo de reabilitação física suas aplicações são as mais diversas possíveis, como observado em estudo de caso clínico com idoso centenário, a corrente FES usada em frequência baixa de 20 Hz e tempo de contração 5 segundos com 10 segundos de repouso durante um período de 12 semanas, conseguiu influenciar positivamente na melhoria funcional da mesma, pois aumentou em 70 % a distância percorrida em testes de caminhadas e reduziu em 8 mmHg e 4 mmHg as pressões arteriais sistólica e diastólica respectivamente, logo é notório que o recrutamento muscular também influi na funcionalidade sistêmica do indivíduo (EIBEL *et al*, 2011).

Após avaliação de diversos parâmetros para o músculo quadríceps, constatou-se que altas frequências e corrente FES podem desencadear efeitos de tetânia muscular, com ineficácia na produção de força, parâmetros em frequência e duração de pulso fixas de 50 Hz e 300 μ s, respectivamente, observou-se uma relação direta do aumento da amplitude de corrente com o incremento de força (BOHÓRQUEZ, SOUZA e PINO, 2013).

Para obtenção de um movimento por eletroestimulação funcional de um membro paralisado, um simples pulso elétrico é insuficiente, sendo, portanto, necessário uma série de estímulos, com certa duração e com uma apropriada frequência de repetição. O ideal é

a utilização de pulsos com a duração suficiente para ser eficaz na estimulação do músculo, porém o mais breve possível a fim de se respeitar o conforto do paciente (SBRUZZI *et al*, 2011).

Na prática clínica fisioterapêutica a principal indicação do uso da corrente FES é a contração muscular em patologias osteomusculares, neumusculares e neurológicas como o AVE, porém algumas contraindicações devem ser citadas como: lesões que afetam a placa motora e impedem a passagem do impulso nervoso para o músculo tornando a aplicação sem finalidade, miopatias, neuromiopatias periféricas, distúrbios sensoriais, uso de marca-passo cardíaco e disritmia cardíaca. O uso da corrente FES em diversas patologias pode promover condicionamento muscular, redução da espasticidade, reorganização do padrão motor, ganho ou manutenção da amplitude de movimento, ser usada como órtese, entre outros benefícios (PALÁCIO e FREITAS, 2008).

Corrêa *et al* 2009, avaliou 18 pacientes hemiparéticos pós-AVE que foram submetidos à corrente quadrada bifásica FES e os resultados foram favoráveis na melhora da funcionalidade muscular parética, porém sem conclusão de definição sobre quais parâmetros seria mais favorável para se evitar fadiga muscular durante sua utilização.

A eletroestimulação muscular foi observada como fator de melhora da doença arterial obstrutiva crônica, cujo estudo em questão afirma através de revisão literária que a eletroestimulação é benéfica para promover melhora do crescimento capilar, conversão de fibras tipo II em tipo I, melhora da densidade capilar e aumento do aporte de oxigênio nos tecidos, melhorando assim a habilidade de caminhar de pacientes, diminuindo a claudicação. Também é importante ressaltar que essa tecnologia de estimulação muscular se torna mais eficiente quando associada a exercícios de fisioterapia (MEDEIROS, CHALEGRE e CARVALHO, 2007).

Outra consideração importante acerca da eletroestimulação muscular é sobre a conduta terapêutica em casos de paralisia facial periférica ou paralisia de Bell. Estudos consideram que essa técnica obteve resultados favoráveis na funcionalidade da motricidade facial, seja na aplicação precoce em fases agudas ou em fases crônicas. Os principais protocolos abordados discutidos no estudo de revisão apresentaram a melhor eficácia em frequências abaixo de 100 Hz e dinâmicas de 2 segundos ON / 2 segundos OFF, como também dinâmicas de 6 segundos ON / 6 segundos OFF. Esse estudo também afirmou ser importante a eletroestimulação em casos de lesões neuromusculares do nervo facial, principalmente para lesões do tipo neurotmeze (LIMA e CUNHA, 2011).

A eletroestimulação foi apontada em estudos como fator de amenização ao aumento da expressão de genes que provocam a atrofia muscular, esse fator é importante ao se considerar a grande utilização dessa medida terapêutica na clínica fisioterapêutica, no entanto, o método em questão não apresenta eficácia científica para a recuperação de atrofia muscular proporcionada por desnervação, mostrando assim carência científica desse método (SALVINI *et al*, 2012).

Na mesma linha de pensamento estudo com cobaias, ratos Wistar (*Rattus norvegicus albinus*), após desnervação do nervo isquiático e consequente perda de fibras musculares o uso da intervenção de corrente eletroestimuladora funcional apontou que uma reversão positiva, ganho das fibras musculares perdidas após 20 sessões com a corrente de eletroestimulação, isso contraria a conclusão do estudo citado anteriormente mesmo levando em consideração que aquele usou seres humanos e estes animais, mas corrobora a proposta dessa pesquisa (BAPTISTELLA, 2013).

Em outro estudo com ratos, a eletroestimulação muscular com frequência máxima de 50 Hz e decaimento até 1 Hz, apresentou manutenção temporária da estrutura e função do músculo tibial anterior desnervado através da eletroestimulação seletiva, mostrando que há eficácia no uso dessa tecnologia como método terapêutico de assistência ao movimento humano, valendo salientar que o objeto de estudo foram ratos (POLÔNIO *et al*, 2010).

Como auxílio ao movimento humano a eletroestimulação funcional (FES) é uma ferramenta muito útil para proporcionar melhoria e reabilitação cinético-funcional, apesar de já existir inúmeras pesquisas ainda pode-se argumentar como essa corrente pode trazer inovação ao processo de recuperação motora, como ocorre com o uso das órteses elétricas funcionais usadas para melhoria da deambulação dos pacientes com sequela no membro inferior distal pós acidente cerebral vascular, proporcionando maior independência funcional e qualidade de vida aos usuários (PALÁCIO e FREITAS, 2008).

2.3.2 Instrumentação do FES

Na maioria dos casos o aparelho de eletroestimulação funcional desempenha a aplicação de corrente elétrica de baixa frequência e amperagem, controlados analogicamente ou digitalmente, sua alimentação pode se dar por baterias ou através da rede elétrica convencional.

De um modo geral o FES funciona com atuação de um gerador e amplificador de

corrente, onde através de eletrodos emitem corrente que estimulam a formação de contração muscular, essas correntes são de baixa frequência e amperagem, como descrito acima, além destes detalhes os aparelhos de FES devem conter potenciômetros que diferem por marcas em analógicos ou digitais (KITCHENS e BAZIN, 2003).



Figura 4: Aparelho de eletroestimulação funcional

2.3.3 Parâmetros

A principal dificuldade encontrada na aplicação clínica da FES é a falta de padrões adequados de estimulação, em particular o da amplitude de corrente, capaz de promover a realização de um movimento pré-estabelecido em uma parte do corpo lesada. Os principais parâmetros que são utilizados na corrente FES (frequência em hertz, intensidade de corrente em miliampéres e duração dos pulsos em milissegundos) podem determinar diferentes respostas, a nível motor. Vários estudos em seres humanos e em animais apresentam resultados satisfatórios na melhoria da condição neuromuscular dos músculos estimulados através de eletrodos de superfície pela FES (COSTA *et al*, 2008).

Os principais parâmetros que uma corrente de eletroestimulação funcional precisa oferecer a utilização da prática clínica e eletroestimulação muscular são:

- *Trem de Pulso*: É a sequência de estímulos. Ele pode ser retangular, porém fases de ascensão e descida mais inclinadas possibilitam uma contração muscular com características mais biológicas;

- *Largura de Pulso (T)*: Tempo em que a corrente permanece na pele do paciente, ou seja, é a duração do pulso elétrico.

- *Frequência*: É o número de pulsos por segundo, expressos em Hertz (Hz). Frequências elevadas acarretam fadiga muscular e frequências muito baixas não permitem que a contração muscular produza trabalho funcional eficiente.

Não existindo como dito anteriormente um consenso que se refira aos valores de cada item citado acima, no entanto a sensibilidade e o conforto do paciente deve sempre ser levados em consideração (KITCHENS e BAZIN, 2003).

Como ênfase na estimulação muscular, especificamente do quadríceps, pesquisa corroborou que não há parâmetro para gerar atividade muscular eficiente do músculo citado em faixas paramétricas específicas, com isso essa mesma pesquisa utilizou os parâmetros de frequência entre 30-80 Hz, largura de pulso entre 300-400 e intensidade de corrente de 40mA a 60 mA. A conclusão foi não apresentar estatisticamente um parâmetro adequado para tornar o efeito muscular mais eficiente (BOHÓRQUEZ, SOUZA e PINO, 2013).

Nesta pesquisa a utilização da corrente FES com o aparelho Neurodyn III Ibramed^R, serviu como procedimento de assistência para o Biofeedback EMG, através da ativação elétrica concomitante da musculatura. Tal incremento pôde determinar mais efetividade na resposta muscular avaliada pela amplitude eletromiográfica. Os parâmetros de corrente elétrica usados nesta pesquisa foram: corrente FES no ventre muscular, com frequência de 60 Hz, forma de pulso de corrente contínua com onda quadrada bifásica assimétrica sem componente, tempo rise de 1 segundos com duração de 3 segundos ON e igual ao período de contração voluntária exercida pelo sujeito durante os testes, por um repouso de 6 segundos OFF e decay de 2 segundos, os eletrodos para a corrente FES tiveram área quadrada de 4 centímetros quadrados. Os estímulos de corrente FES com tais características foram usados concomitantes ao treinamento com o biofeedback eletromiográfico (BFB-EMG), no sentido de incrementar a retroalimentação e intensidade de contração muscular requerida.

3 Objetivos da investigação

3.1 Gerais

Desenvolver e avaliar método de intervenção fisioterapêutica e um protótipo, onde ambos unam as tecnologias de biofeedback eletromiográfico assistido eletricamente pela corrente FES.

3.2 Objetivos específicos

- Avaliar a importância tecnológica e inovadora da utilização do estímulo FES com o biofeedback eletromiográfico;
- Realizar teste de eficácia da união tecnológica do biofeedback eletromiográfico assistido pela corrente FES, com foco na amplitude eletromiográfica de recrutamento muscular;
- Desenvolver protótipo do biofeedback eletromiográfico assistido por corrente FES, com recursos disponíveis e de baixo custo.

4 Planejamento metodológico do experimento

4.1 Métodos de execução

A presente pesquisa focou primeiramente no teste de intervenção conjunta do BFB-EMG com a assistência da corrente FES. Essa nova metodologia de intervenção fisioterapêutica baseou sua eficácia na amplitude eletromiográfica de recrutamento muscular. Uma segunda fase da pesquisa teve como meta o desenvolvimento e a construção de um protótipo do equipamento.

4.2 Teste de avaliação

O teste de avaliação do método de associação tecnológica proposto foi idealizado pelos pesquisadores, com embasamento na literatura, e realizado com a participação de dois grupos de voluntários, que compuseram, respectivamente, o grupo de controle (GC) e o grupo de intervenção (GI). Os indivíduos dos dois grupos foram submetidos inicialmente a uma sessão de teste de avaliação através do biofeedback eletromiográfico para captação da amplitude eletromiográfica (em microvolts) a qual indica o grau de recrutamento de fibras musculares. Foram anotadas a média das amplitudes de 3 Contrações Isométricas Voluntárias Máximas (CIVM) de todos os indivíduos.

Para este teste foi selecionado o músculo reto femoral do membro direito como local de aplicação dos eletrodos, por se tratar de um músculo de boas dimensões para o teste em questão e pelo mesmo já ter sido citado nas recomendações de SENIAM.

Posteriormente, os indivíduos do GI submeteram-se a 10 sessões de treino muscular com a associação tecnológica do BFB-EMG assistido por corrente FES, constituídas por 3 séries de 10 execuções de CIVM do músculo reto femoral, com 3 segundos de contração e 6 segundos de repouso, com um intervalo entre as séries de 3 minutos. Os indivíduos do GC também realizaram a mesma quantidade de sessões de treino muscular, porém apenas utilizando o BFB-EMG, isoladamente. Ao final da pesquisa os dois grupos foram submetidos novamente a uma sessão de teste de avaliação, nos mesmos moldes do teste inicial, para efeito de comparação de eficácia do ganho de recrutamento de fibras musculares entre os dois procedimentos.

Os parâmetros de corrente FES usados nesta pesquisa foram: corrente FES no ventre muscular, com frequência de 60 Hz, forma de pulso de corrente contínua com onda quadrada bifásica assimétrica sem componente, tempo rise de 1 segundos com duração

de 3 segundos ON e igual ao período de contração voluntária exercida pelo sujeito durante os testes, por um repouso de 6 segundos OFF e decay de 2 segundos, os eletrodos para a corrente FES tiveram área quadrada de 4 centímetros quadrados.

Para o BFB-EMG foi usado eletrodos Ag/AgCl com área de 4 centímetros quadrados e distância entre os centros de no máximo 25% do tamanho do músculo, com eletrodo foi no ventre muscular e a corrente FES de assistência ao BFB-EMG foi posicionada no ponto motor, ambos do quadríceps da coxa direita. Também foi feito uso do software do aparelho de biofeedback e eletromiografia Miotec^R, para aquisição da amplitude eletromiográfica e recrutamento muscular com o biofeedback eletromiográfico.

Foram usados na pesquisa o aparelho de biofeedback e eletromiografia Miotec^R e o aparelho de corrente FES Neurodyn III Ibramed^R, como mostra na figura abaixo.



Figura 5-Neurodyn III Ibramed^R (a esquerda) e Miotec^R (a direita)

4.3 Local da Pesquisa

A pesquisa desenvolveu-se no Serviço Social da Indústria-SESI, unidade João Rique Ferreira na cidade de Campina Grande-PB, especificamente com os frequentadores de academia.

4.4 Escolha do experimento.

A pesquisa teve caráter do tipo experimental e empírico, com abordagem quantitativa, comparativa e amostra por conveniência, aplicação de teste de validação gerado ao final e avaliação interindivíduos. Durante a realização da pesquisa foi realizado teste para avaliação associação do BFB-EMG assistido pela corrente FES, posteriormente confeccionado o protótipo que compartilhou as tecnologias de biofeedback

eletromiográfico assistido com corrente FES.

4.5 População e Amostra da Pesquisa.

Os indivíduos da população da pesquisa foram constituídos por alunos da academia do SESI João Rique Ferreira, num total de 108, na cidade de Campina Grande - PB, escolhidos por acessibilidade (voluntariedade), distribuídos em grupos de 10 indivíduos cada um deles que constituíram, respectivamente, o grupo de controle (GC) e o grupo de intervenção (GI).

A amostra foi composta por homens e mulheres, proporção de mulheres e homens foi igual, 50% para cada. A idade mínima dos voluntários foi 20 anos e a máxima de 50 anos, com uma média de 32 anos. Não houve vieses, pois, a avaliação foi interindivíduos.

4.6 Critérios de Inclusão e Exclusão

Os critérios de inclusão foram os indivíduos estarem em plena condição de saúde, ausência de patologias neuromusculares recentes, principalmente no membro inferior direito, já excluídos da amostra os indivíduos que não satisfizeram condições anteriores.

Para evitar interferências na pesquisa os voluntários foram esclarecidos da necessidade de evitar exercícios de musculação para o músculo reto femoral durante a coleta de dados, logo todos os mesmos se comprometeram e também os educadores físicos instrutores para evitar erros na coleta.

4.7 Critérios Éticos

Foram apresentados os objetivos da pesquisa e logo após voluntariamente os envolvidos assinaram “Termo de Consentimento Livre e Esclarecido” elaborado pelo pesquisador (APÊNDICE A).

Os gestores das unidades de coleta de dados autorizaram a aplicação da pesquisa e utilização dos espaços físicos para a mesma, mediante assinatura de “Termo de Autorização Institucional” elaborado pelo pesquisador (APÊNDICE B).

O projeto em questão foi submetido e aprovado pelo comitê de ética em pesquisas com seres humanos da UEPB, parecer número 1.021.587 de 27/04/2015.

4.8 Fonte de Custeio

A fonte financeira que custeou esta pesquisa foi proveniente dos recursos financeiros próprios dos pesquisadores, em virtude de não ter havido aporte financeiro por parte do programa de mestrado profissional em ciência e tecnologia em saúde.

4.9 Análise dos Dados

Os dados de amplitude eletromiográfica foram aferidos antes e após para ambos os grupos, controle e intervenção, comparando o incremento da corrente FES ao método do biofeedback eletromiográfico. Como os dados são paramétricos e numéricos foi proposta uma análise com teste de normalidade de Shapiro-Wilk que testa se os dados apresentam distribuição normal, como também teste *t* de Student, pois as amostras são pareadas e independentes e com este teste pôde-se determinar a diferença das médias e avaliar a importância da intervenção proposta (ALMEIDA, ELIAN e NOBRE, 2008).

A análise desses dados dimensionou a importância da sinergia entre os aparelhos propostos, os dados foram calculados e apresentados em tabelas e com uso da ferramenta excel 2013.

4.10 Créditos acadêmicos da equipe técnica

Para execução desta pesquisa, especificamente construção do equipamento, foi necessário a formação de uma equipe técnica composta por: Alisson de Almeida Melo (Técnico em eletrotécnica e graduando em sistemas de informática) e Alysson Márcio Nóbrega Costa (Técnica em eletrotécnica, graduado em Matemática). Esta equipe foi responsável por dar o suporte necessário aos pesquisadores, na construção do equipamento e realização dos testes eletrônicos de bancada.

4.11 Critérios de Regulação e Usabilidade

Um dos objetivos desta pesquisa foi desenvolver um protótipo de equipamento que reúna a aplicação concomitante de duas tecnologias já existentes na fisioterapia, em um único equipamento inovador. Por isso, não teve como ênfase propor métodos de regulação e usabilidade, devido ao tempo reduzido para o seu desenvolvimento e pela escassez de recursos financeiros envolvidos.

Com base nesses argumentos os pesquisadores propuseram para novas

pesquisas, que prioritariamente deverão ser desenvolvidos pelos mesmos autores, os meios para promover a regulação e usabilidade do protótipo.

Durante esse processo de regulação deverão ser seguidas as normas e resoluções abaixo:

- Resolução – RDC/ANVISA nº 56, de 6 de abril de 2001;
- Resolução – RDC nº 185/2001;
- Resolução RDC nº 59 de 2000;
- Norma IEC 60601-1-6 de 2010;
- Norma IEC 60601-1 de 2010 .

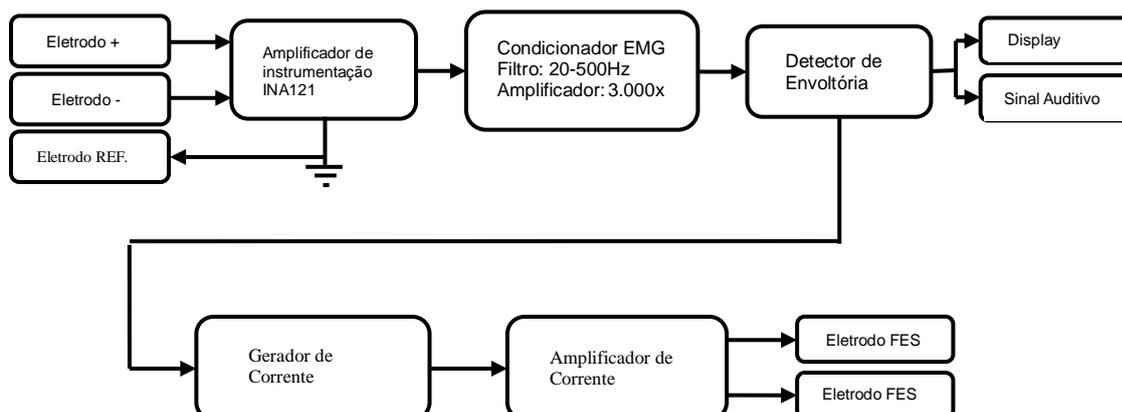
4.12 Instrumentação e diagrama de blocos do Protótipo

O equipamento desenvolvido foi constituído por um único aparelho que associa nele as características de um biofeedback eletromiográfico e de um eletroestimulador muscular com corrente FES.

O biofeedback eletromiográfico foi constituído por etapas de captação com eletrodos ativos e de referência, filtragem dos sinais indesejáveis, amplificação, condicionamento e apresentação visual e auditiva do sinal mioelétrico em escalas analógicas computacionais, de forma a fornecer a devida retroalimentação ao paciente e disparo concomitante do eletroestimulador FES.

O eletroestimulador muscular associado é composto por etapas de geração de corrente com moldagem das características dos pulsos elétricos digitalmente, amplificador de corrente e saída para o circuito do paciente com reostato eletrônico de corrente constante que transmite ao paciente três de pulso de corrente contínua pulsante.

A equipe técnica usou no processo de confecção do equipamento componentes os mais triviais possíveis, visando reduzir os custos de produção futura.



5 Resultados

Os dados da pesquisa foram coletados seguindo os protocolos de SENIAM: posicionamento de eletrodos, formato de eletrodos e grupo muscular.

A utilização do protocolo SENIAM para posicionamento de eletrodos e captação da atividade elétrica muscular garante aos estudos maior respaldo e confiabilidade com uso de eletromiografia de superfície-EMG's, mesmo em propostas de materiais inovadores, como no uso de eletrodos têxteis incorporados a roupas de atletas para captação da atividade elétrica muscular dinâmica, este estudo fez uso do protocolo SENIAM como referência (FINNI *et al*, 2007).

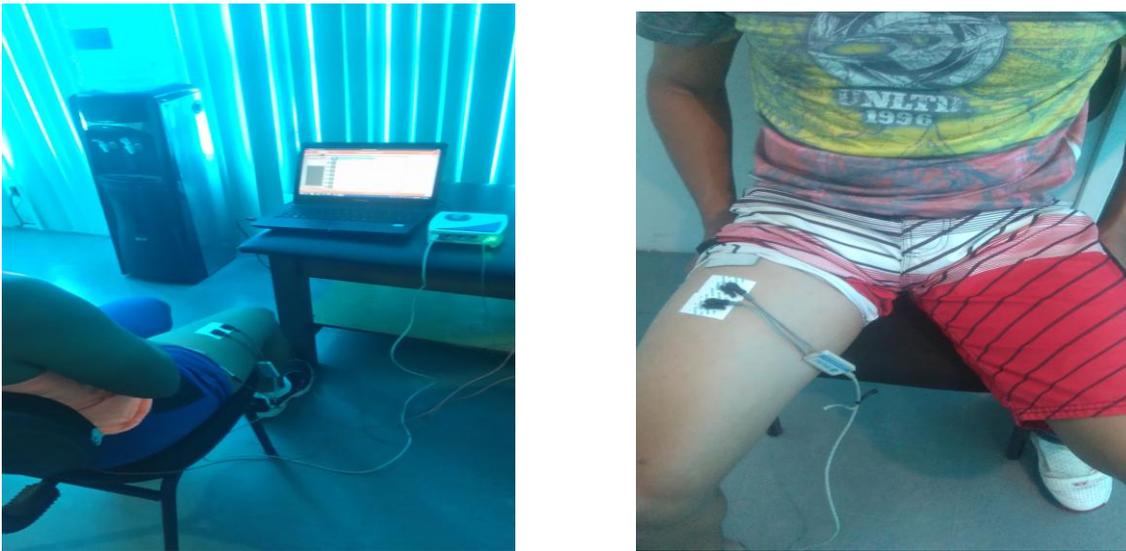


Figura 6-Posicionamento dos eletrodos BFB-EMG mais FES

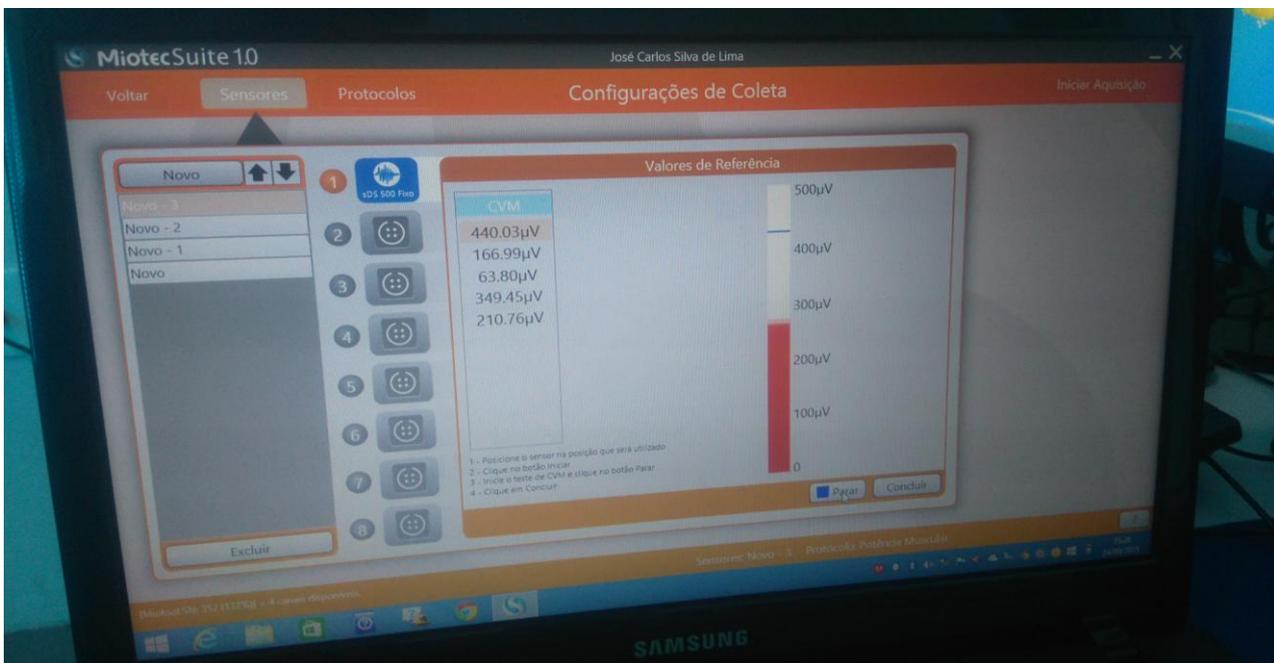


Figura 7: Software biofeedback e eletromiográfico de superfície Miotec^R

Inicialmente foi usado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk que indicou a distribuição normal dos dados para amplitude eletromiográfica antes e depois em cada um dos dois grupos. A avaliação da amplitude eletromiográfica, antes e depois, foram os valores de referência para os testes estatísticos e avaliação de eficácia da inovação proposta por esta pesquisa.

Os dados obtidos foram tratados e analisados com uso de estatística descritiva e uso do teste *t* de Student, com nível de confiança de 95%, para indicar os ganhos percentuais de cada grupo, comparação intragrupo de forma pareada e intergrupos de forma independente.

Os indivíduos de ambos os grupos avaliados não relataram e não foi observado pelo pesquisador, desconfortos e hiperemia, durante e após os testes, porém não foi objeto deste estudo, e sim apenas verificar o aumento da amplitude eletromiográfica com assistência da corrente FES ao BFB-EMG.

Inicialmente pode-se observar no gráfico 1 para o grupo controle que os dados de amplitude eletromiográfica tiveram distribuição normal, com valor estatístico: Shapiro-Wilk de 0,878087475409686 e *P*-valor de 0,0163481672594161. Posteriormente, tabela 1, o teste *t* de Student apresentou *P*-valor igual a 0,000540039, o que confirma o padrão de confiança de 95% na comparação do aumento dos valores da amplitude eletromiográfica, em microvolts, antes e depois com o uso da tecnologia isolada do BFB-EMG para o recrutamento muscular. É imprescindível ressaltar o valor da Média das Diferenças (Antes-Depois) que foi de 76,855, isso leva a conclusão estatística de negação da hipótese nula, ou seja, exista relevância estatisticamente detectada no uso da tecnologia.

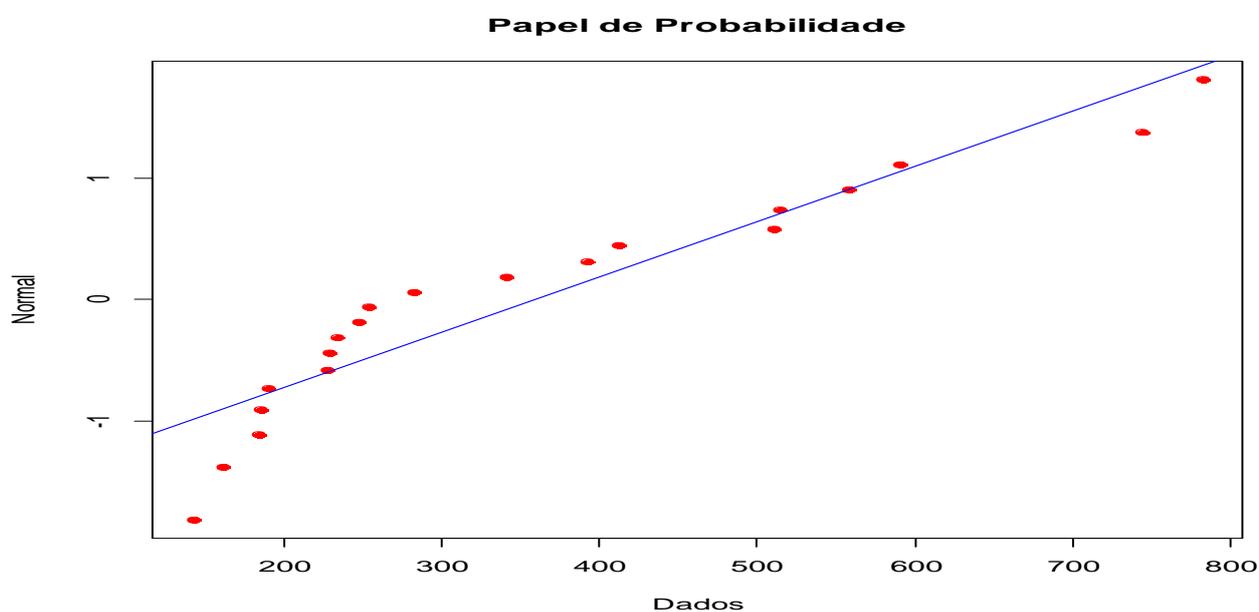


Gráfico 1-Teste de Normalidade Shapiro-Wilk para o grupo controle

Tabela 1-Ganho real da amplitude eletromiográfica para o grupo controle/BFB-EMG:

Amplitude Eletromiográfica (microvolts) com BFB-EMG		
Grupo Controle	Antes	Depois
Indivíduo 1	433,6	552,21
Indivíduo 2	135,04	149,15
Indivíduo 3	497,06	604,87
Indivíduo 4	562,64	650,15
Indivíduo 5	181,24	215,4
Indivíduo 6	536,05	680,1
Indivíduo 7	119,02	144,04
Indivíduo 8	155,54	199,86
Indivíduo 9	192,31	258,71
Indivíduo 10	476,7	603,26

Dados de coleta do grupo controle

Na avaliação do teste de normalidade o grupo intervenção também apresenta distribuição normal dos dados com valor estatístico: Shapiro-Wilk de 0,853631208025816 e P-valor de 0,00613563955601831. Já para essa projeção, tabela 2, o teste estatístico *t* de Student apresentou *P-valor* igual a 0,000641899, também confirmando o padrão de confiança de 95% na comparação do aumento dos valores da amplitude eletromiográfica, em microvolts, antes e depois com o desta vez da tecnologia BFB-EMG com associação da corrente FES para o recrutamento muscular. Nessa situação o valor da Média das Diferenças (Antes-Depois) foi de 105,956, isso também leva a conclusão estatística de negação da hipótese nula, porém neste caso se torna mais importante, pois o valor da Média das Diferenças foi maior com o BFB-EMG associado ao FES do que o valor quando do uso do BFB-EMG, isoladamente.

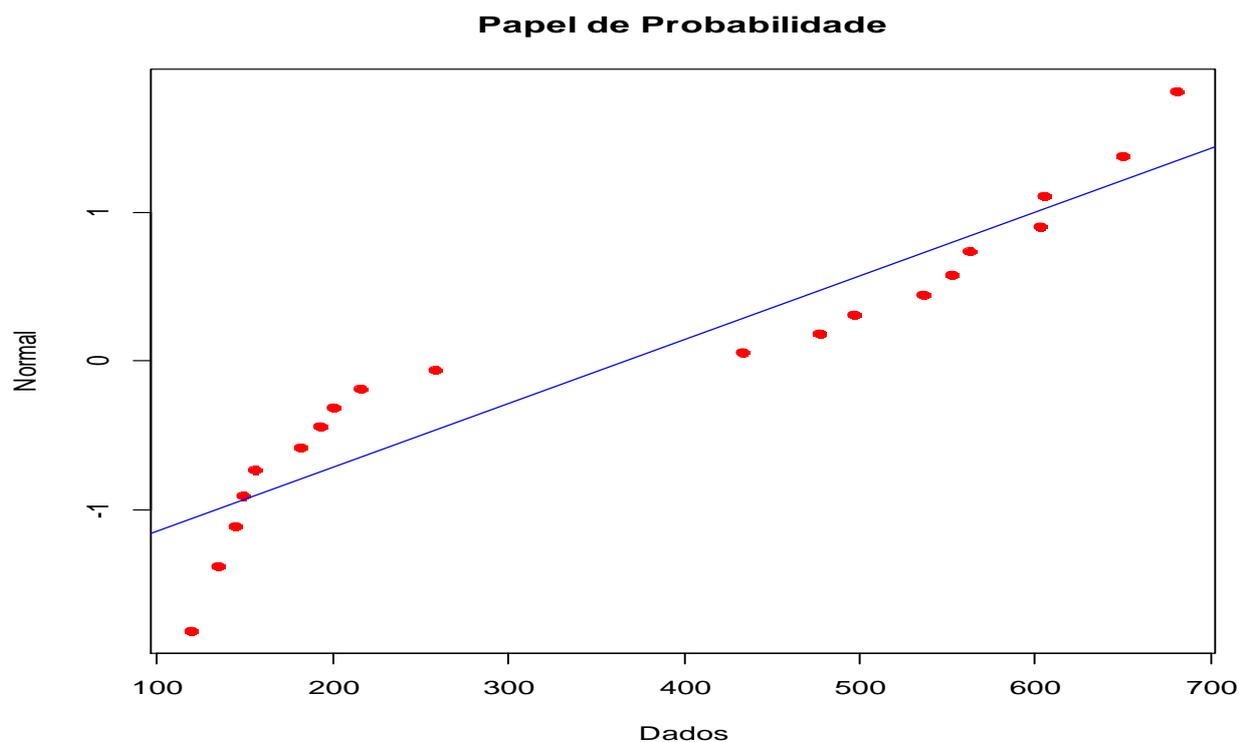


Gráfico 2-Teste de Normalidade Shapiro-Wilk para o grupo intervenção

Tabela 2-Ganho real da amplitude eletromiográfica para o grupo intervenção/BFB-EMG mais FES:

Amplitude Eletromiográfica (microvolts) com BFB-EMG mais FES		
Grupo Intervenção	Antes	Depois
Indivíduo 1	184,56	247,82
Indivíduo 2	228,94	281,78
Indivíduo 3	392,59	514,81
Indivíduo 4	510,61	743,59
Indivíduo 5	183,83	227,65
Indivíduo 6	161,65	233,28
Indivíduo 7	142,09	189,7
Indivíduo 8	411,56	558,44
Indivíduo 9	591,24	782,47
Indivíduo 10	254,03	341,12

Dados de coleta grupo intervenção

Em uma projeção comparativa ao realizar o teste estatístico t de Student para a comparação acima observa-se aumento médio de 23,132% para o grupo controle e

33,732% para o grupo intervenção, com diferença de *MÉDIA 1-MÉDIA 2* iguais a 10,6%, o que conclui que o aumento médio da amplitude eletromiográfica, em microvolts, do grupo intervenção foi maior que o grupo controle.

Ainda nessa comparação, o teste estatístico com intervalo de confiança de 95% ao apresentar *P-valor* de 0,003959216 confirma a hipótese diferente de zero concluindo a real diferença entre as médias das amostras independentes.

Tabela 3: Ganho percentual da amplitude eletromiográfica intragrupo e comparativo entre os grupos:

Aumento da Atividade Eletromiográfica (%)			
Grupo Controle (1)	BFB-EMG	Grupo Intervenção (2)	BFB-EMG mais FES
Indivíduo 1	27,35	Indivíduo 1	34,27
Indivíduo 2	10,44	Indivíduo 2	23,08
Indivíduo 3	21,7	Indivíduo 3	30,36
Indivíduo 4	15,55	Indivíduo 4	45,62
Indivíduo 5	18,84	Indivíduo 5	23,88
Indivíduo 6	26,87	Indivíduo 6	44,31
Indivíduo 7	21,02	Indivíduo 7	33,5
Indivíduo 8	28,49	Indivíduo 8	35,68
Indivíduo 9	34,52	Indivíduo 9	32,34
Indivíduo 10	26,54	Indivíduo 10	34,28

Dados dos grupos controle e intervenção em comparação

Por fim, como apresentado nos objetivos a pesquisa deu-se início a execução de um protótipo que une as tecnologias do BFB-EMG com a corrente FES, que se encontra em fase final de testes, porém já apresenta uma resposta positiva da compactibilidade e sinergia entre as duas tecnologias.

O protótipo em fase final, fase 3 de construção, está constituído por um único aparelho que associa nele as características de um biofeedback eletromiográfico e de um eletroestimulador muscular com a corrente FES que é disparada pela elevação da atividade elétrica gerada durante contração muscular voluntária do sujeito, essa etapa será testada com seres humanos, acondicionados em um só gabinete compacto.

O biofeedback eletromiográfico foi constituído por etapas de captação, amplificação, condicionamento e apresentação visual do sinal mioelétrico em escalas

analógicas computacionais, de forma a fornecer a devida retroalimentação ao paciente durante o treinamento muscular e etapa de disparo concomitante do eletroestimulador FES, essas etapas já foram testadas em laboratório e por seguinte será testada com seres humanos. Tem como características mais importantes a compactibilidade, precisão na captação e condicionamento dos sinais e imunidade às interferências externas.

O eletroestimulador muscular associado é composto por etapas de geração de corrente por trens de pulso contínua e pulsante, com modulação das características dos pulsos elétricos digitalmente, amplificador de corrente e saída para o circuito do paciente com reostato eletrônico de corrente constante. O mesmo tem como predicados mais marcantes também a compactibilidade, a precisão na geração dos parâmetros da corrente e a adaptação automática da corrente de saída à impedância do circuito do paciente. O protótipo em fase final pode ser visto na figura abaixo.



Figura 8: Protótipo em fase final de testes

6 Discussão

Os métodos de fisioterapia atuais necessitam de suporte tecnológicos, eles tornam as condutas terapêuticas mais eficientes e se baseiam em evidências claras e objetivas para a construção do processo de reabilitação.

São diversas as áreas da fisioterapia atual que buscam por meios tecnológicos melhorar os resultados obtidos em pacientes em áreas como: ortopedia, uroginecologia e reabilitação motora e neurológica, usando recursos não invasivos e, praticamente, sem riscos à saúde dos pacientes.

O biofeedback eletromiográfico (BFB-EMG) é uma tecnologia usada na fisioterapia atual que ajuda o fisioterapeuta e o paciente no processo de reabilitação motora e neuromotora. Esta tecnologia retroalimenta para o paciente, o recrutamento e função muscular, pela leitura da amplitude eletromiográfica.

Muito difundida na clínica fisioterapêutica e reabilitação física, a corrente de eletroestimulação FES, tem papel importante no recrutamento de fibras musculares em pacientes com diversos graus de lesões e o propósito deste estudo foi unir e avaliar a eficácia da união das duas tecnologias, em um único método de recrutamento muscular, como também propôs iniciar a construção de um equipamento que compactou em um mesmo espaço as duas tecnologias.

Inicialmente a pesquisa, teste de avaliação do método proposto e início de construção do protótipo, seria realizada na UEPB, porém por empecilhos institucionais as mesmas foram desenvolvidas no SESI-PB e em laboratório de eletrônica particular dos pesquisadores. O teste de avaliação do método recebeu parecer favorável do comitê de ética e pesquisa da UEPB (parecer número 1.021.587 de 27/04/2015) e seguiu criteriosamente o modelo proposto pelos pesquisadores no item 4.2 desta pesquisa.

O método escolhido foi o teste *t* de Student e teste de normalidade de Shapiro-Wilk, pois o mesmo permitiu a condição dos pesquisadores de avaliar a diferença de médias em amostras paramétricas numéricas, dependentes e independentes, este modelo estatístico já foi bastante citado em estudos de avaliação com métodos de intervenção em seres humanos (VAREJÃO *et al*, 2007).

A avaliação estatística mostrou a eficácia do biofeedback eletromiográfico (BFB-EMG) usado no recrutamento muscular, como também avaliou o BFB-EMG associado a corrente FES, que neste caso houve maior eficiência no recrutamento muscular.

Este método mostrou ser mais eficaz, para o recrutamento muscular, a união do BFB-EMG com a corrente FES, em comparação com o recrutamento muscular produzido com o BFB-EMG isoladamente, confirmada estatisticamente através do teste *t* de Student.

É importante ressaltar que nesta pesquisa, além da corrente FES utilizada no grupo intervenção, foi utilizado o BFB-EMG como forma de estimular e potencializar o recrutamento muscular proposto com contração voluntária isométrica máxima para todos os dois grupos. A assistência e uso da corrente FES em indivíduos sadios se torna limitada para gerar contrações musculares mais vigorosas que proporcionem graus máximos de força e hipertrofia muscular, logo esta discussão necessita, além de apresentar estudos com pessoas sadias divulgar também outros resultados de utilização da corrente FES e BFB-EMG em patologias neuromusculares.

A Estimulação Elétrica Neuromuscular (EENM), semelhante a estimulação elétrica funcional (FES), é um recurso frequentemente utilizado para proporcionar aumento da força e hipertrofia muscular, foram avaliados em 29 indivíduos saudáveis divididos em 5 grupos por 12 a 24 sessões, G1–EENM com Corrente Russa em musculatura extrínseca de punho e dedos; G2–semelhante ao G1, além de contração voluntária associada; G3–EENM com baixa frequência; G4–EENM com baixa frequência e contração voluntária associada; e, G5–controle, os resultados apontaram que nos quatro grupos de eletroestimulação os indivíduos obtiveram aumento da força de preensão avaliado pela dinamômetro, porém sem predomínio de nenhum grupo (DOMINGUES *et al*, 2009).

Pernambuco, Carvalho e Santos, 2013, avaliaram a eletroestimulação por corrente russa, a proposta foi identificar se em 21 mulheres esta corrente seria capaz de gerar hipertrofia muscular no músculo reto abdominal, avaliadas por ultrassonografia do ventre superior daquele músculo. Os resultados estatísticos demonstraram insignificância, concluindo que a eletroestimulação por corrente russa isoladamente não proporciona hipertrofia muscular, devendo estar associada a exercícios físicos regulares. Esta conclusão valoriza e confirma os resultados desta pesquisa quando associou o BFB-EMG com a corrente FES e obteve aumentos consideráveis do recrutamento muscular para o músculo reto femoral direito.

Estudo com 20 adultos jovens saudáveis, avaliou e comparou a utilização de corrente de eletroestimulação sinusoidal alternada com frequência entre 1 a 4 KiloHertz, modulada em 20 Hz, com curta duração e longa duração, os resultados apontaram que as correntes em curta duração demonstram serem mais úteis para reabilitação do que as de longa duração que se caracterizam como correntes russas e interferenciais (WARD e CHUEN, 2009).

Divergindo apenas na modulação da frequência do estudo anterior, pesquisa com 12 indivíduos sadios avaliou o uso de estimuladores elétricos que utilizam uma forma

de onda de corrente alternada geralmente portando faixas de 2 kHz a 4 kHz para estimulação motora. O mesmo mostra que esses aparelhos, que apresentam frequências nesta faixa, moduladas em 50 Hz, promovem um melhor conforto e torque muscular máximo (WARD e ROBERTSON, 1998).

Não foi objeto desse estudo avaliar o nível de conforto e sensibilidade do uso da corrente FES, porém é válido ressaltar que estudos com indivíduos saudáveis para extensores do punho, indicam para melhor sensação de conforto as correntes de alta frequência e no mesmo estudo a maior eficiência do torque muscular é conseguida em baixas frequências, 50 Hz por exemplo, e com resultados discretos de superioridade para as correntes sinusoidais modulada alternada em detrimento das correntes das correntes convencionais pulsadas (WARD, ROBERTSON e IOANNOU, 2004).

Para introduzir a discussão na área das lesões neuromusculares, o uso da corrente FES como medida de recrutamento muscular foi confirmado através de revisão bibliográfica sistemática que apontou que quando esta corrente induz a contração muscular se torna mais eficaz para avaliação da força e fadiga no músculo avaliado em pacientes com lesão medular (IBITOYE *et al*, 2014).

Estudos de reabilitação neurológica demonstram a importância do uso da corrente de eletroestimulação funcional FES associada a dispositivos de automação no processo de recuperação da marcha e deambulação. Os principais resultados apresentam boa sincronização entre a corrente FES e o exoesqueleto robótico em testes ambulatoriais de controle muscular da marcha, em portadores de lesões raquimedulares e paraplégicos (DEL-AMA *et al*, 2014).

Para corroborar a escolha da FES na melhoria do recrutamento muscular por esta pesquisa, é útil citar outro estudo que avaliou positivamente sua utilização na melhoria da marcha hemiparética em crianças com paralisia cerebral. A conduta clínica enfatizou o recrutamento muscular das fibras do tibial anterior e tríceps sural, obtendo resultados positivos que indicaram ser útil a corrente FES (COSTA, DAMÁZIO e MELO, 2010).

Como forma de confirmar os resultados apresentados nesta pesquisa, para pacientes com alguma patologia neuromuscular, deve-se apontar que a corrente FES apresentou resultados suficientemente positivos na sua utilização para fase crônica do pós acidente vascular encefálico-AVE, para se somar a esta afirmação já é possível indicar a corrente FES na fase aguda imediata da mesma condição clínica, o que conclui sua importância na reabilitação neuromotora (SALISBURY *et al*, 2013).

A importância do uso da eletroestimulação muscular em lesões neuromotoras foi

confirmada, neste caso em lesão medular incompleta, quando avaliaram o uso de órteses tornozelo-pé com assistência de corrente FES, os resultados foram melhora da funcionalidade e biomecânica na articulação tornozelo-pé para o processo de deambulação, deixando claro que essa tecnologia na fisioterapia pode ajudar em diversos processos de reabilitação e recrutamento neuromuscular (KIM *et al*, 2004).

Mostrando a eficácia do uso da FES na funcionalidade muscular, estudo piloto associou a mesma a exercícios funcionais, como o ciclismo, por 4 semanas, constatou melhora muscular em um grupo de 8 pacientes, 7 homens e 1 mulher, com quadro clínico de esclerose muscular (REYNOLDS *et al*, 2015).

Essas evidências mostram o quanto é importante o uso da corrente FES para a saúde funcional, em especial no processo de recrutamento muscular, sendo assim fundamental a inovação proposta por essa pesquisa, quando da associação daquela com o BFB-EMG, apresentando resultados muito satisfatórios.

Isso corrobora a importância da utilização da corrente FES, como também a importância de associação com outras tecnologias que ampliem a sua eficácia, como ocorreu nesta pesquisa, quando da associação do BFB-EMG com a FES que aumentou o recrutamento muscular do quadríceps femoral.

É importante salientar e esclarecer que na literatura encontrada não existe consenso quanto aos parâmetros de corrente e frequência, por exemplo, mais indicados, logo esta pesquisa fez uso de corrente de baixa frequência 60 Hz e forma de pulso de corrente contínua com onda quadrada bifásica assimétrica sem componente, os parâmetros estão descritos na metodologia.

A maior eficácia no recrutamento muscular evidenciada por esta pesquisa proveio da associação da corrente FES assistindo o BFB-EMG, quando se faz uma analogia com os estudos já citados acima, pode-se concluir que esta corrente tem grande importância para os processos de reabilitação como um todo, principalmente na reabilitação motora e neuromotora.

Com pequena diferença, mas enfatizando o processo de retroalimentação e biofeedback que é importante para o processo de reabilitação neuromotora moderna, estudo propôs um modelo de monitoramento com sensores sem fios para exercícios em reabilitação que induziu os voluntários a corrigem os mesmos durante o processo de terapia, os resultados foram satisfatórios entre 60% e 85% da execução dos exercícios avaliados. Este modelo pode ser comparado ao BFB proposto nesta pesquisa, com vantagem desta, pois além do BFB o recrutamento muscular recebeu suporte da corrente FES (LIN *et al*, 2015).

Isoladamente a tecnologia do BFB-EMG foi avaliada no recrutamento de fibras musculares do reto femoral na perna direita em 20 indivíduos com lesão medular cervical, esta avaliação levou em consideração o aumento da amplitude eletromiográfica antes e após o treino com a tecnologia citada, seus resultados apontaram significativo aumento desse índice de atividade muscular, passando de uma média de 26 μ V para todos os indivíduos antes da intervenção para uma média de 77 μ V com o BFB-EMG (BIASE *et al*, 2011).

É evidente a semelhança do referido estudo com a presente pesquisa, no entanto, há nela um diferencial inovador, pois ao associar o BFB-EMG com a tecnologia da corrente FES ocorreu um incremento considerável na resposta muscular, demonstrada nos resultados obtidos na pesquisa.

O BFB-EMG também foi útil na avaliação do controle de força em indivíduos usando próteses de mão mioelétricas. Estudo identificou que o BFB-EMG facilitou apenas discretamente o controle das ações de pinçamento e agarrar, no entanto, pode ser de grande valia para o embasamento de pesquisas futuras (DOSEN *et al*, 2015).

Além do recrutamento muscular, o biofeedback eletromiográfico pode ser útil e proporcionar a redução do quadro algico, embora não tenha sido objetivo desta pesquisa, mas, também, represente uma forma de controlar o recrutamento muscular e tal efeito é proporcionado quando se reduz o espasmo e tensão muscular que induzem o quadro algico (PRENTICE e VOIGHT, 2007).

Esse controle da atividade eletromiográfica pelo uso do BFB-EMG também foi evidenciado em um grupo de 15 indivíduos cadeirantes pós lesão medular, o quadro algico musculoesquelético na região cervical e dos ombros nos mesmos foi reduzido quando da associação desta tecnologia aos exercícios terapêuticos específicos o que pode evidenciar que o BFB-EMG também é útil nesta associação (MIDDAUGH *et al*, 2013).

Estudo com lesões esportivas, fraturas de membros superiores e lesões de joelho, foram avaliadas com associação do BFB-EMG ao tratamento fisioterapêutico convencional, as respostas foram satisfatórias e estáveis para todos os casos, levando em consideração que os critérios de avaliação para este método também foi a comparação do ganho de amplitude eletromiográfica pelo EMG tem grande valia para os pesquisadores (HERNANDEZ *et al*, 2014).

Araújo e Barbosa 2013, publicaram estudo onde, isoladamente, o BFB-EMG foi avaliado em comparação com o tratamento de fisioterapia convencional para recuperação motora do membro superior em pacientes pós-AVC. Segundo os pesquisadores a eficácia

do BFB-EMG em relação ao tratamento convencional foi discreta ao ponto de não poder ser indicada pela superioridade em relação a esta.

Para concluir esta discussão, temos que o BFB-EMG é uma tecnologia importante no processo e programa de reabilitação do indivíduo com lesões neuromusculares, tendo a fisioterapia e cinesioterapia como associação, o BFB EMG é um incremento no arsenal terapêutico do fisioterapeuta, mas nunca deve ser utilizado de forma isolada, como foi abordado nesta pesquisa com associação da corrente FES (SOARES, 2003).

A partir dos testes realizados nesta pesquisa, foi idealizado e construído pelos pesquisadores um equipamento protótipo que compacte as características tecnológicas do BFB-EMG com a assistência da corrente FES. Os resultados até a conclusão desta pesquisa encontravam-se em fase 3, onde o protótipo já apresentava funcionalidade satisfatória em laboratório de eletrônica e pronto para iniciar testes com seres humanos, demonstrando compatibilidade eletrônica dos circuitos que compõem as duas tecnologias, possibilidade de junção dos mesmos em um só gabinete e a sincronização dos sinais dos dois métodos desde a sua captação na superfície da pele e a sua apresentação em interface analógica computacional, após a conclusão desta etapa, será iniciada em pesquisas subsequentes os testes com seres humanos como mostra na figura abaixo.



Figura 9: Protótipo Biofeedback eletromiográfico assistido com corrente FES

7 Conclusão

A presente pesquisa, buscou ampliar e embasar meios terapêuticos da fisioterapia atual, focando principalmente no processo de recrutamento neuromuscular unindo as tecnologias do BFB-EMG com a corrente FES, idealizada num processo inovador e, por fim, deu início a construção de um protótipo de equipamento com os princípios do método idealizado.

Conclusões:

- **Aumento considerável da amplitude eletromiográfica do grupo intervenção em relação ao grupo controle, com diferença das médias entre ambos de 10,6%, *P*-valor de 0,003959216 confirmando a hipótese diferente de zero;**
- **Grupo controle, recrutamento muscular com BFB-EMG, obteve valor da Média das Diferenças (Antes-Depois) de 76,855 (microvolts), com *P*-valor igual a 0,000540039;**
- **Grupo intervenção, recrutamento muscular com BFB-EMG assistido com corrente FES, o valor da Média das Diferenças (Antes-Depois) foi de 105,956 (microvolts) e *P*-valor igual a 0,000641899, também confirmando o padrão de confiança de 95%;**
- **Protótipo em fase de testes;**

Os resultados, testados com procedimentos estatísticos, demonstraram que a união do BFB-EMG com assistência da corrente FES apresentou maiores diferenças entre as médias avaliadas, o que pode indicar ser mais eficaz, no processo de recrutamento muscular, no grupo intervenção, em comparação a tecnologia do BFB-EMG usada isoladamente, no grupo controle.

Essa resposta eficaz desse método inovador proposto, pode trazer subsídios no processo de reabilitação muscular e neuromuscular, diminuir o tempo de atendimento, potencializar as ações da fisioterapia atual, estabelecer metas mais claras de tratamento e também avaliar com mais exatidão os resultados obtidos nos processos de fisioterapia e reabilitação citados.

No processo de reabilitação atual, existem a inclusão de diversos meios tecnológicos que podem contribuir na potencialização dos resultados fisioterapêuticos, o BFB-EMG por permitir uma resposta em tempo real do recrutamento muscular ao paciente quando assistido pela tecnologia da corrente FES pode melhorar ainda mais os resultados almejados pelo terapeuta e paciente.

É importante esclarecer que esse método inovador para se tornar reconhecido pela comunidade científica necessita de outros procedimentos de validação criteriosos. É fundamental que novos estudos sejam incentivados, para esses pesquisadores ou para outros, com intuito de validar definitivamente a inovação proposta por esta pesquisa.

Referencias

ALMEIDA, A.; ELIAN, S.; NOBRE, J. Modificações e alternativas aos testes de Levene e de Brown e Forsythe para igualdade de variâncias e médias. **Revista Colombiana de Estatística**, 31(2), p.241-260, 2008.

AMORIM, B. R.; SANTOS, A. O.; OBERG, T. D.; ROMANATO, J.; ANJOS, D. A.; LIMA, M. C. L.; RAMOS, C. D.; HONORATO, D. C.; CAMORGO, E. E.; ETCHEBEHERE, E. C. S. C. Functional electrical stimulation improves brain perfusion in cranial trauma patients. **Arquivo Neuropsiquiatria**, 69(4), p.682-686, Campinas- SP, 2011.

ANDRADE, N. A. **Desenvolvimento de um sistema de aquisição e processamento de sinais eletromiográficos de superfície para a utilização no controle de próteses motoras ativas**. Dissertação de mestrado em engenharia elétrica, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2007.

ARAÚJO, R. C. **Confiabilidade dos valores de amplitude da eletromiografia de superfície durante exercícios para membro superior com carga axial e superfície estável e instável**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto-SP, 2006.

ARAÚJO, R. C.; BARBOSA, M. P. Efeito da fisioterapia convencional e do feedback eletromiográfico associados ao treino de tarefas específicas na recuperação motora de membro superior após acidente vascular encefálico. **Revista Motricidade**, 9(2), p. 23-26, 2013.

BANDEIRA, C. C. A.; BERNI, K. C. S.; RODRIGUES-BIGATON, D. Análise eletromiográfica e força do grupo muscular dos extensores do punho durante isquemia induzida. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, 13(1), p.31-37, São Carlos-SP, 2009.

BAPTISTELLA, J. C. **Hidroterapia e eletroterapia em ratos com denervação do nervo isquiático**. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista, Araçatuba-SP, 2013.

BATISTA, R. L. A.; FRANCO, M. M.; NALDONI, L. M. V.; DUARTE, G.; OLIVEIRA, A. S.; FERREIRA, C. H. J. Biofeedback na atividade eletromiográfica dos músculos do assoalho pélvico em gestantes. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, 15(5), p.386-92, São Carlos-SP 2011.

BERNARDES, D. F. F.; GOMEZ, M. V. S. G.; BENTO, R. F. Eletromiografia de superfície em pacientes portadores de paralisia facial periférica. **Revista CEFAC**, 12(1), p.91-96, São Paulo-SP, 2010.

BIASE, M. E. M.; POLITTI, F.; PALOMARI, E. T.; BARROS-FILHO, T. E. P.; CAMARGO, O. P. Increased EMG response following electromyographic biofeedback treatment of rectus femoris muscle after spinal cord injury. **Physiotherapy**, 97(2), p.175-179, 2011.

BLANCO, J. L.; OLIVER, F. J.; DE CELIS, R.; JOAO, C. M. Tratamiento de los trastornos miccionales en niños mediante biofeedback. **Revista Cirurgia Pediátrica**, 19(2), p.61-65, 2006.

BOHÓRQUEZ, I. J.; SOUZA, M. N.; PINO, A. V. Influência de parâmetros da estimulação elétrica funcional na contração concêntrica do quadríceps. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, 29(2), p.153-165, 2013.

BOTELHO, L. A. A.; GODOI, J. A. F. Eletromiografia-Biofeedback na medicina de reabilitação. In: Lianza S. **Medicina de Reabilitação**. Rio de Janeiro, Ed. Guanabara Koogan, 2003.

CORRÊA, F. I.; CORRÊA, J. C. F.; TESSAROLO, A. A.; MELO, A. S.; SAMPAIO, L. M. M.; COSTA, M. S.; OLIVEIRA, C. S. Avaliação do ácido láctico em indivíduos com hemiparesia pós-acidente vascular encefálico após estimulação elétrica para fortalecimento muscular. **Fisioterapia e Pesquisa**, 16(2), p.178-82, São Paulo, 2009.

COSTA, D.; CANCELLIERO, K. M.; CAMPOS, G. E.; SALVINI, T. F.; SILVA, C. A. Changes in types of muscle fibers induced by transcutaneous electrical stimulation of the diaphragm of rats. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, 41(9), p.809-811, 2008.

COSTA, F. B. L.; DAMÁZIO, L. C. M.; MELO, F. G. F. Os efeitos da estimulação elétrica funcional na marcha de crianças com paralisia cerebral hemiparética após estimulação dos músculos tibial anterior e tríceps sural. **Fisioterapia Brasil**, 11(1), p.61-66, Rio de Janeiro, 2010.

CRUZ, C. F. **Sistema biofeedback para otimização de movimento de membros superiores de corredores de paralisia cerebral**. Dissertação de mestrado, UNICAMP, Campinas-SP, 2003.

CUNHA, F. L.; FRANCA, J. E. M.; ORTOLAN, R. L.; CLIQUET JÚNIOR, A. **O uso de redes neurais artificiais para o reconhecimento de padrões em uma prótese mioelétrica de mão**. Dissertação, LABCIBER – Laboratório de Biocibernética e Engenharia de Reabilitação – D.E.E. – E.E.S.C./ USP, São Carlos-SP, 2007.

CUNHA, P. L.; BONFIM, T. R. Ativação eletromiográfica de exercícios sobre a prancha de equilíbrio. **Revista Fisioterapia Brasil**, 8(3), p.192-7, 2007.

DEL-AMA, A. J.; GIL-AGUDO, A.; PONS, J. L.; MORENO, J. C.; Hybrid FES-robot cooperative control of ambulatory gait rehabilitation exoskeleton. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, 11(27), 2014.

DOMINGUES, P. W.; MOURA, C. T.; ONETTA, R. C.; ZINEZI, G.; BUZZANELLO, M. R.; BERTOLINI, G. R. F. Efeitos da EENM associada à contração voluntária sobre a força de preensão palmar. **Fisioterapia em Movimento**, Curitiba,22(1,), p.19-25, 2009.

DOSEN, S.; MARKOVIC, M.; SOMER, K.; GRAIMANN, B.; FARINA, D. EMG Biofeedback for online predictive control of grasping force in a myoelectric prosthesis. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**,12(55), 2015.

ECARD, L. SILVA, A. P. S.; NETO, M. P.; CAGY, M.; PIEDADE, R.; RIBEIRO, P. Alterações na coerência cortical inter-hemisférica produzidas pela estimulação elétrica funcional (FES). **Arquivo Neuro-Psiquiatria**, 65(2), São Paulo-SP, 2007.

EIBEL, B; SBRUZZI, G; DIPP, T.; CASALI, K. R.; PLENTZ, R. D. M. Treinamento com estimulação elétrica funcional sobre a capacidade funcional e a variabilidade da pressão arterial em uma idosa centenária: estudo de caso. **Revista Brasileira de Fisioterapia**,15(4), p.338-341, São Carlos-SP, 2011.

FINNI, T.; HU, M.; KETTUNEN, P.; VILAVUO, T.; CHENG, S. Measurement of EMG activity with textile electrodes embedded into clothing. **Physiological Measurement**, 28(11), p.1405-1419, 2007.

FINNI, T.; CHENG, S. Variability in lateral positioning of surface EMG electrodes. **Journal of Applied Biomechanics**, 25(4), p.396-400, 2009.

FORTI, F. **Análise do sinal eletromiográfico em diferentes posicionamentos, tipos de eletrodos, ângulos articulares e intensidades de contração**. Dissertação de mestrado, Universidade Metodista de Piracicaba-SP, 2005.

GIGGINS, O. M.; PERSSON, U. M.; CAULFIELD, B. Biofeedback in rehabilitation. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, 10(60), 2013.

HERNANDEZ, M. A.; MORALES, S. V. Efectividad del biofeedback electromiográfico en la rehabilitación de lesiones deportivas. **Revista de Psicología del Deporte**, 23(2), p.489-500, 2014.

HUANG, H; LIN, J; GUO, Y. L; WUANG, W. T; CHEN, Y. EMG biofeedback effectiveness to alter muscle activity pattern and scapular kinematics in subjects with and without shoulder impingement. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, 23, p.267–274, 2013.

IBITOYE, M. O.; ESTIGONI, E. H.; HAMZAID, N. A.; DAVIS, G. M. The effectiveness of FES-evoked EMG potentials to assess muscle force and fatigue in individuals with spinal cord injury. **Sensors (Basel)**, 14(7), p.12598-12622 2014.

JUNG, D. E.; KIM, K.; LEE, S. K. Comparison of Muscle Activities Using a Pressure Biofeedback Unit during Abdominal Muscle Training Performed by Normal Adults in the Standing and Supine Positions. **Journal of Physical Therapy Science**, 26(2), p.191-193, 2014.

KAWANO, M. M.; SOUZA, R. B.; OLIVEIRA, B. I. R.; MENACHO, M. O.; CARDOSO, A. P. R. G.; NAKAMURA, F. Y.; CARDOSO, J. R. Comparação da fadiga eletromiográfica dos músculos paraespinais e da cinética angular da coluna entre indivíduos com e sem dor lombar. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, 14(3), p.209-214, 2008.

KIM, C. M.; ENG, J. J.; WHITTAKER, M. W. Effects of a simple functional electric system and/or a hinged ankle-foot orthosis on walking in persons with incomplete spinal cord injury. **Physical Medicine and Rehabilitation**, 85(10), p.1718–1723, 2004.

KIRNAP, M.; CALIS, M.; TURQUT, A. O.; HALICI, M.; TUNCEL, M. The efficacy of EMG-biofeedback training on quadriceps muscle strength in patients after arthroscopic meniscectomy. **The New Zeland Medical Journal**, 118(1224), 2005.

KITCHENS, S.; BAZIN, S. **Eletroterapia prática baseada em evidências**. 2^o.edição, Editora Manole, Barueri-SP, 2003.

KRUEGER-BECK, E.; SCHEEREN, E. M.; NETO, G. N.; BUTTON, V. L. S. N.; NOHAMA, P. Efeitos da estimulação elétrica funcional no controle neuromuscular artificial. **Revista Neurociências**, 19(3), p.530-541, 2011.

LARSEN, C.M; JUUL-KRISTENSEN, B; OLSEN, H. B; HOLTERMANN, A; SØGAARD, K. Selective activation of intra-muscular compartments within the trapezius muscle in subjects with Subacromial Impingement Syndrome. A case-control study. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, 24(1), p.58–64, 2014.

LIMA, N. M. F. V.; CUNHA, E. R. L. Efeitos da eletroterapia na paralisia facial de BELL: revisão de literatura. **Revista Ensaios e Ciência ciências biológicas, agrárias e da saúde**, 15(3), p.173-182, Campinas-SP, 2011.

LIN, H.; CHIANG, S.; LEE, K.; KAN, Y. An Activity Recognition Model Using Inertial Sensor Nodes in a Wireless Sensor Network for Frozen Shoulder Rehabilitation Exercises. **Sensors**, 15, p.2181-2204, 2015.

LOPES, P. G.; VASCONCELOS, J. C. P.; RAMOS, A. M.; MOREIRA, M. C. S.; LOPES, J. A. F. O efeito da terapia de biofeedback por eletromiografia de superfície na flexão de joelho da marcha hemiparética. **Acta Fisiátrica**, 11(3), p.125-131, São Paulo-SP, 2004.

MAZZOLA, F. A EMG como instrumento de avaliação e o Biofeedback como recurso de readequação a função. **Fitness Brasil Internacional**, 23ª edição, Santos-SP, 2013.

MEDEIROS, A. H. O.; CHALEGRE, S. T.; CARVALHO, C. C. Eletroestimulação muscular: alternativa de tratamento coadjuvante para pacientes com doença arterial obstrutiva periférica. **Jornal Vascular Brasileiro**, 6(2), p.156-162, Porto Alegre-RS, 2007.

MESIN, L.; TIZZANI, F.; FARINA, D. Estimation of Motor Unit Conduction Velocity from Surface EMG Recordings by Signal-Based Selection of the Spatial Filters. **IEEE Trans. Biomed. Eng.**, 53(10), p.1963-1971, 2006.

MIDDAUGH, S.; THOMAS, K. J.; SMITH, A. R.; MCFALL, T. L.; KLINGMUELLER, J. EMG Biofeedback and Exercise for Treatment of Cervical and Shoulder Pain in Individuals with a Spinal Cord Injury: A Pilot Study. **Top Spinal Cord Inj. Rehabil.**, 19(4), p.311-323, 2013.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Diretrizes de Atenção à Reabilitação da Pessoa com Acidente Vascular Cerebral**. Edição 1, Brasília-DF, 2013.

OLIVEIRA, D. C. S.; SANTOS, P. A. M.; REZENDE, L.; SILVA, M. R.; LIZARDO, F. B.; SOUSA, G. C.; SANTOS, L. A.; GUIMARÃES, E. A.; CHACUI, E. P. Análise eletromiográfica de músculos do membro inferior em exercícios proprioceptivos realizados com olhos abertos e fechados. **Revista Brasileira de Medicina de Esporte**, 18(4), Uberlândia-MG, 2012.

PALÁCIO, S. G.; FREITAS, T. C. Utilização da órtese Elétrica Funcional no Tratamento do Acidente Cérebro Vascular. **Revista Saúde e Pesquisa**, 1(2), p.173-176, 2008.

PERNAMBUCO, A.P.; CARVALHO, N.M.; SANTOS, A.H. A eletroestimulação pode ser considerada uma ferramenta válida para se desenvolver hipertrofia muscular? **Fisioterapia em Movimento**, Curitiba, 26(1), p.123-131, 2013.

PORTNEY, L. G; ROY, S. H. Eletromiografia e testes de velocidade de condução nervosa. **Fisioterapia Avaliação e Tratamento**. 4ª edição São Paulo: Manole, 2004.

POLÔNIO, J. T; MAZZER, N; BARBIERE, C. H; MATTIELLO-SVERZUT, A. C. Eletroestimulação seletiva mantém estrutura e função do tibial anterior desnervado de ratos. **Acta Ortopédica Brasileira**, 18(2), p.85-89, 2010.

PRENTICE, W. E.; VOIGHT, M. L. **Técnicas em reabilitação musculoesquelética**. 2ª edição, Editora Artmed, Porto Alegre, 2007.

RAINOLDI, A; MELCHIORRI, G; CARUSO, I. A method for positioning electrodes during surface EMG recordings in lower limb muscles. **Journal of Neurosciences Methods**, 134, p.37-43, 2004.

RESENDE, A. P. M.; NAKAMURA, M. U.; FERREIRA, E. A. G.; PETRICELLI, C. D.; ALEXANDRE, S. A.; ZANETTI, M. R. D. Eletromiografia de superfície para avaliação dos músculos do assoalho pélvico feminino: revisão de literatura. **Fisioterapia e Pesquisa**, 18(3), p.292-7, São Paulo, 2011.

RETT, M. T. **Incontinência urinária de esforço em mulheres no menacme: tratamento com exercícios do assoalho pélvico associados ao biofeedback eletromiográfico**. Dissertação de mestrado, Campinas-SP, UNICAMP, 2004.

REYNOLDS, M. A.; MCCULLY, K.; BURDETT, B.; MANELLA, C.; HAWKINS, L.; BACKUS, D. Pilot Study: Evaluation of the Effect of Functional Electrical Stimulation Cycling on Muscle Metabolism in Nonambulatory People With Multiple Sclerosis. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, 96(4), p.627-632, 2015.

SALISBURY, L.; SHIELDS, J.; DENNIS, M. A feasibility study to investigate the clinical application of functional electrical stimulation (FES), for dropped foot, during the sub-acute phase of stroke - A randomized controlled trial. **Physiotherapy Theory and Practice: An International Journal of Physiotherapy**, 29(1), p.31-40, 2013.

SALVINI, T. F; DURIGAN, J. L. Q; PEVIANI, S. M; RUSSO, T. L. Efeitos da eletroestimulação e do alongamento muscular sobre a adaptação do músculo desnervado-implicações para a fisioterapia. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, 16(3), p. 175-183, São Carlos-SP, 2012.

SBRUZZI, G.; SCHANN, B.D.; PIMENTEL, G.L.; SIGNORI, L.U.; DA SILVA, N.A.; OSHIRO, M.S.; IRIGOYEN, M.C.; PLENTZ, R.D. Effects of low frequency functional electrical stimulation with 15 and 50 Hz on muscle strength in heart failure patients. **Disability and Rehabilitation**, 33(6), p.486-93, 2011.

SCHWARTZ, F. P. **Análise do comportamento dos descritores biomecânicos e eletromiográficos de superfície em exercício resistido por dinamometria isocinética com produção de fadiga**. Tese de Doutorado, UNB, Brasília-DF, 2010.

SILVA JUNIOR, R. A. Normalização EMG: considerações da literatura para avaliação da função muscular. **ConScientiae Saúde**, 12(3), p.470-479, São Paulo-SP, 2013.

SOARES, A. V. A combinação da facilitação neuromuscular proprioceptiva com o Biofeedback eletromiográfico na recuperação do pé caído e na marcha de paciente com acidente vascular cerebral. **Fisioterapia em movimento**, 16(2), p.61-72, Curitiba, 2003.

SOARES, A. V.; FRONZA, D.; HOCHMÜLLER, A. C. O. L.; SILVA, P.; WOELLNER, S. S.; NOVELETTO, F. Biofeedback por eletromiografia na recuperação do membro superior de pacientes hemiparéticos por acidente vascular encefálico. **Revista Brasileira de Medicina, Grupo Editorial Moreira JR**, p.336-341, 2009.

TAMANINI, G. **Aplicação do biofeedback eletromiográfico na paralisia braquial obstétrica: relato de caso**. Monografia, USP, Ribeirão Preto-SP, 2011.

TANK, F. F.; SILVA, G. T.; OLIVEIRA, C. G.; GARCIA, M. A. C. Influência da distância intereletrodos e da cadência de movimento no domínio da frequência do sinal de EMG de superfície. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, 15(4), 2009.

VAREJÃO, R. V.; DANTAS, E. H. M.; MATSUDO, S. M. M. Comparação dos efeitos do alongamento e do flexionamento, ambos passivos, sobre os níveis de flexibilidade, capacidade funcional e qualidade de vida do idoso. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, 15(2), p.87-95, 2007.

VIEIRA, L. A.; MALTA, R. D.; SABINO, G. S. Biofeedback eletromiográfico (biofeedback/emg) no pós-operatório de joelho. **Fisioterapia em Movimento**, Curitiba, 20(3), p.107-113, 2007.

VIUDES, D. M. **Desenvolvimento de sistema de biofeedback eletromiográfico para otimização do controle motor**. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Campinas-SP, 2005.

WARD, A. R.; CHUEN, W. L. Lowering of sensory, motor, and pain-tolerance thresholds with burst duration using kilohertz-frequency alternating current electric stimulation: part II. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**. 90(9), p. 1619-1627, 2009.

WARD, A. R.; ROBERTSON, V. J. Variation in torque production with frequency using medium frequency alternating current. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**. 79(11), p. 1399-1404, 1998.

WARD, A. R.; ROBERTSON, V. J.; IOANNOU, H. The effect of duty cycle and frequency on muscle torque production using kilohertz frequency range alternating current. **Medical Engineering e Physics**, 26(7), p.569-579, 2004.

APÊNDICES

APÊNDICE A

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO-TCLE

Pelo presente Termo de Consentimento Livre e Esclarecido eu, _____, em pleno exercício dos meus direitos me disponho a participar da Pesquisa **“Biofeedback eletromiográfico assistido eletricamente por corrente FES”**. Declaro ser esclarecido e estar de acordo com os seguintes pontos:

O trabalho **Biofeedback eletromiográfico assistido eletricamente por corrente FES** terá como objetivo geral **“Desenvolver e avaliar método de intervenção fisioterapêutica e criar protótipo, onde ambos unam as tecnologias de biofeedback eletromiográfico assistido eletricamente pela corrente FES”**.

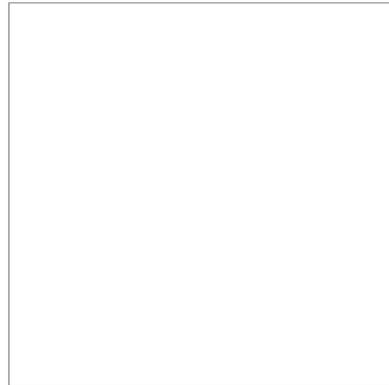
- Ao voluntário só caberá à autorização para **“Participar das sessões de biofeedback eletromiográfico e biofeedback eletromiográfico assistido eletricamente”** e não haverá nenhum risco ou desconforto ao voluntário.
- Ao pesquisador caberá o desenvolvimento da pesquisa de forma confidencial; entretanto, quando necessário for, poderá revelar os resultados ao médico, indivíduo e/ou familiares, cumprindo as exigências da Resolução Nº. 466/12 do Conselho Nacional de Saúde/Ministério da Saúde.
- O voluntário poderá se recusar a participar, ou retirar seu consentimento a qualquer momento da realização do trabalho ora proposto, não havendo qualquer penalização ou prejuízo para o mesmo.
- Será garantido o sigilo dos resultados obtidos neste trabalho, assegurando assim a privacidade dos participantes em manter tais resultados em caráter confidencial.
- Não haverá qualquer despesa ou ônus financeiro aos participantes voluntários deste projeto científico e não haverá qualquer procedimento que possa incorrer em danos físicos ou financeiros ao voluntário e, portanto, não haveria necessidade de indenização por parte da equipe científica e/ou da Instituição responsável.
- Qualquer dúvida ou solicitação de esclarecimentos, o participante poderá contatar a equipe científica no número (083) 33319785 com Sandy Gonzaga de Melo - **PESQUISADOR RESPOSÁVEL JUNTO A CONEP-PLATAFORMA BRASIL.**
- Ao final da pesquisa, se for do meu interesse, terei livre acesso ao conteúdo da mesma, podendo discutir os dados, com o pesquisador, vale salientar que este documento será impresso em duas vias e uma delas ficará em minha posse.
- Desta forma, uma vez tendo lido e entendido tais esclarecimentos e, por estar de pleno

acordo com o teor do mesmo, dato e assino este termo de consentimento livre e esclarecido.

Sandy Gonzaga de Melo
Pesquisador responsável.

Assinatura do Participante da pesquisa

Assinatura Dactiloscópica do participante da pesquisa
(OBS: utilizado apenas nos casos em que não seja possível a coleta da assinatura do participante da pesquisa).



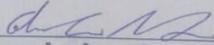
APÊNDICE B
SERVIÇO SOCIAL E DA INDÚSTRIA
SERVIÇO SOCIAL E DA INDÚSTRIA-JOÃO RIQUE FERREIRA
CAMPINA GRANDE-PB

APÊNDICE B
SERVIÇO SOCIAL DA INDÚSTRIA
CENTRO DE ATIVIDADES JOÃO RIQUE FERREIRA

TERMO DE AUTORIZAÇÃO INSTITUCIONAL

Estamos cientes da intenção da realização do projeto intitulado "**BIOFEEDBACK ELETROMIOGRÁFICO ASSISTIDO ELETRICAMENTE POR CORRENTE FES**" desenvolvido pelo aluno **ROSSINI LUCENA DE MEDEIROS** do Curso de Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia em Saúde da Universidade Estadual da Paraíba, sob a orientação do professor doutor **SANDY GONZAGA DE MELO**.

Campina Grande, 18 de Setembro de 2015.


Assinatura e carimbo do responsável institucional

Edson Carneiro Monteiro Junior
GERENTE
CAT J.R.F. SESI - PB

APÊNDICE C
ANÁLISE DE POSSÍVEIS PERIGOS E REQUISITOS DE SEGURANÇA NA
CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

1. PERIGO: Choque elétrico (leve e insignificante);

CAUSAS: Não zerar aparelho entre aplicações;

REQUISITOS DE SEGURANÇA: Sistema de interrupção da corrente entre sessões;

2. PERIGO: Interferência de energias eletromagnéticas;

CAUSAS: Alternâncias na aplicação de correntes ao paciente;

REQUISITOS DE SEGURANÇA: Nunca operar em ambientes com aparelhos que irradiam intencionalmente energia eletromagnética desprotegida;

3. PERIGO: Emissão de Rádio frequência-RF;

CAUSAS: Interferência com equipamentos médicos próximos;

REQUISITOS DE SEGURANÇA: Ensaio de emissão segundo NBR IEC 11;

4. PERIGO: Emissões de harmônicos;

CAUSAS: Rede elétrica de alimentação não compatível, dano do aparelho;

REQUISITOS DE SEGURANÇA: Ensaio de emissão, IEC 61000-3-2;

5. PERIGO: Emissões devido à flutuação de tensão/ cintilação;

CAUSAS: Rede elétrica de alimentação não compatível, dano do aparelho;

REQUISITOS DE SEGURANÇA: Ensaio de emissão, IEC 61000-3-3;

6. PERIGO: Descarga eletrostática;

CAUSAS: Não isolamento do equipamento e ambiente;

REQUISITOS DE SEGURANÇA: Ensaio de imunidade 61000-4-2;

7. PERIGO: Irritação da pele por eletrodos (Insignificante);

CAUSAS: Eletrodos sem certificação;

REQUISITOS DE SEGURANÇA: Usar eletrodos de borracha de silicone ou materiais aprovados pelo INMETRO e ISSO 10993-1 (biocompatibilidade);