

# Estimulação Elétrica Funcional aplicada a pacientes hemiplégicos: um panorama

Jeniffer Costa Nogueira<sup>1</sup>, Clodoaldo Ap. M. Lima<sup>2</sup>

Faculdade de Fisioterapia<sup>1</sup>  
Universidade Paulista (Unip)

[jenifferr@uol.com.br](mailto:jenifferr@uol.com.br)

Departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial (DCA)<sup>2</sup>

Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação (FEEC)

Universidade Estadual de Campinas – Unicamp

[moraes@dca.fee.unicamp.br](mailto:moraes@dca.fee.unicamp.br)

**Resumo:** Estimulação elétrica Funcional (FES) é um método efetivo para restaurar a função motora de extremidades paralisadas. FES indica uma nova era em reabilitação e órtese, e oferece grande esperança aos pacientes que estão limitados em cadeira de rodas ou sofrendo dificuldades de locomoção como resultado de uma disfunção do sistema nervoso central. Neste artigo, um panorama da tecnologia de estimulação elétrica é apresentado como o fundamento para compreensão das indicações e limitações atuais de FES aplicado a pacientes hemiplégicos.

**Palavras-chaves – Estimulação elétrica funcional, reabilitação, hemiplegia.**

**Abstract:** Functional electrical stimulation (FES) is an effective method for restoring motor function to paralyzed extremities. FES promises a new era in rehabilitation and orthose, and it offers great hope for patients who are wheelchair bound or suffering ambulation difficulties as a result of a central nervous system dysfunction. In this article, an overview of electrical stimulation technology is given as the basis for understanding the present indications and limitations of FES applied for hemiplegics patients

**Key-words – Functional electric stimulation, rehabilitation, hemiplegia.**

## I Introdução

Estimulação elétrica Funcional (FES) indica uma nova era em reabilitação e órtese, e oferece grande esperança aos pacientes que estão limitados em cadeira de rodas ou sofrendo de dificuldades de locomoção como resultado de uma disfunção do sistema nervoso central. Muitos centros ao redor do mundo estão empenhados no projeto de protótipos de FES para locomoção e exercício de pessoas que perderam algum ou todo controle de seus músculos da extremidade inferior.

Na paraplegia completa, acredita-se que FES para modo de andar não substitui a cadeira de rodas como um meio para locomoção, mas fornecerá aos pacientes capacidade para andar em casa, escritório ou trabalhar, ou em lugares públicos como *shopping*. Na hemiplegia ou derrame, paresia e perda de sensação geralmente afetam os membros e tronco unilateralmente. Neste caso, a aplicação de FES para retornar a função não é como a mencionada e de fato o lado não afetado pode ajudar a acomodar as deficiências no passo. Esses pacientes podem abandonar a cadeira de rodas ou órteses convencionais para uma órtese híbrida ou eletrônica atraído largamente pelo uso mais fisiológico de seu membro. Em qualquer situação, FES deve permitir ao usuário

gerenciar restrições seguras tais como, escada, rampas, e espaços apertados com velocidade acima de 1.5 m/s com baixo custo de energia.

Neste artigo, um panorama da tecnologia de estimulação elétrica é apresentado como fundamento para compreensão das indicações e limitações atuais de FES aplicado a pacientes hemiplégicos. Na seção II, apresentamos uma descrição detalhada de FES, na seção III, uma visão sobre o tratamento de hemiplegia, na seção IV, aplicações de FES a hemiplegia e na seção V conclusão

## II Estimulação Elétrica funcional

Mundialmente conhecida pela sigla FES (*Functional Electrical Stimulation*), a estimulação elétrica funcional é uma forma de tratamento que utiliza a corrente elétrica para provocar a contração de músculos paralisados ou enfraquecidos decorrentes de lesão do neurônio motor superior (LNMS), como derrames, traumas raqui-medulares ou crânios encefálicos, paralisia-cerebral, dentre outros. Essa corrente elétrica é específica, de tal forma que possibilita a contração muscular funcional.

Os dispositivos de FES podem ser vistos como contendo um suprimento de energia, um

gerador de sinal, um circuito controlador, um circuito modulador, um circuito de saída e eletrodos.

↳ **Suprimento de Energia.** Geralmente, baterias recarregáveis são supridores. Para dispositivos de canal único, elas são suficientes; mas para sistemas amplos de múltiplos canais sua duração pode ser limitante.

↳ **Gerador de Sinal.** Não existe uma forma de onda ideal, já que os parâmetros de estimulação dependem do conforto, consumo de energia, fadiga muscular e qualidade do movimento estimulado. Frequências entre 20 e 80Hz e larguras de pulso de 0,05 a 1,0 msec são tipicamente utilizados

↳ **Circuito de Controle.** O circuito de controle em última análise controla a forma de saída de um sistema de FES. São usados circuitos “fechados” e “abertos”. Os circuitos “fechados” usam *feedback* (realimentação - como o proveniente de interruptores, goniômetros, transdutores de pressão e EMG) para controlar o modulador de sinal. Os circuitos “abertos”, por outro lado, não usam *feedback* e meramente transmitem seqüências pré-determinadas de comandos para o modulador.

↳ **Circuito Modulador.** O modulador usa informação proveniente do circuito de entrada para produzir um trem de ondas de duração, amplitude e forma específica.

↳ **Circuito de Saída.** São usados tanto circuitos de saída com corrente limitada (corrente constante) quanto voltagem limitada (voltagem constante). Cada uma delas tem suas vantagens e desvantagens.

↳ **Eletrodos.** Três tipos de eletrodos são utilizados no EMS (*Electrical Muscle Stimulation*) superficial, subcutâneo, e implantado. Cada eletrodo tem características únicas que fazem deles vantajosos para um uso particular. Em todos casos, um eletrodo ativo e um inativo são necessários para a corrente fluir através dos tecidos. Eletrodos superficiais são colocados na pele do paciente, recrutam grandes grupos musculares de uma vez, e são retirados depois do uso. Eles recrutam melhor o músculo superficial que os músculos mais profundos, não faz a seleção de músculos individuais e não agrupam eficientemente como os outros dois tipos de eletrodos. Eletrodos subcutâneos são inseridos com uma agulha através da pele dentro do músculo, próximo ao neurônio motor do próprio. Com este eletrodo, músculos individuais podem ser selecionados facilmente. É possível a remoção, embora eles geralmente ficam implantados por um longo período de tempo. Entretanto, eles freqüentemente quebram ou se movem, e existe o potencial para infecções da epiderme. Eletrodos implantados são parecidos aos eletrodos subcutâneos, exceto pela cirurgia que é

necessária para a implantação e remoção, e eles geralmente são bem seguros. Portanto, a tendência para mover-se do nervo é reduzida.

## II.I Bases da Estimulação Neuromuscular

A técnica FES tem como base a produção da contração através de estimulação elétrica, que despolariza o nervo motor, produzindo uma resposta sincrônica em todas as unidades motoras do músculo. Este sincronismo promove uma contração eficiente, mas é necessário treinamento específico, a fim de se evitar a fadiga precoce que impediria a utilização funcional do método com objetivos reabilitacionais.

Não é possível a obtenção de um movimento funcional de um membro paralisado por um simples pulso elétrico; é necessária uma série de estímulos, com uma certa duração, seguidos por outros com uma apropriada frequência de repetição. Esta seqüência de estímulos recebe o nome de trem de pulsos.

Um período entre dois trens de pulsos período de repouso deve ser observado, a fim de se evitar a fadiga na fase de condicionamento muscular ou para permitir o controle das contrações musculares e se obterem movimentos úteis à locomoção.

A forma do trem de pulsos pode ser retangular, porém fases de ascensão e descida mais inclinadas possibilitam uma contração muscular com características mais biológicas; se o tempo de subida do pulso (fase de ascensão ou ataque) for muito lento, a fibra nervosa sofre um processo de acomodação de membrana e pode não responder, apesar da intensidade de corrente satisfatória. No programa de recuperação funcional, além da forma do trem de pulsos, as características individuais de cada pulso devem ser determinadas, a fim de se obter o efeito terapêutico.

## II.II Indicações

Embora inúmeras condições possam ser apropriadas para FES, duas, a hemiplegia e a lesão medular, tem recebido a maior ênfase.

A FES, às vezes em associação com bloqueios neuromusculares, pode ser usada para facilitar a reeducação neuromuscular durante sessões de terapia e em programas de treinamento domiciliar.

A utilização de estímulos seletivos de modo repetitivo sobre grupos musculares paréticos, além da ação local melhora o trofismo muscular,

## II.III Interação de FES com o corpo

O corpo humano pode responder a diferentes tipos de estímulo, isto é, elétrico, químico, pressão. O sistema neuromuscular é especialmente

responsável pela transmissão de sinais elétricos em pulsos curtos de dada intensidade, duração, e frequência de fontes externas tal como um estimulador muscular. Variações nestes três parâmetros podem gradativamente forçar a contração muscular.

Um neurônio motor é excitável por uma fonte elétrica externa por indução de uma troca de íons (despolarização). O limiar elétrico da despolarização deve ser encontrado pela fonte externa. Entretanto, os nervos respondem de acordo com a estratégia "tudo ou nada", e um aumento do estímulo além do limiar não resulta em um aumento na saída do neurônio motor. O aumento no estímulo pode resultar, no recrutamento de outro neurônio motor.

A força do músculo é também modulada pela frequência do estímulo. A membrana muscular tem um período refratário à despolarização, mas o mecanismo de contração atual não tem. Quando a membrana tem recuperado a capacidade de propagar outra onda elétrica através do músculo, o mecanismo da contração está começando a contrair o músculo. Um estímulo subsequente através das fibras musculares o contrairá mais ainda. Quando a frequência do estímulo aumenta a distinção entre as contrações musculares decresce enquanto a grandeza da força aumenta [1].

#### **II.IV Condutividade do Tecido**

A condutividade relativa do tecido está relacionada com a quantidade de água e íons. O músculo tem 75%; a gordura 15%; pele e osso 5-15% de condutividade relativa. Para passar corrente através de tecidos de mais alta impedância (menor condutividade), é necessário uma voltagem maior [2].

#### **II.V Inadequações da contração artificial de músculo evocada**

EMS não é equiparável com a fisiologia neuromuscular normal. O caminho do córtex motor para um músculo consiste de muitas interconexões excitatórias e sinapses inibitórias e uma grande quantidade de unidades motoras individuais que mutuamente tem movimentos sincronizados. O corpo humano é um mecanismo altamente neurológico sofisticado. Em comparação, o estímulo elétrico gera somente um sinal por músculo e, portanto as unidades motoras obtidas respondem de acordo. Como resultado, EMS carece da capacidade de controlar discretamente um músculo.

#### **II.VI Seletividade ruim do nervo aferente e eferente**

Dois tipos de fibras nervosas são predominantes em um grupo de nervos periféricos; há os nervos motores (eferente) e os nervos sensoriais (aferente) organizados de maneira imprevisível. Movimento voluntário normal é o resultado da excitação de fibras eferentes e inibição de fibras aferentes, ambas são controladas pelo cérebro e arcos reflexos na medula espinhal para um controle motor de boa qualidade.

Por outro lado, FES inicialmente estimula o nervo eferente, produzindo contrações musculares grosseiras como resultado da excitação do nervo aferente e eferente que são somente coincidentes na proximidade do campo elétrico e não segundo a alguma seqüência de recrutamento lógica.

#### **II.VII Fadiga rápida dos músculos**

Quando um músculo contrai continuamente, sua força decai em referência ao tempo com uma porcentagem de seu valor inicial. Cerca de 50% cai em 1 minuto isso é típico em músculo eletricamente estimulado que não tem sido habitualmente estimulado, que é significativamente mais rápido que em um músculo normal. Embora os processos que causam fadiga rápida em músculo de FES não são bem compreendidos, várias teorias são encontradas na literatura, vejamos algumas delas:

#### **II.VIII Estímulo excessivo do músculo**

O controle realimentado de malha fechada é desenvolvido com respeito à velocidade de eventos no ciclo modo de andar, aceleração excessiva será o maior fator contribuinte para a fadiga do músculo. Estimulação em malha aberta é uma forma de transferência de sinais elétricos de um estimulador para um músculo. Um estimulador de malha aberta é incapaz de ativar e desativar contrações do músculo precisamente no momento exato durante o ciclo de modo de andar; nem pode exatamente contrabalançar o corpo contra gravidade ou eficientemente impulsioná-lo diretamente porque a informação sobre força e momentos não são enviados para o computador. Por exemplo, em um modo de andar normal o quadríceps são ativos durante os primeiros 15% da aceleração, mas eles são inativos no remanescente 30%; assim, o ciclo ativo para o quadríceps na fase da aceleração é 33% [3]. Em andando com FES em malha fechada, o ciclo ativo do quadríceps pode ser tão alto quanto 75%-100% da fase de aceleração.

Na estimulação em malha fechada, informação sobre a condição do corpo durante ficar de pé ou andando é obtido a partir dos sensores colocados no corpo e processado no computador de modo que os músculos podem responder mais

apropriadamente ao ambiente e a perturbação. Controle realimentado de malha fechada constantemente analisa o corpo muito no mesmo caminho que o sistema nervoso monitora o sistema músculo-esqueleto, i.e., propriocepção, reflexo de estiramento do tendão, e tentativa segura de abaixar o nível dos estímulos ao mínimo necessário.

### II.IX Alta Energia em ficar de pé e andando

Em [15] foram realizados estudos com dois pacientes de paraplegia completos (T4 e T8), o custos de energia determinados durante FES andando usando um andador para velocidade média de 0.24 m/seg foi encontrada ser 0.095 kcal/kg/min, ou rudemente equivalente para um paciente normal correndo de 13 para 15 milha por minuto [4]. No mesmo estudo, uma comparação de ficar de pé com FES e com um *KAFO* (Knee-Ankle-Foot Orthoses) mostrou que o custo de energia era 100% maior para FES, mas quando o mínimo de estímulo necessário para manter uma posição ereta era utilizada, os custos de energia decresciam de 35% para 47%. Isto é teorizado que a alta energia em FES em ficar de pé e deambulando é devido a sobre-estimulação e produção de torque excessiva que deveria melhorar com avanços em controle realimentados.

### II.X Limitações

Uma limitação importante da FES é que ao mesmo tempo em que pode ser efetiva, a melhora sobre o tratamento mais tradicional pode não ser suficiente para justificar seu uso. Os estimuladores de nervo fibular se mostram da seguinte maneira: a marcha é geralmente melhorada com a estimulação, mas a melhora sobre uma órtese tornozelo-pé pode não justificar a elevação de custo e complexidade. O uso da FES também é limitado pelas capacidades do paciente e habilidades dos clínicos.

Existem também restrições fisiológicas a FES. Doenças de neurônio motor inferior não são geralmente tratadas com FES, e as doenças miopáticas são geralmente uma contra-indicação. Doenças progressivas, tais como esclerose múltipla, são contra-indicações relativas dependendo da velocidade de progressão. Outros impedimentos fisiológicos incluem obesidade (que reduz a acessibilidade aos pontos motores), contraturas e instabilidade articular e espasticidade não controlável. A atrofia por desuso e a osteoporose precisam ser levadas em conta, e programas de fortalecimento são geralmente necessários antes que se iniciem programas de FES.

## III Hemiplegia

A hemiplegia não é uma doença, é uma seqüela neurológica grave devida a um comprometimento circulatório no cérebro com conseqüências e comprometimento em vários níveis. O indivíduo adulto, que por algum motivo sofreu uma lesão cerebral, compromete uma determinada área do cérebro. Essa área é responsável por determinadas funções no corpo humano; então, dependendo da área lesada, teremos:

- ↳ comprometimento sensorial e mental.
- ↳ comprometimento mental.
- ↳ comprometimento físico: é o que mais nos chama a atenção no hemiplégico e também o que mais interessa. Temos comprometimentos a nível de tônus, coordenação, equilíbrio, etc.

A hemiplegia, dentre esses casos, foi uma das primeiras áreas da FES moderna. Em particular, a FES do nervo fibular está bem estudada e provê uma órtese que reduz a queda do pé e melhora na marcha em 25 a 30 por cento dos pacientes hemiplégicos apropriados.

A estimulação dos grupos extensores de punho e dedos em um paciente hemiplégico reduz a espasticidade dos antagonistas flexores, e através da produção de movimentos extensores evocados repetitivos consegue-se a manutenção do ganho funcional mesmo depois de cessada a aplicação do estímulo.

### III.I Reabilitação em Hemiplegia

Os pacientes hemiplégicos são potencialmente incapacitados e se constituem num grande desafio para a reabilitação. Além de apresentarem comprometimento motor de um hemicorpo, manifestam alterações de outras funções do sistema nervoso que são mencionadas em seguida. Há uma grande variedade etiopatogênica na hemiplegia, proporcionando quadros clínicos muito diversos e dificultando a padronização das condutas terapêuticas de reabilitação.

O ponto de partida para um planejamento terapêutico adequado deve ser a obtenção de diagnósticos precisos e completos.

Os diagnósticos completos devem, sempre que possível, estar constituídos dos aspectos sindrômicos, topográficos e etiológicos, seguindo-se os diagnósticos associados.

### III.II Critérios de avaliação dos pacientes

Dentre os critérios temos a capacidade de resposta à corrente FES. Os pulsos elétricos utilizados na técnica FES são da ordem de décimos de milissegundo. Pulsos com esta ordem de grandeza, com qualquer intensidade de corrente,

apenas conseguem produzir contração muscular através do estímulo do nervo periférico. Doenças que acometem o neurônio motor inferior não são elegíveis à técnica FES. As moléstias que acometem a placa motora, interferindo na passagem do impulso nervoso para o músculo, também não podem ser tratadas por esta metodologia. As miopatias que se caracterizam pela perda da capacidade de contração muscular também não têm indicação de tratamento pelas correntes FES. As lesões cerebrais e medulares altas têm capacidade de resposta pelos estímulos FES.

Na prática assistencial nem sempre estas regras podem ser aplicadas rigidamente, pois os quadros clínicos dos pacientes podem ter variáveis que devem ser levadas em consideração, como nos exemplos de casos a seguir:

↳ Paciente com hemiplegia após acidente vascular cerebral pode não ter indicação da técnica FES por ter uma polineurite periférica por diabetes associada.

↳ Um caso de lesão medular por esclerose múltipla pode apresentar importante déficit motor com intenso descondicionamento muscular e ter a sensibilidade conservada. Esta associação de dados pode impedir a aplicação da técnica FES, pelo desconforto do estímulo elétrico necessário a ser aplicado para produzir uma contração efetiva.

↳ Uma lesão nervosa periférica do tipo incompleta ou um caso de poliomielite onde, freqüentemente, encontramos músculos com déficits parciais de inervação podem ter o trofismo muscular melhorado pela condução dos estímulos pelos neurônios motores inferiores intactos. Mesmo nas fases iniciais das distrofias musculares, com pouco comprometimento muscular, podemos incluir a técnica FES no programa terapêutico.

Estas considerações são feitas para lembrar que nós não tratamos doenças e sim doentes e que devemos levar em consideração toda a série de variações que envolvem cada caso em particular, e não nos atermos a regras fixas e conceitos imutáveis.

A contração muscular obtida a partir do estímulo elétrico funcional fornecido é graduada em uma escala de + a +++++, cujo significado clínico é:

↳ +: obtenção de contração muscular, sem movimento articular.

↳ ++: obtenção de contração muscular, com esboço de movimento articular.

↳ +++: obtenção de contração muscular, com movimento articular amplo, porém incompleto.

↳ ++++: obtenção de contração muscular, com movimento articular completo.

Com este teste, classificamos os pacientes que respondem ou não à técnica FES e, nos casos

de resposta positiva, podemos inclusive selecionar o trem de pulsos ideal para o programa de recondicionamento muscular. Trem de pulsos ideal é aquela formulação que permite a melhor graduação da contração muscular com a menor intensidade de corrente, sem apresentar manifestações de desconforto ou fadiga.[5]

### III.III A formulação dos trens de pulsos

A formulação dos trens de pulsos deve levar em consideração que os pacientes hemiplégicos geralmente apresentam capacidade sensitiva presente e desta forma os pulsos devem ter duração menor que 0,3 ms para não produzir desconforto.

A fadiga deve ser controlada por trens de pulsos não muito longos e com baixa freqüência de pulso. Na fase inicial é aconselhável que a freqüência seja prescrita ao redor de 20 Hz e a emissão dos trens de pulsos tenha duração de 5 segundos, com intervalos de igual duração.

O controle da espasticidade pode ser mais adequado a formulação do trem de pulsos crescente, ou seja, ter um tempo de subida não inferior a 2 segundos. Trens de pulsos retangulares (subida e descida elétrica abrupta) podem constituir-se em fato irritativo e aumentar por conseqüência a espasticidade, o que acarretaria dificuldades funcionais.

## IV Aplicações de FES

Pesquisadores têm procurado juntar FES a modernas tecnologias de suporte externo para tornar seus sistemas seguros e práticos. Uma órtese eletrônica é um sistema composto de um microprocessador baseado em estimulador de músculo para a geração de estímulo elétrico, e eletrodos para transmissão do sinal para corpo. Um movimento proposital das extremidades e tronco pode ser alcançado através do aumento do estímulo do músculo pelo computador. Entretanto, somente FES, em seu estágio atual de desenvolvimento, tem limitações inerentes na restauração das funções dos pacientes com segurança e eficiência. Por esta razão as integrações de apoio com FES têm sido estimulada. Órtese Híbrida é o termo utilizado para descrever uma órtese eletrônica combinada com uma órtese mecânica.

É claro que FES aplicado à locomoção é uma aproximação biomecânica da locomoção normal. Com o progresso contínuo em software de computador e sensores, a necessidade para apoio será limitada pela prevenção de danos às articulações, tecidos moles, e esqueleto como um resultado de contração de músculo não natural e superfícies de locomoção deficientes, montagem de

superfícies para sensores, e para apoio parcial contra a gravidade. [6]-[7]. Atualmente, parece que o apoio será aspecto importante para futuro de sistemas clínicos de FES.

PETROFSKY [8] estudou extensivamente a órtese de Troca de Passos (RGO – Reciprocating Gait Orthosis) para suportar o corpo contra gravidade. O componente de FES de seu sistema (seis músculos) forneceu momentos de extensão do quadril para progressão adiante e auxiliou a flexão do quadril através de mecanismo de cabo do RGO. Já abordagem de MARSOLAIS [4] tem sido maximizar o FES e o número de músculos estimulados por computador e minimizar o apoio; seu sistema vincula 32 músculos ativos na extremidade inferior e tronco, junto com órteses bilateral tornozelo pé (AFOs – Ankle Foot Orthosis).

Em Philip [10], três sistemas de FES variando a complexidade e os propósitos são revistos sob um nível informativo. O primeiro sistema analisado é para andar e ficar em pé envolve muitos músculos, e necessita de um suporte mecânico mínimo. O segundo é para ficar em pé utilizando apoio mecânico para auxiliar músculos contra a gravidade. O terceiro é um aparato para condicionamento de músculos consistindo de um estimulador comercial e uma peça contendo eletrodos.

Outra órtese pesquisada é o BioStep [11], uma órteses elétrica baseada na técnica de FES. O equipamento é projetado para oferecer estimulação aos músculos destinados a sustentar as pessoas de pé e caminhar através de seis canais no máximo. As pessoas podem marchar com um ritmo automático e preestabelecido, isto é, gerado pelo próprio sistema, ou responder à demanda do usuário.

BioStep foi projetado com o intuito de assistir as pessoas com lesões medulares que apresentem um bom controle do tronco superior, para que possam se mobilizar sozinhas dentro de sua casa.

## V Conclusão

A FES é realmente um método eficiente e efetivo para restauração das funções motoras das extremidades paralisadas.

Além da restauração funcional, a EMS tem valor terapêutico. EMS tem sido aplicado para atrofia muscular inversa, temporariamente alivia espasticidade do músculo, e reduz ou previne contraturas de tecidos moles.

Na paraplegia completa, FES não substitui a cadeira de rodas como um meio de locomoção, embora isto poderia ser usado como um meio para ficar de pé repetitivamente ao longo do dia sem qualquer aparelho mecânico. Ao contrario, na hemiplegia os pacientes podem abandonar a

cadeira de roda ou órteses convencionais para uma órtese híbrida.

## VI Referência

- [1]Benton, L. A.; Baker, L. L.; Bowman, B.; Waters, R. L. Functional Electrical Stimulation: A Practical Clinical Guide. Second Edition. The Professional Staff Association of the Rancho Los Amigos Hospital Association, Inc., 1981.
- [2]Shribner, W. J. A Manual of Electrotherapy. Fourth Edition. Philadelphia, Lea and Febiger, 1975.
- [3]Bowker, J.; Hall, C. Normal Human Gait. Atlas of Orthotics Biomechanical Principles and Application, The C.V. Mosby Company, 1975.
- [4]Marsolais, E.B.; Edwards, B. G. Energy Costs of Walking and Standing With Functional Neuromuscular Stimulation and Long Leg Braces. Arch. Phys. Med. Rehabilitation, vol. 69, April, 1988, pp.243-249.
- [5]Lianza, S. Medicina de reabilitação. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1995. cap. 9: Estimulação elétrica funcional, pp. 127-142.
- [6]Muccio, P.; Marsolais, E. B. Integration of Orthoses with Functional Neuromuscular Stimulation in Paraplegic Subjects. Proceedings from the Ninth Annual Conference of the Rehabilitation Engineering Society of North America, 1986, pp. 112-114.
- [7]Muccio, P.; Marsolais, E. B. Experience With Ankle-Foot Orthoses and Paraplegic Subjects Using Functional Neuromuscular Stimulation. Proceedings from the Tenth Annual Conference of the Rehabilitation Engineering Society of North America, 1987, pp. 613-615.
- [8]Petrofsky, J. S.; Philips, C. A.; Larson, P.; Douglas, R. Computer Synthesized Walking: An Application of Orthoses and Functional Electrical Stimulation (FES). Journal of Neurological and Orthopedic Medicine and Surgery, 6(3), 1985, pp.219-230.
- [9]Malezic, M.; Klajajic, M.; Stanic, U. Multisite Electrical Stimulation for Therapeutic and Orthotic Rehabilitation of Paretic Gait. Proceedings from the Sixth Annual Conference of the Rehabilitation Engineering Society of North America, 1983, pp.90-92.
- [10]Muccio, P.; Andrews, B.; Marsolais, E. B. Electronic Orthose: Technology, Prototypes, and Practices. Journal of Prosthetics and Orthotics, vol. 1, nº 1, 1989
- [11]Escobar, S.; Rufiner, A.; Schiaffino, L.; Spaich, E.; Chaves, J.; Cerrato, M. Laboratório de Engenharia de Reabilitação e Pesquisas Neuromusculares e Sensoriais (LIRINS) Faculdade de Engenharia - Bioengenharia - Universidade Nacional de Entre Rios.