

MODELAGEM, SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA DE ESTIMULAÇÃO POR ONDAS ELÉTRICAS
MODELING AND SIMULATION OF STIMULATION SYSTEM BY ELETRIC WAVES

STELUTTI, Lucas¹

Prof. Dr. Vicente Idalberto Becerra Sablón²

Universidade São Francisco – *Câmpus* Campinas

lucasmagno@hotmail.com¹ | vicente.sablón@usf.edu.br

¹Aluno do Curso de Engenharia Eletrica

²Professor Orientador Dr. Vicente Idalberto Becerra Sablón

RESUMO. O presente artigo apresenta a modelagem e simulação de um sistema de estimulação por ondas elétricas, Para realização desse processo, uma pesquisa qualitativa exploratória foi realizada a fim de demonstrar aplicações no campo, a utilização da computação biofísica nos trará a possibilidade de associarmos dados analógicos e digitais dentro de um processo chamado conversão de formas de energia física em tensão elétrica variável. Os resultados desse estudo demonstraram a eficácia de aplicação de um sistema de estimulação por ondas elétricas em campos médicos de forma não evasiva, apontando uma necessidade de elaboração de um sistema viável a sociedade.

PALAVRAS-CHAVE: Estimulação Elétrica, Modelagem, Simulação, Computação Biofísica, Sistema de Estimulação Elétrica.

ABSTRACT. This paper presents a modeling and simulation of an electric wave stimulation system. To carry out this process, an exploratory qualitative research was carried out to demonstrate applications in the field. within a process called converting physical energy forms into variable electrical voltage. The results of this study demonstrated the effectiveness of non-evasive application of an electric wave stimulation system in medical fields, pointing to the need to elaborate a viable system to society.

KEYWORDS: Electrical Stimulation, Modeling, Simulation, Biophysical Computing, Electrical Stimulation System.

INTRODUÇÃO

A utilização da Engenharia Elétrica fora do ramo de exatas já é uma realidade na sociedade atual, o uso da mesma em áreas médicas se tornou mais eficaz ao passar dos anos, se tornando essencial em algumas atividades do dia a dia.

Atualmente, a evolução tecnológica e avanços médicos é possível relatar que a taxa de sobrevivência em uma UTI – Unidade de Terapia Intensiva subiu para 80% nos últimos anos.

Os sistemas de estimulação por ondas elétricas ficaram conhecido pelo uso de peixes elétricos em seu princípio, capazes de descarregarem uma carga de 100 a 150 V, o uso terapêutico realizava o tratamento da dor local dos pacientes, causando assim uma analgesia local. Com o passar dos anos, estudos relacionados a tal tratamento levaram a criação de equipamentos capazes de realizar tal atividade de forma que os mesmos não sofressem sequelas com o tratamento.

Durante pesquisas realizadas em centro de tratamentos, foi verificado que a atrofia resultante da perda do tônus muscular, prejudica diretamente na reabilitação de um paciente.

A imobilidade pode ser considerada o maior fator de intercorrências musculares, principalmente em membros inferiores a partir da primeira semana de internação.

O uso de um sistema de estimulação por ondas elétricas neuromuscular, compreende-se a uma atividade de contrações musculares por meio de ativações do nervo periférico realizado através da aplicação de um estímulo elétrico com baixa tensão, a aplicação pode variar de 1 a 4000 Hz, dependendo do tipo de tratamento proposto. Tal indução será transportada para o paciente através de eletrodos posicionados na zona motora da musculatura requerida.

Nesse sentido, como objetivo principal, foram averiguados os principais aspectos sobre a importância da estimulação por ondas elétricas.

Em relação aos objetivos específicos, ressaltam-se: verificar os aspectos conceituais sobre a estimulação por ondas elétricas; avaliar estudos relevantes sobre os efeitos da estimulação por ondas elétricas nos pacientes e questões técnicas; análise sobre as principais vantagens da estimulação por ondas elétricas junto ao desenvolvimento de simulações e modelagens a fim de proporcionar um equipamento com viabilidades para o público.

REFERENCIAL TEÓRICO

A técnica não invasiva da estimulação por ondas elétricas compreende a aplicação de corrente elétrica pela ação de eletrodos dispostos na superfície da pele em pontos motores específicos, de acordo com os músculos eleitos. Tal corrente eleva a permeabilidade da membrana, o que produz um potencial de ação prolongado, levando a uma contração muscular eficaz (SOUSA, 2016).

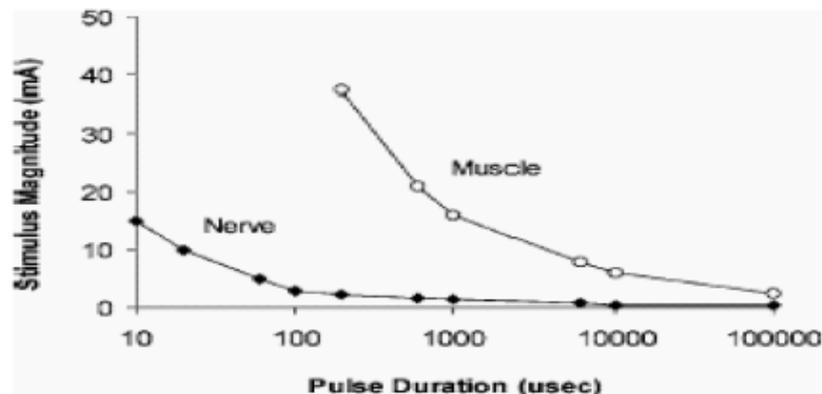
Com o intuito de compreender adequadamente a proposta, determinados conceitos físicos acerca da eletricidade necessitam ser formalizadas. A bioeletromagnetismo e um fenômeno eletromagnético para o âmbito de organismos vivos, em nada acrescenta conceitualmente na área física, a não ser o fato do foco de manifestações em sistemas biológicos. A diferença de potencial elétrico através das membranas das células do corpo, possuem em sua especialização a capacidade de programar, processar e impulsionar pulsos elétricos no sistema nervoso (PULLAR, 2016)

Tecidos biológicos têm uma capacidade condutora, em função dos íons estarem livres para se movimentarem, no caso de serem expostos à força eletromotriz. Nos locais em que existe eletricidade, se dá a criação de um campo, definido como campo elétrico, sendo uma grandeza vetorial o mesmo irá possuir, intensidade, direção e sentido, este seria o espaço onde as forças magnéticas exercem suas atividades, ao redor de um condutor de eletricidade. No caso de haver uma corrente elétrica de um dispositivo condutor, não apenas o condutor passa a ser dominado por modificações, mas, da mesma forma, a área circundante também está sujeita a mudanças. Estabelece-se um campo eletromagnético ao redor deste condutor (SOUSA, 2016).

Na medida em que a intensidade da corrente aumenta no condutor, maior será o campo eletromagnético em seu entorno. Sucessivamente, no caso de o campo eletromagnético se desfazer, este abandona o condutor e é conduzido ao infinito. Durante o tempo em que existe corrente circundando o condutor, geram-se ondas eletromagnéticas, essas comportam-se como a propagação de uma oscilação (HAYES, 2003).

As ondas eletromagnéticas são mesuradas por pulsos, em unidades de ms ou μ s, que equivalem à largura de fase da onda, ou à medida do local onde tem início até o local de término da onda. A cada pulso obtém-se uma quantidade de energia específica, já predeterminada. No caso de ser projetada no tempo, pode-se quantificar sua frequência (SOUSA, 2016).

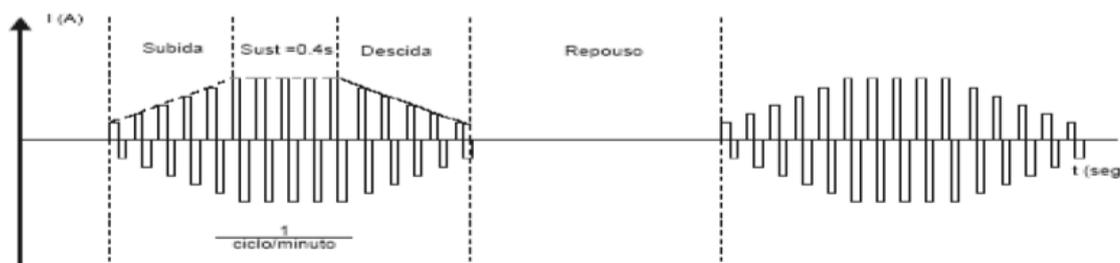
Figura 1 – Demonstrativo do tempo de pulso para atingir músculo (Santoro, 2018)



A frequência apresenta uma unidade de medida que é o Hz, essa é a quantidade de pulso em um período específico. Correntes elétricas podem ser categorizadas segundo sua frequência, como baixa, de 1 a 1000 Hz; média, de 1.000 a 100.000 Hz ou alta, quando superior a 100.000 Hz. Finalmente, em dispositivos que geram correntes, pode-se estabelecer a intensidade, a qual apresenta a unidade de medida de μA ou mA, da corrente. No caso de se elevar a intensidade do dispositivo, eleva-se também o conjunto motor recrutado, a extensão da zona atingida e, da mesma forma, a grandeza na qual está sendo abordada. Em contrapartida, também é capaz de conservar o estímulo sensorial (HAYES, 2003).

A modulação é a técnica onde as características da portadora (sinal que é modulado) são modificadas com a finalidade de transmitir as informações, sendo feitas as alterações combinadas de frequência, amplitude ou fase, conforme pode ser observado respectivamente, na Figura 2. Essa onda portadora modulada trafega por um canal de comunicações transportando toda informação (MEDEIROS, 2004).

Figura 2 – Demonstrativo de modulação de um sistema de ondas elétricas (Santoro, 2019)



Conforme realizado as modulações do sistema de estimulação por ondas elétricas, nota-se que quanto maior o tempo de subida maior será a intensidade dos pulsos aplicados, para a descida, seguimos o mesmo parâmetro, conforme o mesmo for diminuindo, o processo de intensidade dos pulsos também diminuirá. Para controlar o tempo ao qual o pulso se manterá aplicando no paciente, verificaremos a área Sust, onde será demonstrando o tempo de ciclo do processo, no caso da figura podemos verificar que para cada pulso, temos a aplicação de 0,4s.

Estudos mais recentes indicam que o uso de correntes elétricas alternadas moduladas em *Bursts*, com duração prolongada e geradas por correntes tradicionais, tais como a corrente russa, não seriam as mais indicadas à minimização do incômodo experimentado na estimulação sensorial e na produção de altos níveis de torque muscular ao longo de estimulações motoras, já que elas alcançam o limiar de dor antes do que o limiar motor.

As pesquisas de Hogenkamp, Mittelmeijer, Smits e Van Stralen (1987), e de Ward (2009), indicam que a modulação em *Bursts* com duração curta em correntes alternadas com frequência média possibilita uma melhor eficácia no estímulo sensorial e motor, uma vez que o limiar de ativação dos feixes nervosos reduz de forma proporcional à elevação da duração dos *Bursts*.

Tal fato decorre que a cada pulso dessa corrente específica, ser o feixe nervoso parcialmente despolarizado, beirando seu limiar, no entanto a despolarização apenas se dará depois de uma quantidade suficiente de pulsos. Dessarte, caso a duração dos *Bursts* seja demasiado longa, uma ativação de baixa intensidade será necessária para se dar a somação, de forma ao limiar ser atingido (SOUSA, 2016).

A faixa de frequência, de uso medicinal, para o organismo humano encontra-se entre 1 e 200Hz, no que concerne à corrente elétrica exitomotora. Ademais esta frequência, o organismo não é capaz de funcionar, assim, não cabe a terapia. Assim, é ineficaz a aplicação de frequências muito elevadas (SANTANA, 2010).

A adoção de uma modulação em rampa pode ser considerada quando o objetivo é impedir a fadiga precoce do músculo, sendo a frequência de 50Hz a mais indicada. Todavia, os feixes musculares de tipo I são estimulados a uma frequência de 20 a 30Hz, ao passo que os feixes de tipo II são estimulados entre 50 e 150Hz. Com o uso da corrente russa, a frequência pode ser modulável, por um esquema denominado *Burst*. Cada *Burst* é modulado segundo a classe de fibras desejada. Para a estimulação de fibras de tipo II, as frequências mais elevadas, na casa de 80Hz são as mais adequadas. Por sua vez, para fibras de tipo I, a frequência mais acertada é a de 20Hz. Na proporção em que menor é a fase do pulso, maior será a intensidade necessária para atingir os limiares, sendo a mais agradável nessa corrente. Por fim, o tempo *on*, constituído pelo tempo de subida até o de descida, é fundamental em função dos efeitos de acomodação (WARD; ROBERTSON; IOANNOU, 2004).

Speksnijder et al. (2009), a estimulação por ondas elétricas aciona a totalidade dos feixes musculares, sendo as fibras de tipo II as primeiras a serem arroladas, o que melhora o torque do músculo e a oposição à fadiga precoce.

Vivodtzev et al. (2012) avaliaram 22 sujeitos portadores de Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica severa, estes foram expostos a um programa de estimulação por ondas elétricas, os autores verificaram que existe uma associação entre o equilíbrio do catabolismo depois de realizada a estimulação por ondas elétricas, assim como uma melhoria na capacidade funcional, sendo elevados os níveis de p70S6K fosforilada e reduzida a atrogina-1, da mesma forma em que se observa uma melhora no percurso de caminhada e força do músculo quadríceps.

Sillen et al. (2014) uma pesquisa publicada em 2014 comparou em indivíduos com Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica, a eficácia de protocolos de estimulação por ondas elétricas com frequência alta (75Hz) e baixa (15Hz), os autores observaram que em ambas as situações existem vantagens aos pacientes portadores de disfunções respiratórias.

Cancellieri et al (2006) à área Biológica, se busca constantemente o aperfeiçoamento de metodologias e técnicas de análise que forneçam uma melhor aplicabilidade a fim de avaliar critérios respiratórios, aprimorando a eficácia da recuperação de indivíduos portadores de patologias pulmonares e terapias constantes em pacientes internados, a fim de possibilitar uma qualidade de vida melhor para cada situação. Assim, entre os vários recursos disponíveis na rotina da prática clínica, a adoção da estimulação por ondas elétricas têm merecido uma posição de destaque diante das diversas vantagens intrínsecas a emprego de um estímulo elétrico, observa-se uma elevação na capacidade de captar substratos metabolizáveis, aumento da atividade enzimática, diminuição na formação de fibroses, bem como na promoção do fortalecimento muscular.

Os autores Zanotti et al. (2003) conduziram um estudo comparativo utilizando um protocolo de treino ativo apendicular com estimulação muscular por ondas elétricas, em

sujeitos com Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica severa, estes encontravam-se acamados e intubados por período prolongado. O protocolo testado para a estimulação muscular por ondas elétricas compreendeu a aplicação de um impulso quadrado bifásico com eletrodos superficiais. Cada uma das sessões foi iniciada com estímulos a uma frequência de 8Hz e 25ms de largura de pulso, por cinco minutos, após, foi aplicada uma frequência 35Hz e largura de impulso de 35ms ao longo de 25 minutos de duração. Os autores puderam concluir que se deu um aumento na força muscular periférica nos grupos avaliados, principalmente no subgrupo submetido à eletroestimulação associada. Também pode ser observado que o grupo submetido à estimulação muscular por ondas elétricas foi capaz de movimentar-se do leito à cadeira em um período menor de tempo, quando comparado aos demais.

Um dos maiores estudos clínicos já realizados, que investigou a estimulação por ondas elétricas em pacientes graves, foi o publicado por Routsis et al. (2010), nesse estudo 140 pacientes severamente afetados foram investigados e, de forma aleatória, distribuídos em dois grupos, um que recebeu estimulação muscular por ondas elétricas e o outro que recebeu o tratamento padrão. Os resultados obtidos no estudo referido indicaram que apenas três sujeitos pertencentes ao grupo caso evoluíram para a polineuropatia do paciente crítico, comparado ao grupo controle, com onze pacientes afetados. Esse trabalho observou, da mesma forma, que aqueles que foram submetidos à estimulação muscular por ondas elétricas apresentaram um quadro de melhora da força muscular e uma redução no período necessário para que o paciente pudesse sentar-se em uma cadeira, assim como no tempo de duração da ventilação mecânica invasiva (VMI) e da internação em UTI, na comparação com o grupo controle. A debilidade muscular foi analisada mediante a escala *Medical Research Council* (MRC) por dois membros da equipe, independentes e não ocultados. O escore da MRC se mostrou significativamente maior em sujeitos do grupo submetido à estimulação muscular por ondas elétricas, quando comparados ao grupo controle. Porém, esse trabalho recebeu duras críticas, por diversos motivos, pela avaliação dos resultados primários terem sido realizadas nos indivíduos despertos e colaborativos. Gerovasili, Tripodaki, Karatzanos, Pitsolis, Markaki, Zervakis, Routsis, Roussos e Nanas (2009b) consideram que tal limitação pode ter excluído 39 sujeitos que foram à óbito e 44 pacientes com déficit cognitivo ao término da avaliação. Dentro do grupo caso, as informações referentes à três pacientes foram excluídas em função do uso de bloqueadores neuromusculares. Por fim, a estimulação muscular por ondas elétricas foi usada somente nos membros inferiores (MMII), porém a escala MRC é utilizada para medir a força dos membros inferiores e superiores (MMSS). Apesar de ser, teoricamente, possível que estimulação muscular por ondas elétricas tenha efeitos sistêmicos, o trabalho de Ali, O'Brien, Hoffmann, Phillips, Garland, Finley, Almoosa, Hejal, Wolf, Lemeshow, Connors Jr. e Marsh (2010) defende que a MRC usada nesse caso supracitado seria uma avaliação irreal no ambiente clínico.

Como principal vantagem, o uso de estimuladores por ondas elétricas acarreta no bem estar e qualidade de vida na tratativa de pacientes, como citado em estudos anteriores, o uso do mesmo de forma medicinal colocando em prol a junção Biológica e Exatas, colhemos benefícios inovadores na área médica, podendo reduzir o tempo de internação de um paciente junto a tratativa de doenças e deficiências musculares durante o período de acamação.

Todavia, uma publicação recente não relatou diferenças estatisticamente significativas na força dos músculos referente aos membros inferiores, quando da alta hospitalar, com isso seções de tratamento após o período de internação acabam se tornando inviáveis financeiramente para os pacientes tratados durante o período hospitalar,

Na tentativa de impedir a ocorrência de polineuropatia, uma condição clínica frequente em UTI's, constituída por um quadro de fraqueza muscular grave e redução ou ausência de reflexos tendinosos, uma pesquisa publicada em 2012 foi responsável pela análise sobre a repercussão da técnica de estimulação elétrica neuromuscular nesse agravo. Foi possível observar que, em um estudo clínico controlado e randomizado, sessões diárias com 55

minutos de duração impediram a ocorrência dessa condição. Ademais, pacientes submetidos à estimulação elétrica neuromuscular mantiveram-se, por um período reduzido, sob ventilação mecânica, se comparados ao grupo controle. Isto posto, a estimulação elétrica neuromuscular pode ser considerada como uma ferramenta de prevenção (KARATZANOS et al., 2012).

Por meio de pesquisas realizadas por Fonseca, Borges e Barroso (2016), não se observou um consenso acerca dos protocolos de estimulação elétrica neuromuscular, bem como suas técnicas de análise. Geralmente, realiza-se uma sessão ao dia, com 30 a 60 minutos de duração. Também não existe consenso no que se refere à duração do procedimento de eletroestimulação. As conformações da corrente elétrica podem seguir padrões distintos, tais como ser bifásica e simétrica, com frequência variável de 35 a 50Hz, largura de pulso entre 300 e 400 μ s e uma intensidade mínima programada até visualizar-se a contração do músculo, com isso, o uso errado do equipamento pode ocasionar danos ao tono muscular, podendo ocasionar sequelas irreversíveis após as aplicações.

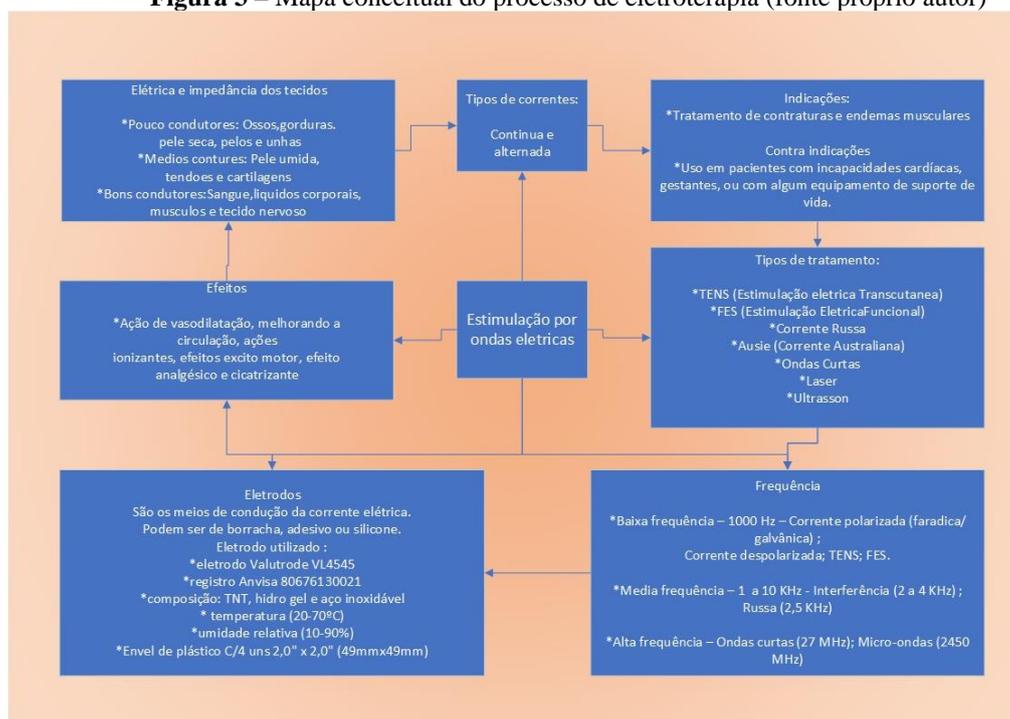
Com o entendimento do funcionamento do processo de um sistema de estimulação por ondas elétricas, e a verificação de estudos aplicados na área foi desenvolvido duas modelagens e suas respectivas simulações, as mesmas demonstrarão o funcionamento de um sistema de estimulação através do software de simulação.

METODOLOGIA

Utilizando uma pesquisa qualitativa, o trabalho proposto iniciou-se com uma pesquisa em obras e teóricos de pesquisadores no ramo de Engenharia Elétrica e Biológicas, como primeiro passo a pesquisa foi realizada em tópicos médicos capazes de estabelecer uma conexão do tema abordado com a área.

Para o processo de estimulação por ondas elétricas, foi necessário entender sua funcionalidade e em qual momento um ser humano necessitaria de tal processo. Para isso, o próximo passo foi o desenvolvimento de um mapa conceitual capaz de expor o tema abordado de uma forma cronológica. Sendo assim, para o aspecto relacionado, será possível o desenvolvimento de simulações.

Figura 3 – Mapa conceitual do processo de eletroterapia (fonte próprio autor)



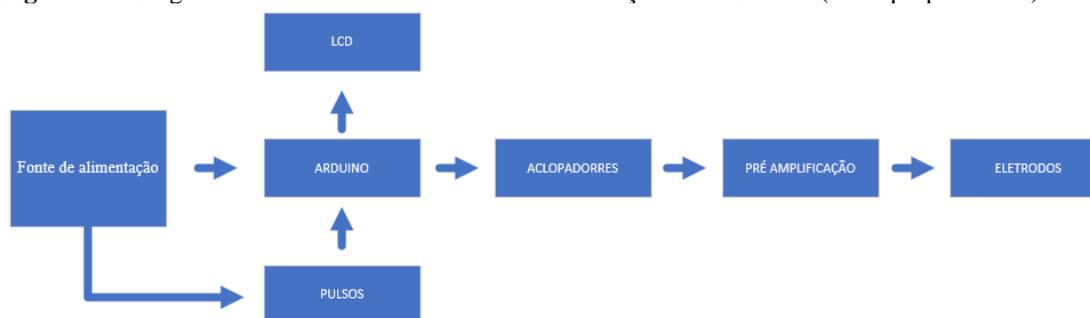
Inicia-se o processo de modelagem do primeiro circuito aplicando a computação física (*Physical Computing*), definida como a capacidade de associar dados analógicos e digitais através de um processo chamado transdução. A transdução consiste na conversão de formas de energia física em tensão elétrica variável, e recebe este nome devido ao elemento de conversão chamado transdutor.

O elemento que torna esse processo possível é o microcontrolador, que faz a mediação entre os *inputs* e *outputs* analógicos e digitais permitindo a configuração das relações entre ambos os fluxos de energia. Ao ser associado a sensores e atuadores, torna possível a obtenção de diferentes resultados na medida em que permite a manipulação de várias interfaces ao mesmo tempo.

A computação física é formada por elementos de *hardware* e *software*. O desenvolvimento de ambos vem se tornando cada vez mais facilitado devido ao surgimento e popularização de dispositivos como Arduino, que permitem a implementação de hardware e/ou software de forma descomplicada, o uso de um sistema lógico, Arduino, será capaz de simular as formas de onda aplicadas durante um tratamento. Este processo irá simular a condição dos tipos de onda no período de tempo Ton e Toff do processo, podendo observar as formas de pulsos:

- Pulsos isolados positivos e negativos
- Pulsos monofásicos
- Trens de pulso
- Pulsos bifásicos

Figura 4 – Diagrama de bloco de um circuito de estimulação com Arduino (fonte próprio autor)



Utilizando a linguagem de programação em C++, inicia-se o processo de criação do código responsável em comandar o circuito lógico. Após o processo de criação da linguagem, será realizada a compilação do programa, utilizando Arduino IDE, será transferido o código fonte para o sistema lógico.

Figura 5 – Código fonte Arduino (fonte próprio autor)

```

void setup() {
  lcd.begin (16,2);
  pinMode (A0,INPUT);
  pinMode (A1,INPUT);
  pinMode (A2,INPUT);
  pinMode (8,OUTPUT);
  pinMode (9,OUTPUT);
  pinMode (10,INPUT);
  Valor = digitalRead (10);
  if (Valor==HIGH){
    Pulso ++;
    delay (200);
  }
}
  
```

```

    }
}
void loop() {
    Ton= map(analogRead(A0),0,1023,5,50);
    Toff= map(analogRead(A1),0,1023,5,50);
    Toff2= map(analogRead(A2),0,1023,5,50);
    Valor = digitalRead (Selecao);
    if (Valor==HIGH){
        Pulso ++;
        delay (200);
    }

switch (Pulso){
case 0:
    lcd.setCursor (0,0);
    lcd.clear();
    lcd.print ("PULSO ISOLADO +");
    digitalWrite (S1,HIGH);
    digitalWrite (S2,LOW);
    delay (Ton);
    digitalWrite (S1,LOW);
    delay (Toff);
    break;

case 1:
    lcd.setCursor (0,0);
    lcd.clear();
    lcd.print ("PULSO ISOLADO -");
    digitalWrite (S1,LOW);
    digitalWrite (S2,HIGH);
    delay (Ton);
    digitalWrite (S2,LOW);
    delay (Toff);
    break;

case 2:
    lcd.setCursor (0,0);
    lcd.clear();
    lcd.print ("PULSO MONOFASICO");
    digitalWrite (S1,HIGH);
    digitalWrite (S2,LOW);
    delay (Ton);
    digitalWrite (S1,LOW);
    delay (Ton);
    break;

case 3:
    lcd.setCursor (0,0);
    lcd.clear();
    lcd.print ("PULSOS CONTINUOS");

```

```

while (Tempo<Toff2){
digitalWrite (S1,HIGH);
digitalWrite (S2,LOW);
  delay (Ton);
digitalWrite (S1,LOW);
  delay (Ton);
Tempo=Tempo + (Ton * 2);
}
delay (Toff2);
Tempo= 0;
  break;
case 4:
lcd.setCursor (0,0);
lcd.clear();
  lcd.print ("BIFASICO");
digitalWrite (S1,HIGH);
digitalWrite (S2,LOW);
  delay (Ton);
digitalWrite (S1,LOW);
digitalWrite (S2,HIGH);
  delay (Ton);
digitalWrite (S2,LOW);

  delay (Toff2);
  break;

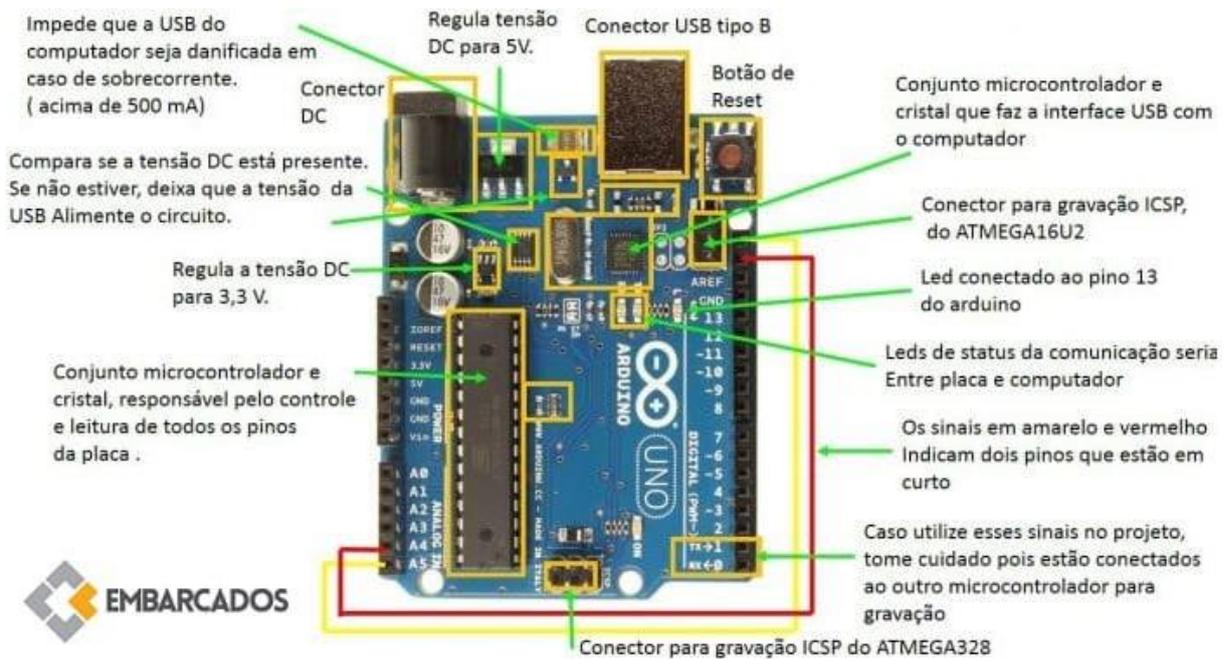
default:
Pulso=0;
  break;

}
}

```

O componente principal da placa Arduino UNO é o microcontrolador ATMEL ATMEGA328, dispositivo de 8 bits da família AVR com arquitetura RISC avançada e com encapsulamento DIP28. Conta com 32 KB de Flash (mas 512 Bytes são utilizados pro bootloader), 2 KB de RAM e 1 KB de EEPROM. Pode operar a até 20 MHz, porém na placa Arduino UNO opera em 16 MHz, valor do cristal externo que está conectado aos pinos 9 e 10 do microcontrolador

Figura 6 – Esquema de uma placa Arduino Uno (Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/arduino-uno/>)



A montagem foi realizada de uma forma onde é possível seleccionar os pulsos, simulando cada aspecto de um instrumento de estimulação por ondas elétricas.

A modelagem contará com um botão de tipo de onda onde será capaz de seleccionar o pulso em relação ao tempo, seguido de um circuito lógico (Arduino), responsável pelo controle de todo o sistema, levando o sinal ao LCD e aos acopladores responsáveis em isolar o sistema lógico do sistema de potência. A pré amplificação do sistema será montada por transistores bipolares, responsáveis pelo alto ganho de corrente no circuito.

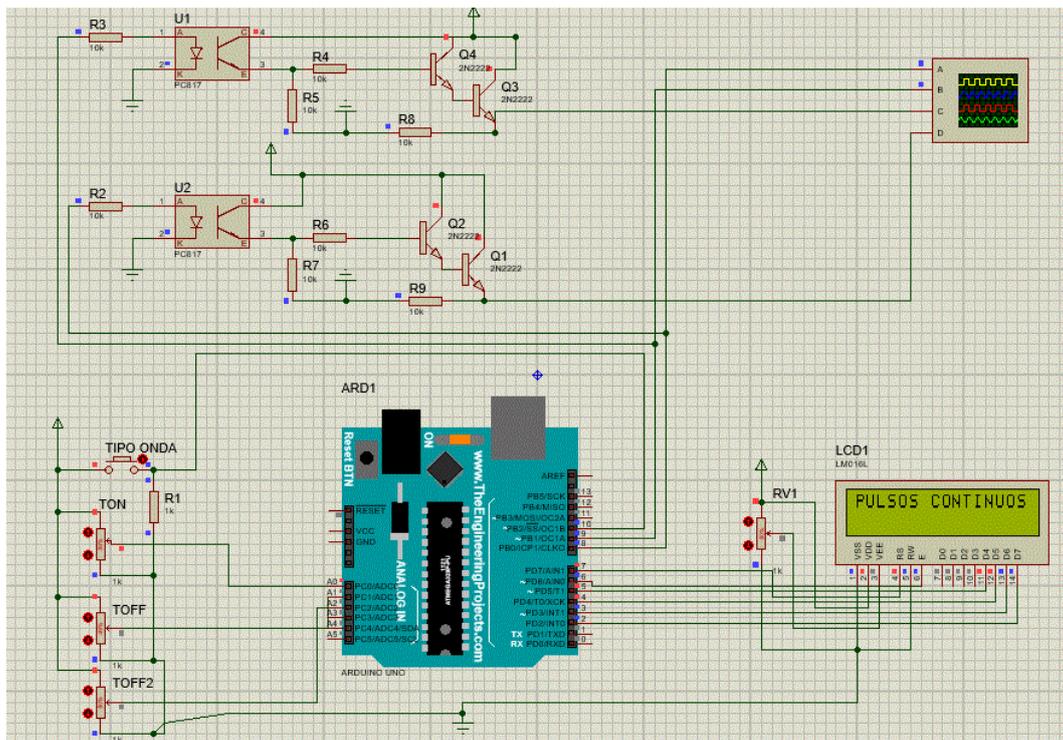
Para a segunda modelagem, utilizaremos um circuito capaz de simular em fase real o funcionamento de um equipamento. A modelagem proposta, baseia-se sobre um circuito amplificador, possuindo uma fonte de tensão ou amplificador de no máximo 1 A, este dado se propõe pelo fato de correntes acima deste valor podem ser prejudiciais ao ser humano, principalmente por se tratar de um sistema caseiro. O transistor por sua vez irá atuar com a amplificação de sinais quando alimentado, na saída do circuito utilizaremos um regulador de tensão, a fim de manter uma tensão fixa na saída do circuito.

Por fim, será comparado os valores de mercado dos componentes utilizados a um equipamento profissional e a funcionalidade dos mesmos na simulação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

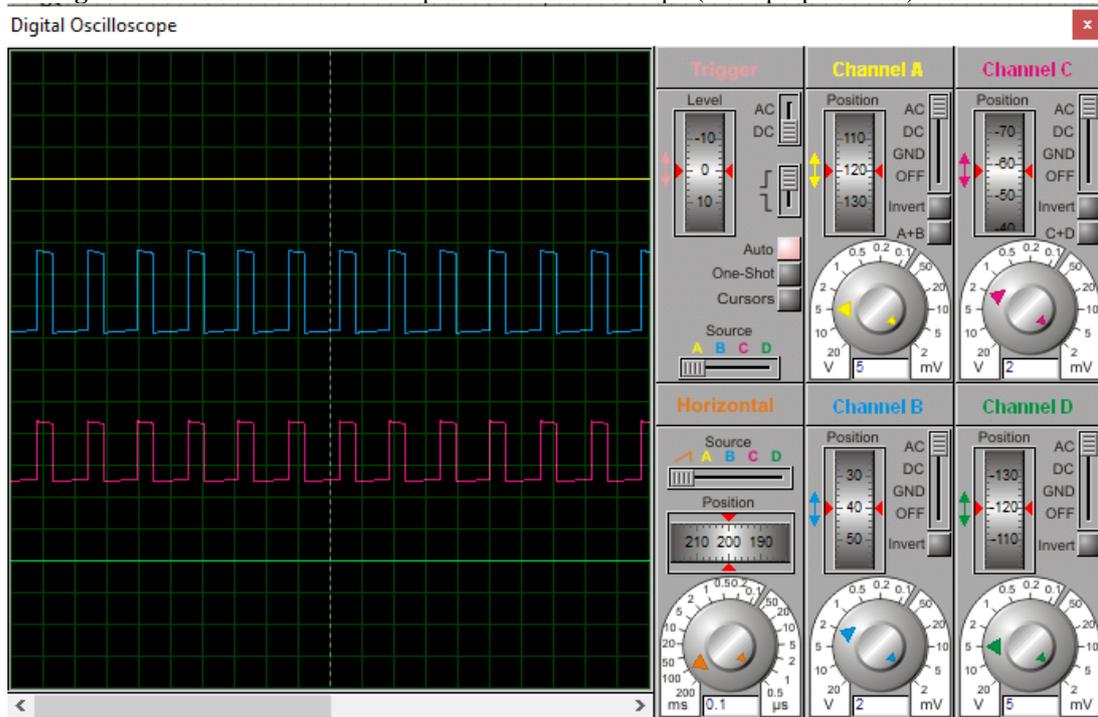
Usando a computação biofísica como base, iniciamos o processo de modelagem do sistema, o processo contará com a transdução dos dados realizados pelo circuito lógico, capaz de interagir com o circuito, a forma de onda e sua modelagem será apresentada conforme a seleção dos pulsos. Todo este processo estará sendo controlado pelo Arduino, realizando assim a conversão de um sistema analógico para digital.

Figura 7 – Demonstrativo do circuito com pulsos contínuos (fonte próprio autor)



Após a funcionalidade do circuito e verifica-se a forma de onda de um tipo de pulso específico funcionando similar a um equipamento funcional.

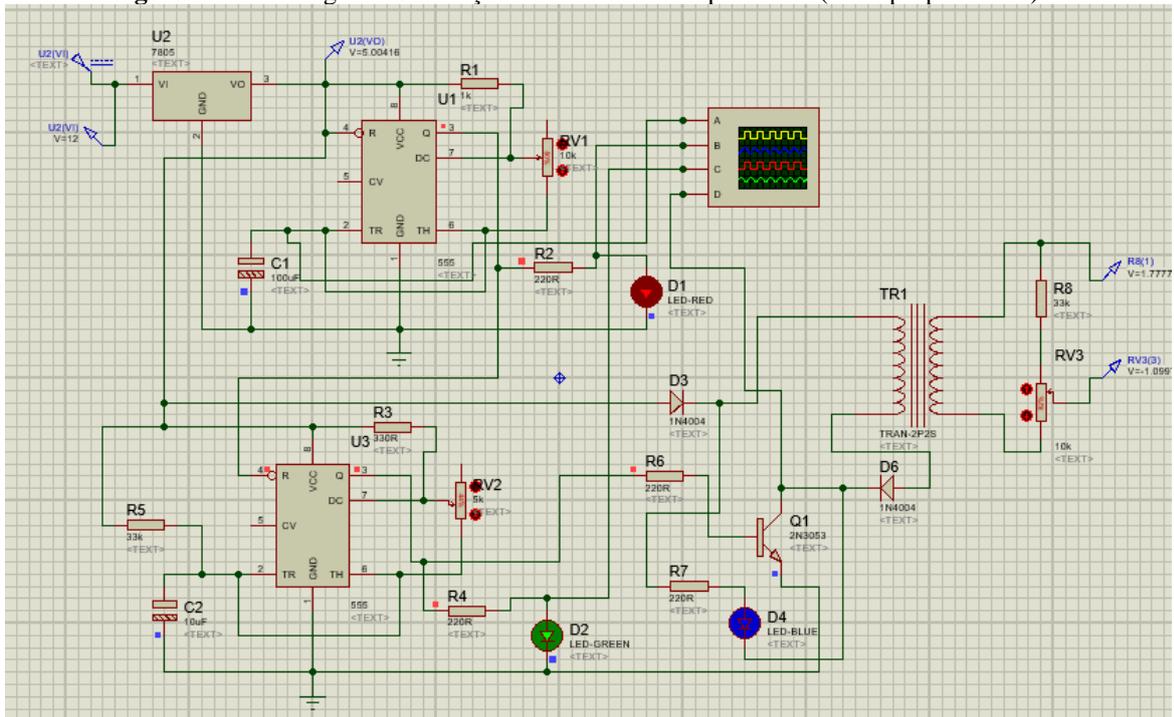
Figura 8 – Forma de onda de um pulso contínuo no tempo (fonte próprio autor)



Após a inserção da primeira simulação, a proposta de um segundo modelo, capaz de simular em fase real o funcionamento de um equipamento. A modelagem proposta, baseia-se sobre um circuito amplificador, possuindo uma fonte de tensão ou amplificador de no máximo 1 A, este dado se propõe pelo fato de correntes acima deste valor podem ser prejudiciais ao ser humano, principalmente por se tratar de um sistema caseiro. O transistor por sua vez irá

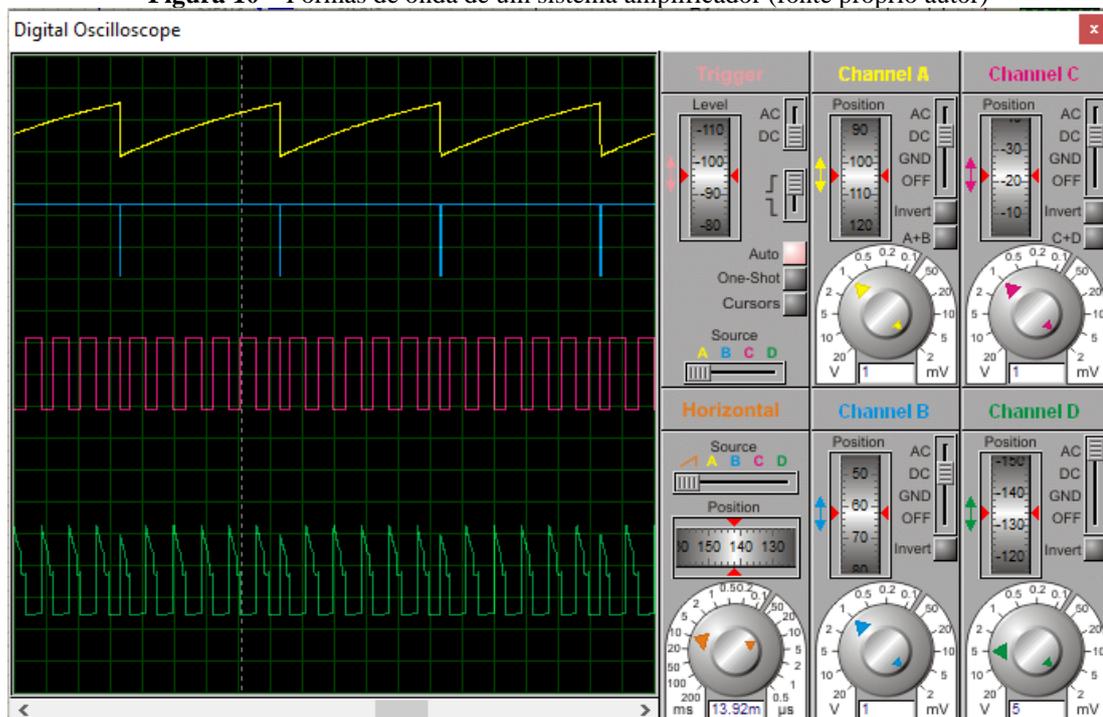
atuar com a amplificação de sinais quando alimentado, na saída do circuito utilizaremos um regulador de tensão, a fim de manter uma tensão fixa na saída do circuito

Figura 9 – Modelagem e Simulação de um sistema amplificador (fonte próprio autor)



Por não possuir um sistema logico atuando como controlador dos sinais, a configuração é feita através de potenciômetros capazes de realizar a variação da frequência do circuito.

Figura 10 – Formas de onda de um sistema amplificador (fonte próprio autor)



O sistema analógico, proporciona ao ser manipulado sua frequência e modulação uma forma de onda de trens de pulso, como simulado no protótipo de níveis lógicos (Arduino).

O gasto total para a montagem de um futuro protótipo, demonstra a viabilidade do mesmo para aplicação caseira na sociedade, o valor de futuros testes, homologação e demais tratativas não foram considerados no projeto, na tabela a seguir verifica-se o gasto total de montagem dos dois protótipos.

Tabela 1 – Relação de preços dos componentes do circuito com Arduino.

Componentes	Valor em (US\$)	Quantidade utilizada
Arduino Uno	3,33	1
Potenciômetro	2,99	4
Botão Switch	0,5	1
Resistor 1 Kohms	0,3	2
Resistor 10 Kohms	0,3	8
Foto acoplador PC817	0,12	2
Transistor 2N222	6,90	4
LCD 016l	3,90	1

Fonte: Alldatashhet.com

Tabela 2 – Relação de preços dos componentes do circuito amplificador.

Componentes	Valor em (US\$)	Quantidade Utilizada
Resistor 33 Kohms	0,2	1
Resistor 330 Ohms	0,3	1
Resistor 220 Ohms	0,1	4
Led	0,2	3
Potenciômetro 10 Kohms	3,00	2
Potenciômetro 5 Kohms	2,99	1
Diodo 1N4004	0,5	2
Transistor 2N3053	0,5	1
CI 555	0,5	5
CI regulador 7805	0,5	1
Transformador 200mA a 1A	12,00	1
Capacitor 10 uF	0,2	1
Capacitor 100 uF	0,2	1

Fonte: Alldatashhet.com

CONCLUSÕES

Nesse sentido, como objetivo principal, foram averiguados os principais aspectos sobre a importância da estimulação por ondas elétricas com a finalidade de estabelecer a mobilização do paciente em processo de acamação.

Em relação aos objetivos específicos, ressaltam-se: verificar os aspectos conceituais sobre a estimulação por ondas elétricas; avaliar estudos relevantes sobre os efeitos da estimulação por ondas elétricas nos pacientes e questões técnicas; análise sobre as principais vantagens e desvantagens do tema proposto.

Em virtude do progressivo e contínuo progresso tecnológico e científico da área médica intensivista, a sobrevivência de pacientes graves tem aumentado substancialmente. Entre as intercorrências derivadas de uma internação prolongada, a debilidade adquirida parece ser uma das complicações neuromusculares acomete cerca de 30% a 60% dos sujeitos internados em unidades de tratamento intensivo. Dentre as metodologias usadas pelos profissionais do ramo médico, a estimulação por ondas elétricas tem recebido atenção, no intuito de preservar ou impedir sequelas durante o período de tratamentos intensivos.

O presente trabalho realizou uma revisão da literatura e pode concluir que a estimulação por ondas elétricas em pacientes críticos pode ser um método exequível e eficaz complementar aos recursos disponibilizados durante o processo de recuperação para o restabelecimento da mobilidade precoce em UTI's. Apesar de ser necessário considerar que existe uma diversidade importante de protocolos para a estimulação por ondas elétricas e das

técnicas de avaliação serem limitantes às comparações entre os grupos, não existe consenso no que tange à modulação mais acertada, de forma a estimular contrações fortes acompanhadas de um mínimo de fadiga do músculo. Isto posto, as evidências atuais que tratam dos efeitos da estimulação muscular por ondas elétricas em relação ao paciente severamente acometido ainda é limitada, em virtude da escassez de trabalhos publicados sobre o tópico. Assim, sugere-se que novos estudos sejam conduzidos com delineamentos metodológicos específicos e essencialmente em amostras com perfis específicos.

Verificou-se que o tratamento envolvendo a estimulação por ondas elétricas pode ser uma opção a ser considerada em indivíduos com um importante comprometimento funcional, pela sua similaridade com o movimento ativo.

Constatou-se que o procedimento relacionado à estimulação por ondas elétricas parece otimizar a situação física desses sujeitos, tendo uma repercussão positiva em relação à função pulmonar e à capacidade funcional, o que possibilita uma melhor performance física em sujeitos afetados por uma série de disfunções.

Após a avaliação das evidências encontradas, parece ser possível afirmar que a estimulação elétrica neuromuscular é uma metodologia associada a um custo reduzido e de eficácia confiável. A técnica parece ser bem tolerada por muitos pacientes e não provocar efeitos adversos, durante ou mesmo depois de sua aplicação. Um dos maiores diferenciais da técnica é a prontidão de sua utilização, uma vez que não é dependente da cooperação do afetado, sendo usada em UTI's. O músculo quadríceps é um dos músculos mais tratados pela terapia, possivelmente por seu tamanho e posição, o que facilita a aplicação da metodologia, uma vez que o paciente crítico, frequentemente, assume uma posição de decúbito dorsal ao leito. Afora isso, também é um músculo diretamente envolvido nas principais tarefas da vida diária, tais como a deambulação e as transferências.

A maior parte dos trabalhos publicados nesta revisão sistemática é favorável à adoção da estimulação elétrica neuromuscular, por ser uma metodologia simples e eficaz, que resulta em efeitos positivos no ganho de força e volume muscular de sujeitos internados em UTI.

Apesar da escassez de trabalhos que abordam essa temática, se faz necessária a continuidade destas pesquisas, sendo imprescindível a adoção de parâmetros e critérios para os protocolos do tipo de corrente elétrica utilizada, quanto ao método de análise e dos programas de tratamento, incluindo início e término da terapia, duração do tratamento e das sessões, número de sessões semanais e músculos alvo. É importante atentar à investigação dos efeitos da estimulação elétrica neuromuscular depois de recebida a alta hospitalar, bem como seu impacto na qualidade de vida do paciente.

Alguns trabalhos com maior rigor metodológico parecem ser necessários, a fim de estabelecer acerca das modificações morfológicas criadas em músculos depois da estimulação por ondas elétricas, a fim de mensurar a eficácia da metodologia nos mais distintos perfis clínicos de pacientes.

A técnica da estimulação muscular por ondas elétricas é utilizada no fortalecimento muscular de sujeitos com intolerância aos treinos ou impossibilitados de cooperar com a movimentação ativa. A estimulação muscular por ondas elétricas usando correntes com média frequência, ao ser comparada com o movimento ativo, parece ativar aproximadamente 30% a 40% mais unidades motoras.

No âmbito comercial, a corrente do tipo russa, a eletroestimulação funcional (FES) e a interferencial parecem ser as mais usadas em protocolos de eletroestimulação. Entretanto, constantemente se busca uma corrente capaz de uma estimulação sensorial confortável sem reduzir os benefícios eletrofisiológicos ou a própria estimulação motora.

O desenvolvimento de uma modelagem, ressaltou a possibilidade de criação de um futuro protótipo capaz de realizar as mesmas funcionalidades de um equipamento profissional, tornando assim, um mercado acessível ao consumidor final. O custo de criação de um protótipo não passaria de R\$ 200,00 (Duzentos reais) para um simulador de pulsos

utilizando um nível lógico (Arduino) como o principal componente, e R\$ 80,00 (Oitenta Reais) para criação de um amplificador de sinais. Para fim de estudos não foram elaborados protótipos neste momento da pesquisa, impossibilitando um estudo mais profundo de vantagens e riscos dos mesmos durante seu funcionamento.

Assim, em síntese, o presente estudo analisou as principais vantagens da estimulação por ondas elétricas no processo de reabilitação funcional. Sugere-se, ainda, que outros estudos sejam desenvolvidos para discutir e fortalecer o tema da presente pesquisa, levando-se em consideração a evolução da sociedade e do mercado, bem como os principais autores no segmento de Engenharia Elétrica, com ênfase para as áreas de Medicina e Fisioterapia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLA, Douglas Reis; BERTONCELLO, Dernival; CARVALHO, Leonardo César. **Avaliação das propriedades mecânicas do músculo gastrocnêmio de ratas imobilizado e submetido à corrente russa.** Fisioterapia e Pesquisa, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 59-64, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/fp/v16n1/11.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2019.

ADAMS, G. R.; VAZIRI, N. D. **Skeletal muscle dysfunction in chronic renal failure: effects of exercise.** American Journal of Physiology-Renal Physiology, [s. l.], v. 290, p. F753-F761, 2006.

AGNE, Jones Eduardo. **Eu sei eletroterapia.** 2. ed. Santa Maria: Pallotti, 2011. ISBN 9788577821099.

ALI, Naeem A.; O'BRIEN JR., James M.; HOFFMANN, Stephen P.; PHILLIPS, Gary; GARLAND, Allan; FINLEY, James C. W.; ALMOOSA, Khalid; HEJAL, Rana; WOLF, Karen M.; LEMESHOW, Stanley; CONNORS JR., Alfred F.; MARSH, Clay B. **Acquired weakness, handgrip strength, and mortality in critically ill patients.** American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, [s. l.], v. 178, n. 3, maio 2008. DOI 10.1164/rccm.200712-1829OC.

ARAÚJO, Juliana Monteiro de; SANTOS, Emerson dos. **Dois protocolos distintos de reabilitação pulmonar em pacientes portadores de doença pulmonar obstrutiva crônica.** Relato de casos e revisão de literatura. Revista da Sociedade Brasileira de Clínica Médica, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 87-90, 2012.

BAILEY, Polly; THOMSEN, George E.; SPUHLER, Vicki J.; BLAIR, Robert; JEWKES, James; BEZDJIAN, Louise; VEALE, Kristy; RODRIQUEZ, Larissa; HOPKINS, Ramona O. **Early activity is feasible and safe in respiratory failure patients.** Critical Care Medicine, Mount Prospect, v. 35, n. 1, p.139-145, jan. 2007. Disponível em: http://www0.sun.ac.za/Physiotherapy_ICU_algorithm/Documentation/Rehabilitation/Referen ces/Baily_07.pdf. Acesso em: 25 ago. 2019.

BANERJEE, Prithwish; CAULFIELD, Brian; CROWE, Louis; CLARK, Andrew L. **Prolonged electrical muscle stimulation exercise improves strength, peak VO₂, and exercise capacity in patients with stable chronic heart failure.** Journal of Cardiac Failure, v. 15, n. 4, p. 319-326, maio 2009. DOI 10.1016/j.cardfail.2008.11.005.

BENATTI, F. B.; PEDERSEN, B. K. **Exercise as an anti-inflammatory therapy for rheumatic diseases-myokine regulation.** Nature Reviews Rheumatology, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 86-97, 2015.

BERG, Hans E.; EIKEN, Ola; MIKLAVCIC, Lucijan; MEKJAVIC, Igor B. **Hip, thigh and calf muscle atrophy and bone loss after 5-week bedrest inactivity.** European Journal of Applied Physiology, [s. l.], v. 99, p. 283-289, 2007. DOI 10.1007/s00421-006-0346-y. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/6614768_Hip_thigh_and_calf_muscle_atrophy_and_bone_loss_after_5-week_bedrest_inactivity. Acesso em: 25 ago. 2019.

BOLZAN, Juliana de Paiva; ANTUNES, Vívian da Pieve. **A utilização da estimulação elétrica neuromuscular no paciente crítico: uma revisão bibliográfica.** Movimento & Saúde - Revista Inspirar, [s. l.], 37. ed., v. 8, n. 1, p. 17-22, jan./fev./mar. 2016.

BOULETREAU, P.; PATRICOT, M. C.; SAUDIN, F.; GUIRAUD, M.; MATHIAN, B. **Effects of intermittent electrical stimulations on muscle catabolism in intensive care patients.** Journal of Parenteral and Enteral Nutrition, [s. l.], v. 11, n. 6, p. 552-555, nov./dez. 1987.

BROWN, E. S. Brown; RATCLIFFE, Sarah J.; KAHN, Jeremy M.; HALPERN, Scott D. **The epidemiology of intensive care unit readmissions in the United States.** American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, Nova York, v. 185, n. 9, p.955-964, maio 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/221781609_The_Epidemiology_of_Intensive_Care_Unit_Readmissions_in_the_United_States. Acesso em: 25 ago. 2019.

BURTIN, Chris; CLERCKX, Beatrix; ROBBEETS, Christophe; FERDINANDE, Patrick; LANGER, Daniel; TROOSTERS, Thierry; HERMANS, Greet; DECRAMER, Marc; GOSSELINK, Rik. **Early exercise in critically ill patients enhances short-term functional recovery.** Critical Care Medicine, [s. l.], v. 37, n. 9, 2009. DOI 10.1097/CCM.0b013e3181a38937. Disponível em: <http://enableme.com/wp-content/uploads/2016/01/early-exercise-in-critically-ill-patients-enhances-short-term-1.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2019.

CAJUEIRO, Roberta Liana Pimentel. **Manual para elaboração de trabalhos acadêmicos: guia prático do estudante.** 3. ed. [S. l.]: Vozes, 2012. 112 p. ISBN-10 853264354X. ISBN-13 978-8532643544.

CANCELLIERO, Karina Maria. **Estimulação elétrica associada ao clenbuterol melhora o perfil metabólico muscular de membro imobilizado de ratos.** 2004. 101 f. Dissertação (Mestrado em Fisioterapia). Universidade Metodista de Piracicaba, Programa de Pós-Graduação - Mestrado em Fisioterapia, Piracicaba, 2004. Disponível em: <https://www.unimep.br/phpg/bibdig/pdfs/2006/FNMPVAGMJJRF.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2019.

_____; COSTA, Dirceu; SILVA, C. A. **Estimulação Diafragmática Elétrica Transcutânea melhora as condições metabólicas dos músculos respiratórios de ratos.** Revista Brasileira de Fisioterapia, v. 10, n. 1, p. 59-65, 2006. DOI 10.1590/S1413-35552006000100008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/245878559_Estimulacao_diafragmatica_eletrica_tra

nscutanea_melhora_as_condicoes_metabolicas_dos_musculos_respiratorios_de_ratos. Acesso em: 25 ago. 2019.

CHAMBERS, M. A.; MOYLAN, J. S.; REID, J. S. **Physical inactivity and muscle weakness in the critically ill**. *Critical Care Medicine*, Mount Prospect, v. 37, n. 10, p. 337-346, out. 2009.

DALL'ACQUA, Ana Maria. **Efeitos da estimulação elétrica neuromuscular na morfologia da musculatura abdominal e peitoral de pacientes críticos em ventilação mecânica**. 2015. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/117082/000966745.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2019.

DAVINI, R.; NUNES, C. V.; GUIRRO, E. C.; GUIRRO, R. R. J. **Estimulação elétrica de alta voltagem: uma opção de tratamento**. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, São Carlos, v. 9, n. 3, p. 249-256, 2005. ISSN 1413-3555. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/e6d7/77785af4bb7b426be5940ad9095a2db56e94.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2019.

DELEY, Gaëlle; KERVIO, Gaëlle; PATOIS-VERGÈS, Bénédicte; HANNEGUIN, Armelle; SALMI-BELMIHOUB, Sonia; GRASSI, Bruno; CASILLAS, Jean-Marie. **Comparison of low-frequency electrical myostimulation and conventional aerobic exercise training in patients with chronic heart failure**. *European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation*, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 226-233, 2005. DOI 10.1097/01.hjr.0000166455.23346.a5.

DEMO, Pedro. **Aprendizagens e novas tecnologias**. *Revista Brasileira de Docência, Ensino e Pesquisa em Educação Física*, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 53-75, ago. 2009. ISSN 2175-8093. Disponível em: <http://www.pucrs.br/famat/viali/doutorado/ptic/textos/80-388-1-PB.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2019.

DOMINGUES, Priscilla Weber; MOURO, Carla Tadano; ONETTA, Ronny C.; ZINEZI, Guilherme; BUZZANELLO, Márcia Rosângela; BERTOLINI, Gladson Ricardo Flor. **Efeitos da EENM associada à contração voluntária sobre a força de preensão palmar**. *Fisioterapia em Movimento*, Curitiba, v. 22, n. 1, p. 19-25, jan./mar. 2009. ISSN 0103-5150. Disponível em: <https://periodicos.pucpr.br/index.php/fisio/article/viewFile/19333/18681>. Acesso em: 25 ago. 2019.

DOWDY, David W.; EID, Mark P.; SEDRAKYAN, Artyom; MENDEZ-TELLEZ, Pedro A.; PRONOVOST, Peter J.; HERRIDGE, Margaret S.; NEEDHAM, Dale M. **Quality of life in adult survivors of critical illness: a systematic review of the literature**. *Intensive Care Medicine*, Paris, v. 31, n. 5, p.611620, maio 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/7933431_Quality_of_life_in_adult_survivors_of_critical_illness_A_systematic_review_of_the_literature. Acesso em: 25 ago. 2019.

EIKERMANN, Matthias; KOCH, Giacomo; GERWIG, M.; OCHTERBECK, Christof; BEIDERLINDEN, Martin; KOEPPEN, Susanne; NEUHÄUSER, Markus; PETERS, John Jeffrey. **Muscle force and fatigue in patients with sepsis and multiorgan failure**. *Intensive Care Medicine*, [s. l.], v. 32, p. 251-259, 2005. DOI 10.1007/s00134-005-0029-x.

FONSECA, Ana Flávia do Rosário; BORGES, Manuela Santos; BARROSO, Thaianne Oliveira. **Benefícios da estimulação elétrica neuromuscular na unidade de terapia intensiva.** Revista Atualiza Saúde, Salvador, v. 3, n. 3, p. 53-59, jan./jun. 2016.

FRANÇA, Eduardo Ériko Tenório de; FERRARI, Francimar; FERNANDES, Patrícia; CAVALCANTI, Renata; DUARTE, Antonio; MARTINEZ, Bruno Prata; AQUIM, Esperidião Elias; DAMASCENO, Marta Cristina Paulete. **Fisioterapia em pacientes críticos adultos:** recomendações do Departamento de Fisioterapia da Associação de Medicina Intensiva Brasileira. Revista Brasileira de Terapia Intensiva, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 6-22, fev. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbti/v24n1/03.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2019.

GEROVASILI, Vasiliki; STEFANIDIS, Konstantinos; VITZILAIOS, Konstantinos; KARATZANOS, Eleftherios; POLITIS, Panagiotis; KORONEOS, Apostolos; CHATZIMICHAIL, Aikaterini; ROUTSI, Christina; ROUSSOS, Charis; NANAS, Serafim. **Electrical muscle stimulation preserves the muscle mass of critically ill patients: a randomized study.** Critical Care, [s. l.], v. 13, n. 5, out. 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/26880794_Electrical_muscle_stimulation_preserves_the_muscle_mass_of_critically_ill_patients_A_randomized_study. Acesso em: 25 ago. 2019.

_____; TRIPODAKI, Elli; KARATZANOS, Eleftherios; POLITIS, Panagiotis; MARKAKI, Vasiliki; ZERVAKIS, Dimitrios; ROUTSI, Christina; ROUSSOS, Charis; NANAS, Serafim. **Short-term systemic effect of electrical muscle stimulation in critically ill patients.** Chest, Glenview, v. 136, n. 5, p. 1249-1256, ago. 2009b. DOI 10.1378/chest.08-2888. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/26770274_Short-term_Systemic_Effect_of_Electrical_Muscle_Stimulation_in_Critically_Ill_Patients. Acesso em: 25 ago. 2019.

GIALLAURIA, F.; VIGORITO, C.; PIEPOLI, M. F.; COATS, Stewart A. J. **Effects of cardiac contractility modulation by non-excitatory electrical stimulation on exercise capacity and quality of life: an individual patient's data metaanalysis of randomized controlled trials.** International Journal of Cardiology, [s. l.], v. 175, n. 2, p. 352-357, 2014.

GOLDINGER, A.; SHAKHBAZOV, K.; HENDERS, A. K.; MCRAE, A. F.; MONTGOMERY, G. W.; POWELL, J. E. **Seasonal effects on gene expression.** PLoS One, v. 10, n. 5, 2015.

GOSSELINK, Rik. **Physical Therapy in adults with respiratory disorders: where are we?** RBTI, São Paulo, v. 10, n. 4, 2006.

_____; BOOT, J.; JOHNSON, M.; DEAN, Elizabeth; NAVA, S.; NORRENBERG, Michelle; SCHÖNHOFER, B.; STILLER, Kathy; VAN DE LEUR, Hans; VINCENT, Jean-Louis. **Physiotherapy for adult patients with critical illness:** recommendations of the European Respiratory Society and European Society of Intensive Care Medicine Task Force on Physiotherapy for Critically Ill Patients. Intensive Care Medicine, v. 34, p. 1188-1199, ago. 2008. DOI 10.1007/s00134-008-1026-7. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/5569634_Physiotherapy_for_adult_patients_with_critical_illness_Recommendations_of_the_European_Respiratory_Society_and_European_Society_of_Intensive_Care_Medicine_Task_Force_on_Physiotherapy_for_Critically_Ill. Acesso em: 25 ago. 2019.

_____; NEEDHAM, Dale; HERMANS, Greet. **ICU-based rehabilitation and its appropriate metrics.** *Current Opinion in Critical Care*, Londres, v. 18, n. 5, p. 533-539, out. 2012. ISSN Print: 1070-5295. DOI 10.1097/MCC.0b013e328357f022.

GRUTHER, Wolfgang; KAINBERGER, Franz; FIALKA-MOSER, Veronika; PATERNOSTRO-SLUGA, Tatjana; QUITTAN, Michael; SPISS, Christian; CREVENNA, Richard. **Effects of neuromuscular electrical stimulation on muscle layer of knee extensor**

GARDNER, S.E., FRANTS, R. A., SCHMIDT, F.L. EFFECT OF ELECTRICAL STIMULATION ON CHRONIC WOUND HEALING: A META-ANALYSIS. *WOUND REP REG* 1999; 7: 495-503

PULLAR, C. E. (2016). *THE PHYSIOLOGY OF BIOELECTRICITY IN DEVELOPMENT, TISSUE REGENERATION AND CANCER*. CRC PRESS.

TSENG, A. S., & LEVIN, M. (2012). TRANSDUCING BIOELECTRIC SIGNALS INTO EPIGENETIC PATHWAYS DURING TADPOLE TAIL REGENERATION. *THE ANATOMICAL RECORD: ADVANCES IN INTEGRATIVE ANATOMY AND EVOLUTIONARY BIOLOGY*, 295(10), 1541-1551.