

**UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO**  
**CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Eletroestimulador transcutâneo para recuperação de lesões e analgesia de  
dores crônicas e agudas**

Área de Engenharias

por

Júlio César Certo

Antonio de Assis Bento Ribeiro, Prof. Me.

Orientador

Itatiba (SP), Dezembro de 2009

**UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO**  
**CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Eletroestimulador transcutâneo para recuperação de lesões e analgesia de  
dores crônicas e agudas**

Área de Engenharias

por

Júlio César Certo

Monografia apresentada à Banca  
Examinadora do Trabalho de  
Conclusão do Curso de Engenharia  
Elétrica para análise e aprovação.

Orientador: Antonio de Assis Bento  
Ribeiro, Prof. Me.

Itatiba (SP), Dezembro de 2009

Mas para vós, os que temeis o meu nome, nascerá o sol da justiça, e cura trará em suas asas; e saireis e crescereis como bezerras da estrebaria.

Malaquias 4:2

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus que me deu a oportunidade de cursar essa faculdade, agradeço a Deus pela saúde e capacidade que me deu, com o qual em todos os desafios pude ser um vencedor.

Agradeço a minha família, minha mãe Maria, minhas irmãs Thays e Priscila, com as quais aprendi grandemente e me tornei um homem forte para enfrentar as dificuldades e pronto para lutar pelo sucesso profissional, familiar e espiritual.

Agradeço a minha esposa Verônica e filha Julia, que me trazem tanta alegria e me fazem completo.

Agradeço aos meus amigos André Cristiano, André Gasparotti, Cícero e Davilson, dos quais tenho um imenso orgulho, por serem pessoas de extrema qualidade, e com as quais pude aprender muito do que é ser um profissional e uma pessoa de sucesso.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE ABREVIATURAS.....</b>	<b>6</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>8</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>9</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>10</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1. OBJETIVOS .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1.1. Objetivo Geral .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1.2. Objetivo específico.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2. METODOLOGIA.....</b>	<b>12</b>
<b>1.3. ESTRUTURA .....</b>	<b>12</b>
<b>1.4. ESTADO DA ARTE.....</b>	<b>13</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1. FISIOLOGIA DA DOR .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.1. Origens da Dor.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.2. Intensidade da dor .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.2.1. Dor Aguda e Dor Crônica .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.3. Receptores nervosos Sensoriais .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.4. Sistema espinotalâmico .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.5. Teoria da Comporta .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.6. Alívio da dor por Medicação x Eletroestimulação .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2. ELETROLOGIA .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.1. Eletroterapia .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.2. Modelo Elétrico da Pele.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.3. Eletroestimulação .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.4. Técnicas Terapêuticas .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.4.1. TENS .....</b>	<b>23</b>
<b>2.2.4.2. MNES .....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.4.3. Corrente Russa .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.4.4. Diadinâmica e Farádica .....</b>	<b>26</b>
<b>2.2.5. Efeito da acomodação.....</b>	<b>28</b>

2.2.6.	Precauções a serem tomadas.....	28
3.	PROJETO .....	30
3.1.	HARDWARE .....	30
3.1.1.	Fluxograma do hardware.....	30
3.1.2.	Sistema microprocessado .....	31
3.1.2.1.	Interface Homem Máquina (IHM).....	32
3.1.2.1.1.	Display LCD.....	32
3.1.2.1.2.	Teclado Matricial.....	33
3.1.2.2.	Microcontrolador .....	34
3.1.2.2.1.	PIC18F452.....	35
3.1.2.3.	Conversor Digital Analógico.....	36
3.1.2.4.	O CONVERSOR DAC 0800 .....	36
3.1.3.	AMPLIFICAÇÃO DO SINAL .....	38
3.1.3.1.	AMPLIFICADOR DE POTÊNCIA.....	38
3.1.3.2.	ALIMENTAÇÃO E PROTEÇÃO. ....	39
3.1.4.	Dosimetria e Tipo de Eletrodo .....	40
3.2.	FIRMWARE.....	41
3.2.1.	Fluxograma do Firmware .....	41
3.2.2.	Rotina de varredura de teclado .....	42
3.2.3.	Rotina de armazenamento de dados.....	43
3.2.4.	Rotina de acionamento de display .....	45
3.2.5.	Rotina para Geração de sinais .....	46
4.	Implementação do Sistema Microprocessado.....	49
4.1.	Implementação prática do sistema Microprocessado .....	49
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	52
	REREFÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
1.	GLOSSÁRIO .....	54

## LISTA DE ABREVIATURAS

TENS *Transcutaneous Electric Nervous Stimulation*

MNES *Muscular Nervous Electric Stimulation*

FES *Functional Electric Stimulation*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Neurônio .....	15
Figura 2. Terminações Nervosas .....	16
Figura 3. Sistema de Captação e processamento do estímulo de dor .....	17
Figura 4. O portão da dor .....	19
Figura 5. Modelo elétrico da pele .....	20
Figura 6. TENS - <i>Transcutaneous Electric Nervous Stimulation</i> .....	21
Figura 7. Frequência de Pulso x Contração muscular .....	22
Figura 8. Exemplo de formas de onda e classificação .....	23
Figura 9. Forma de onda TENS-C .....	24
Figura 10. Forma de onda TENS-B .....	24
Figura 11. Forma de onda MNES .....	25
Figura 12. Forma de onda Corrente Russa .....	26
Figura 13. Forma de onda Dianinâmica .....	27
Figura 14. Forma de onda Galvânica .....	28
Figura 15. Fluxograma do Hardware .....	30
Figura 16. Desenho esquemático do sistema microprocessado .....	31
Figura 17. Desenho Esquemático da IHM .....	32
Figura 18. Desenho esquemático da ligação do LCD 16x2 .....	33
Figura 19. Desenho esquemático da ligação do teclado Matricial .....	33
Figura 20. Desenho esquemático das funções básicas de um microcontrolador .....	34
Figura 21. PIC18F452 .....	35
Figura 22. Pinagem do DAC 0800 .....	36
Figura 23. Tempo de acomodação em um conversor D/A .....	37
Figura 24. ( Iout ) .....	37
Figura 25. Amplificador de Potência .....	38
Figura 26. Fonte de Alimentação de Sistema de Proteção .....	39
Figura 27. Fluxograma do Firmware .....	41
Figura 28. Desenho esquemático do teclado Matricial .....	43
Figura 29. Display LCD .....	45
Figura 30. Forma de onda TENS .....	46
Figura 31. Forma de onda Diadinâmica .....	46
Figura 32. Forma de onda MNES e Corrente Russa .....	47
Figura 33. Forma de onda Farádica .....	47
Figura 34. Kit de Desenvolvimento .....	49
Figura 35. Comunicação com Operador através do LCD .....	50
Figura 35. Protótipo do sistema Microcontrolado .....	51

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tabela de Entradas Digital x Saida Analógica..... 38

## RESUMO

CERTO, Júlio César. Eletroestimulador Transcutâneo. Itatiba, 2009. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade São Francisco, Itatiba, 2009.

A partir da eletroterapia, ciência que se dedica a investigação dos efeitos da aplicação de corrente elétrica em organismos, foram formuladas explicações ao conhecimento antigo de que correntes elétricas controladas, ao percorrer o corpo humano podem causar diversos benefícios fisiológicos. Por meio de diversas práticas empíricas e estudos, foi possível a cientistas e estudiosos chegarem a vários modelos de estimulação elétrica, com aplicações diversas, sendo as aplicações mais notáveis: o desenvolvimento de tônus muscular e preparo físico, a analgesia muscular e cutânea, a aceleração do processo de cicatrização e a aceleração do processo de absorção de medicamentos em tecido. A eletroestimulação é um forte coadjuvante em processos de tratamentos médicos e tem finalidade de dar qualidade de tratamento à paciente em diversos quadros clínicos, aliviando suas dores e acelerando a recuperação de lesões. De posse dos conhecimentos sobre a eletroestimulação e seus benefícios, deseja-se projetar um eletroestimulador para ser usado por médicos e fisioterapeutas em tratamentos clínicos. O eletroestimulador a ser projetado utiliza-se da tecnologia de geração de sinais analógico por meio digital, todo processamento de dados para geração do sinal é feito digitalmente, com um microcontrolador PIC18F452, os parâmetros referentes ao tratamento são obtidos por meio de uma IHM (Interface Homem-Máquina), composta de display LCD e teclado matricial, os dados obtidos são processados pelo microcontrolador que gera um sinal digital de 8 bits e por meio de um conversor digital-analógico o sinal digital é transformado em sinal analógico, que por fim é amplificado para ser aplicado ao paciente por meio de eletrodos.

**Palavras-chave:** Eletroterapia. Eletroestimulação. Eletromiologia.

## ABSTRACT

From the electrotherapy, science dedicated to investigating the effects of applying electrical current in bodies, explanations were made to ancient knowledge that controlled electrical currents, to go through the human body can cause several physiological benefits. Through various practices and empirical studies, it was possible to scientists and scholars come to different forms of electrical stimulation, with different applications, being the most notable applications: the development of muscle tone and fitness, the skin and muscular analgesia, accelerating the healing process and the acceleration of absorption of drugs in tissue. Electrostimulation is a strong supporting role in cases of medical treatments and aims for quality treatment to patients in different clinical conditions, relieving their pain and speeding recovery from injury. Armed with knowledge of electrical stimulation and its benefits, we want to design an electro stimulator to be used by doctors and physical therapists in clinical treatments. The electro stimulator to be designed to use technology to generate analog signals through digital, all data processing for signal generation is done digitally, with a PIC18F452 microcontroller, the parameters of treatment are obtained through an HMI interface ( Man-Machine), which consists of LCD display and keypad matrix, the data are processed by the microcontroller that generates a digital signal of 8 bits and by a digital-analog converter digital signal is converted into an analog signal, which is finally amplified to be applied to the patient through electrodes.

**Keywords:** Electrotherapy. Stimulation. Eletromiology.

# 1. INTRODUÇÃO

A eletroestimulação para fins de tratamento terapêutico se baseia na aplicação de corrente elétrica no corpo humano para obter: aceleração do processo de cicatrização e analgesia de tecidos lesionados, indução de efeito motor em pacientes com distúrbios na coordenação motora, aceleração do processo de absorção de medicamentos pela pele, entre muitas outras aplicações.

Podemos encontrar diversas aplicações da eletroestimulação no campo da medicina: a eletroestimulação é um coadjuvante em processos de parto, amenizando as dores, e conseqüentemente diminuindo a necessidade de anestesia por administração de drogas, a eletroterapia auxilia no processo de recuperação de paciente em quadro pós-operatório, acelerando o processo de cicatrização e amenizando as dores, também podemos encontrar a aplicação de eletroterapia como forte auxiliar no preparo físico de atleta para competições, entre muitas outras aplicações.

Devido aos seus efeitos notáveis de cicatrização, analgesia e relaxamento muscular, a eletroestimulação foi adotada por médicos e fisioterapeutas como uma ferramenta poderosa, que é usada para auxílio na recuperação de pacientes em diversos quadros patológicos ou naturais.

Os antigos gregos e romanos já utilizavam as descargas elétricas do peixe torpedo para aliviar enfermidades do baço, dores de cabeça e ataques de gota, Werner Von Siemens (1844) utilizou Corrente Farádica para analgesia do nervo trigêmeo facial. Na mesma época, dentistas americanos J.B. Francis e Cols utilizavam a corrente Farádica para anestesia local.

Muito embora o conhecimento do poder benéfico da aplicação de corrente elétrica no organismo seja muito antigo, os estudos mais aprofundados da eletroterapia, que deram bases teóricas sólidas ao uso da eletroestimulação e suas conseqüências se deram nos últimos 40 anos, após os trabalhos de Melzaq & Wall (1965) com a teoria da Comporta, que explicou como a dor pode ser modulada por estímulos elétricos. (AGNES, 2004)

Após o levantamento de informações, por meio de *papers*, e publicações científicas, ficou clara a possibilidade do desenvolvimento de um eletroestimulador eficiente e de baixo custo para ser utilizado por médicos e fisioterapeutas para oferecer qualidade de tratamento á paciente, com diminuição da aplicação de drogas que causam efeito analgésico, mas grandes efeitos colaterais.

Esse trabalho de conclusão de curso tem como objetivo o desenvolvimento de um eletroestimulador, com capacidade de diversas modalidades de tratamento, de baixo custo que seja acessível a médicos e fisioterapeutas de comunidades de baixa renda.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. Objetivo Geral**

O objetivo geral desse trabalho de conclusão de curso é desenvolver um eletroestimulador, que ofereça diversas modalidades de tratamento, que tenha uma interface de fácil manipulação e seja acessível a médicos e fisioterapeutas de comunidades de baixa renda.

### **1.1.2. Objetivo específico**

O objetivo específico desse trabalho de conclusão de curso é projetar um eletroestimulador para fins terapêuticos, microcontrolado por um PIC18F452, com Interface comunicativa com o operador, composta de display LCD e Teclado Matricial.

## **1.2. METODOLOGIA**

Para o desenvolvimento do eletroestimulador pretende-se seguir algumas etapas, cujo estudo detalhado de eletromiologia, ou seja, o estudo referente ao funcionamento elétrico dos tecidos biológicos e o estudo de várias estratégias de gerações de sinais e modulações serão componentes desse projeto.

- **Miologia** – Estudo do funcionamento elétrico e comportamento iônico das transmissões de energia em nível celular, com a compreensão de como se processa a interpretação e sinais de dor pelo organismo, e da importância da sensação de dor para o organismo, para conscientização de que só se deve bloquear uma sensação de dor após compreensão das suas raízes e motivos;
- **Eletrologia** – Estudo dos efeitos da corrente elétrica sobre tecidos orgânicos, compreensão das alterações danosas ou saudáveis que uma corrente elétrica pode causar, estudos dos tipos de estímulo elétrico e as reações do organismo;
- **Eletroterapia** – Estudo da aplicação dos diferentes tipos de tratamento usados em eletroestimulação, Galvanoterapia – Aplicação de medicamentos, Corrente Russa – Desenvolvimento Muscular, TENS - Analgesia, FES, MNES – Contrações Muscular para paciente com Derrames e disfunções Motoras. (AGNES, 2004)
- **Projeto do Sistema Microcontrolado** – Projeto de um sistema microcontrolado para gerar estímulos elétricos para diversos tipos de tratamentos eletroterapêuticos.

## **1.3. ESTRUTURA**

A estrutura desse trabalho de conclusão de curso será composta por: levantamento de dados teóricos sobre a eletroterapia, estudo e compreensão, elaboração do projeto de um sistema microcontrolado para eletroestimulação e simulações em software com seqüente elaboração de uma monografia.

## 1.4. ESTADO DA ARTE

Atualmente vários centros médicos se utilizam das técnicas de eletroestimulação, muitos utilizam aparelhos eletroestimuladores limitados, com poucas opções de tratamento e modulações fixas, cada aparelho é destinado a um ou no máximo três tipos de tratamento, obrigando o profissional a ter uma sala com diversos tipos de aparelhos eletroestimuladores.

Muitos desses eletroestimuladores, são cotados a preços elevados, devido a serem produzidos em outros países e carregarem em seu preço final o valor de ser produzido em outro país e exportado para o nosso país.

Existe um crescente número de pequenas e médias empresas formadas na sua grande maioria por professores e outros profissionais, atuando no desenvolvimento de aparelhos de eletroestimulação.

Diante desse panorama, prevê-se que em poucos anos se as contribuições por parte dessas novas empresas e profissionais, forem significativas, estaremos superando esse *déficit*, e estarão disponíveis no mercado uma quantidade suficiente de aparelhos de eletroestimulação que sejam flexíveis e mais baratos e se tornará possível a maior utilização de eletroestimuladores em tratamentos por médicos e fisioterapeutas

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1. FISIOLOGIA DA DOR**

#### **2.1.1. Origens da Dor**

A definição do que é a dor segundo a Associação Internacional do estudo da dor é: “A dor é uma experiência sensorial e emocional desagradável associada a um dano ou risco eminente para o organismo e descrita segundo a proporção e intensidade da mesma lesão ou risco”. (AGNES, 2004)

A compreensão comum de que a dor é ruim e sua função é incomodar, é parcialmente verdade, mas carrega erros, pois a dor tem uma função muito importante para a preservação da vida, e tem origem na preservação de nossa espécie durante a evolução da mesma, que desenvolveu o importante mecanismo da dor.

Por exemplo, a dor aguda que se sente ao tocar uma superfície pontiaguda e perfurante, leva o indivíduo a instintivamente e prontamente retirar a parte do corpo afetada do contato, ou então uma dor crônica, proveniente de uma fratura que leva o indivíduo a inconscientemente imobilizar a região afetada até que a mesma consiga se recuperar.

A dor tem o objetivo principal de proteção e surge quando existe uma lesão de tecido, ou perigo eminente.

O sistema nervoso que processa a sensação de dor é composto por dois sistemas funcionais: o sistema nervoso central, composto de Córtex Cerebral, Tálamo, Hipotálamo e Coluna Cervical e o sistema nervoso periférico, composto por finos e longos feixes de neurônios que constituem as fibras nervosas as quais ligam terminações nervosas livres da pele a coluna cervical.

Antes do nascimento o feto é capaz de perceber e processar estímulos de dor e prazer. Entre as 20 e as 24 semanas de gestação as sinapses nervosas estão completas para a percepção da dor. (BRAZ, 2003)

#### **2.1.2. Intensidade da dor**

Outro fator importante é o de que nem todos indivíduos sentem dor com a mesma intensidade, sendo alguns mais resistentes a dor e outros mais sensíveis por natureza, durante um tratamento é sempre questionado ao paciente quando ao nível de dor que esta experimentando para se aumentar ou diminuir a intensidade do estímulo elétrico aplicado

A sensibilidade a dor se dá por vários fatores, alguns emocionais e outros puramente biológicos, a considerar aqui os fatores biológicos, a condução do estímulo da dor se dá por meio de conexões sináptica entre neurônios que ligam a região afetada a espinha cervical e a mesma ao cérebro.

O neurônio, célula fundamental dos feixes de nervos e terminações nervosas é composto por Axônio, Dendrito e Corpo Celular e através de sua capacidade se dá quantidade de estímulo que é transmitida.

A bainha da mielina encontra-se ao longo do axônio e os impulsos dolorosos são conduzidos de nodo a nodo pelo nervo mielinizado excitando um após o outro até que o estímulo da dor chegue ao cérebro. O processo de mielinização aumenta a velocidade de transmissão do estímulo doloroso.

No Recém Nascido há uma deficiência de mielina ao redor dos axônios, que faz com que a velocidade de transmissão da dor seja um pouco mais lenta que no adulto.”

A medida que envelhecemos, nos tornamos mais sensíveis a dor devido a progressiva mielinização dos axônios dos feixes de nervos, fazendo com que qualquer estímulo de dor se transmita até o cérebro com muito mais rapidez. (BRAZ, 2003)

Na Figura 1, é mostrado um neurônio e a conexão sináptica em seus detalhes

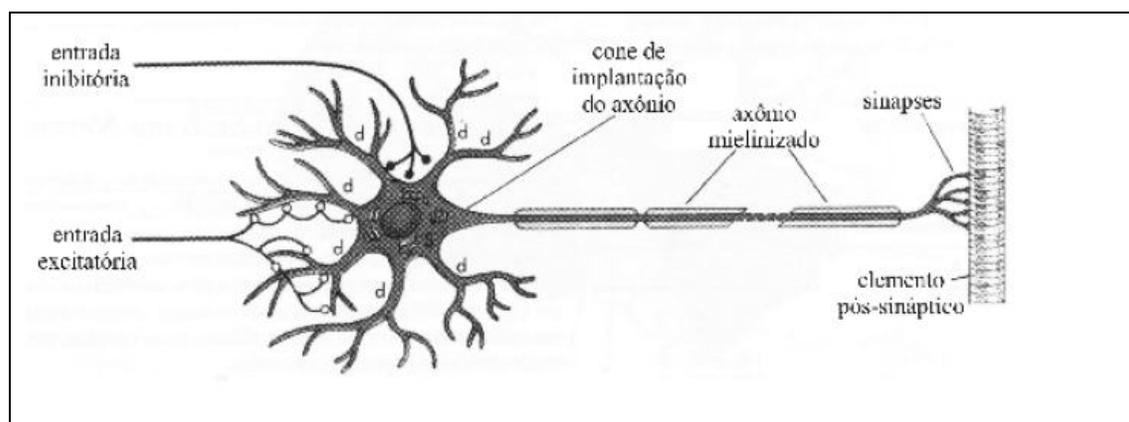


Figura 1. Neurônio

Fonte: Adaptado de Braz (2003)

### 2.1.2.1. Dor Aguda e Dor Crônica

A pele, juntas ou músculos que tenham sido lesados se tornam extremamente sensíveis, um leve toque em uma região lesionada e uma dor de grande proporção é sentida.

A região primária da lesão se torna hipersensível. e em pouco tempo uma região secundária, em volta da região lesada também se torna hipersensível, como artifício do próprio corpo para proteger a região lesada e permitir sua recuperação.

Existem dois tipos bem diferentes de dor em seus propósitos: A dor Aguda e a dor Crônica, sendo a dor Aguda um resultado de um corte, perfuração ou eminência de um desses perigos, e a dor crônica que avisa o organismo de uma lesão já acontecida e estimulam a imobilização da região. (BRAZ, 2003)

### 2.1.3. Receptores nervosos Sensoriais

As terminações nervosas livres existentes na pele e noutros tecidos possuem os receptores da dor. É através do sistema nervoso periférico que o estímulo da dor é percebido e captado. Os nervos sensoriais e motores da coluna espinhal conectam os tecidos e órgãos ao sistema nervoso central, completando assim o sistema.

Na Figura 2, podemos encontrar distribuídos pela derme e epiderme vários tipos de terminações nervosas, cada uma com uma função: captação de alterações físicas, térmicas ou químicas no tecido orgânico.

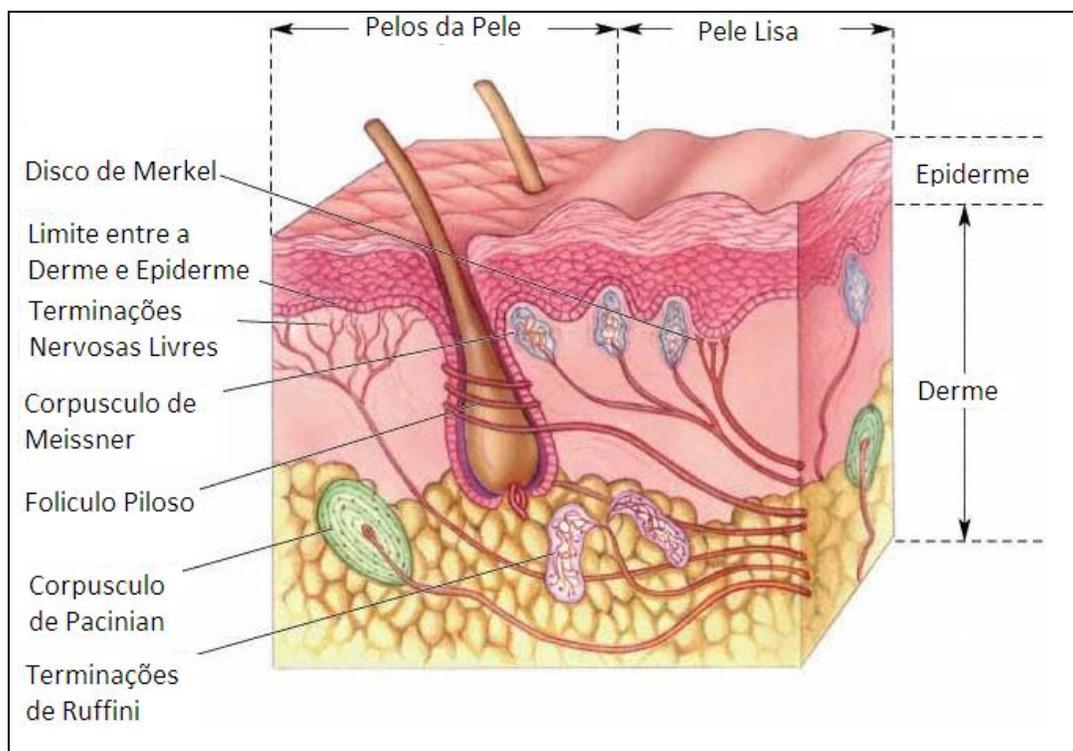


Figura 2. Terminações Nervosas

Fonte: Adaptado de LIUCY (2004)

Os receptores Nervosos Sensoriais Recebem e transmitem a dor ao longo dos tecidos do corpo e agrupam- se em:

- 1 - Receptores mecânicos: Responsáveis por captar informações tácteis.
- 2 - Receptores térmicos: Responsáveis por captar informações térmicas.
- 3 - Receptores químicos: Responsáveis por detectar as químicas orgânicas como o olfato, paladar e alterações bioquímicas do sangue.
- 4 - Receptores eletromagnéticos: Responsáveis por detectar informação da luz e do som.

5 - Receptores da dor ou terminações nervosas livres: Responsáveis por detectar lesões físicas e químicas nos tecidos. (AGNES, 2004)

#### 2.1.4. Sistema espinotaláxico

O impulso gerado pelo estímulo dolor é transmitido para a espinha dorsal através das fibras A-delta (fibras que são mielinizadas e conduzem o impulso doloroso com rapidez) e as fibras C (não mielinizadas que conduzem o impulso com lentidão), pela coluna dorsal sobe até o Tálamo, onde será distribuído para região do córtex cerebral que irá interpretar o estímulo da dor.

Na Figura 3, Tem-se uma Visão geral do sistema que capta e processa o estímulo da dor.

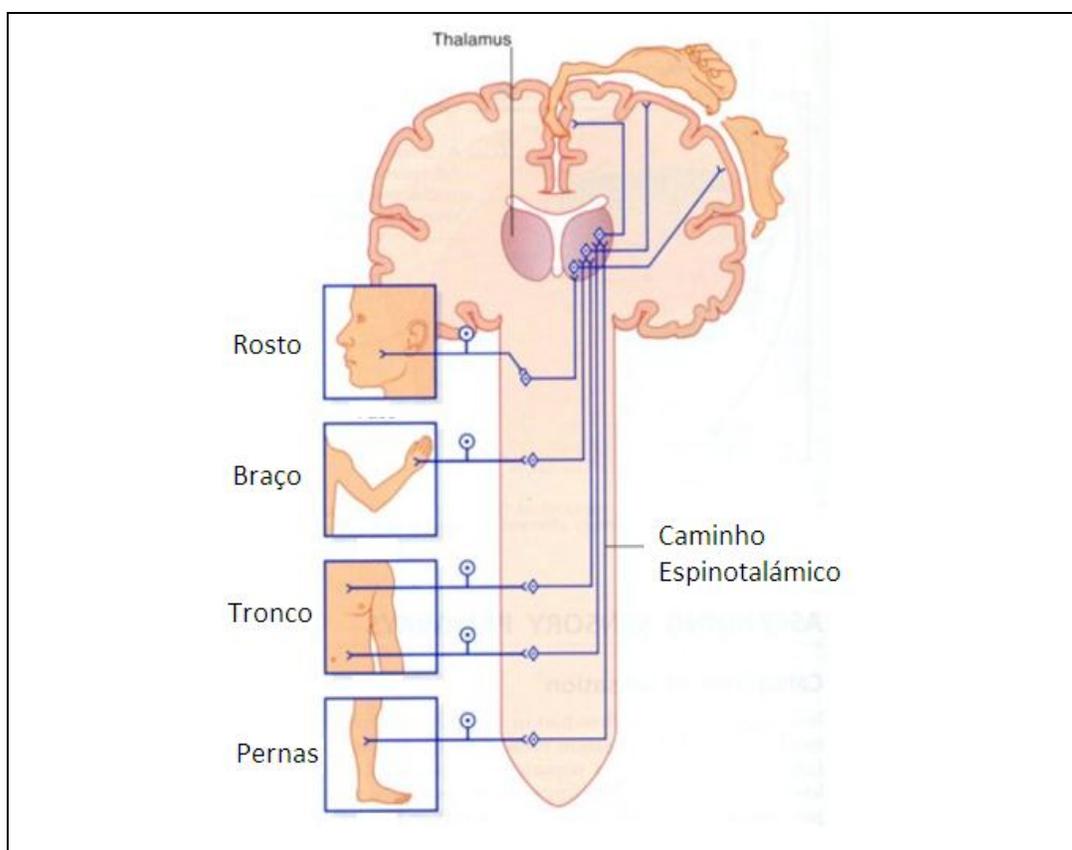


Figura 3. Sistema de Captação e processamento do estímulo de dor

Fonte: Adaptado de LIUCY (2004)

Por meio desse sistema é governada a transmissão química dos sinais da dor. Essas transmissões sinápticas envolvem::

Neurotransmissores – Os neurotransmissores transmitem impulsos através das sinapses. Os neurotransmissores relacionados são a epinefrina, norepinefrina, dopamina e acetilcolina. Este processo ocorre por volta da 16ª e 21ª semana de gestação.

Neuromoduladores – O neuromodulador é a endomorfina (opiáceo natural produzido pelo corpo) possuindo ação idêntica à morfina. Acredita-se que este hormônio impede a transmissão do impulso da dor, bloqueando a liberação dos neurotransmissores excitatórios.

Carrega sensação de dor, temperatura, toque e sinal de pressão

1- Os estímulos das terminações nervosas do sistema nervoso periféricos chegam até a medula dorsal.

2- As fibras nervosas conduzem o estímulo até o lado oposto da coluna vertebral e sobem até a Região do cérebro chamada Tálamo

3- O Tálamo projeta o estímulo até a região do córtex cerebral responsável em processar o estímulo de dor de cada região do corpo. (LIUCY, 2004)

### **2.1.5. Teoria da Comporta**

A teoria da Comporta da dor formulada em 1965 pelos cientistas Ronald Melzak & Patrick Wall , mostra que os estímulos da dor gerados pela lesão de tecidos podem ser moduladas, ou barradas da mesma forma com que se barra por um portão a passagem de um indivíduo por um caminho, as Junções Sinápticas entre as fibras sensórias periféricas e a medula espinhal oferecem a possibilidade de bloquear um sinal de estímulo de dor , pois nesse mesmo ponto chegam todos estímulos captados pelo sistema nervoso periférico, chegam praticamente todas informações de diversos tipos de estímulos, como os de sensações de toque, pressão, temperatura entre outros.

Ao gerar uma grande quantidade de outros estímulos (estímulos de toque, pressão, temperatura) , a chegada dos estímulos em geral começam a ser barradas, para não sobrecarregar de informações o córtex cerebral, e então o caminho pelo qual chegam os estímulos da dor começam a descartar ou até mesmo a ignorar os estímulos de dor. E então como descrevem Melzak & Wall um portão pode barrar um sinal chegado do sistema nervos periférico que tende a ir ao córtex por meio da medula espinhal, reduzindo a sensação de dor, causando analgesia sem aplicação de medicação.

Simultâneas estimulações em outros sensores, como o de toque, podem bloquear e modular a sensação de dor, dessa maneira justificam-se o emprego da acupuntura, da massagem e da própria eletroestimulação em tratamentos par amenizar sensações de dor, técnicas que agem justamente pelo efeito da comporta da dor, e que somente após a elaboração dessa teoria puderam ser comprovados de maneira científica e clara. (BRAZ, 2003)

Na Figura 4, Tem-se uma demonstração de como um estímulo de dor é processado e onde pode ser bloqueado, como deixa claro a teoria da comporta da dor.

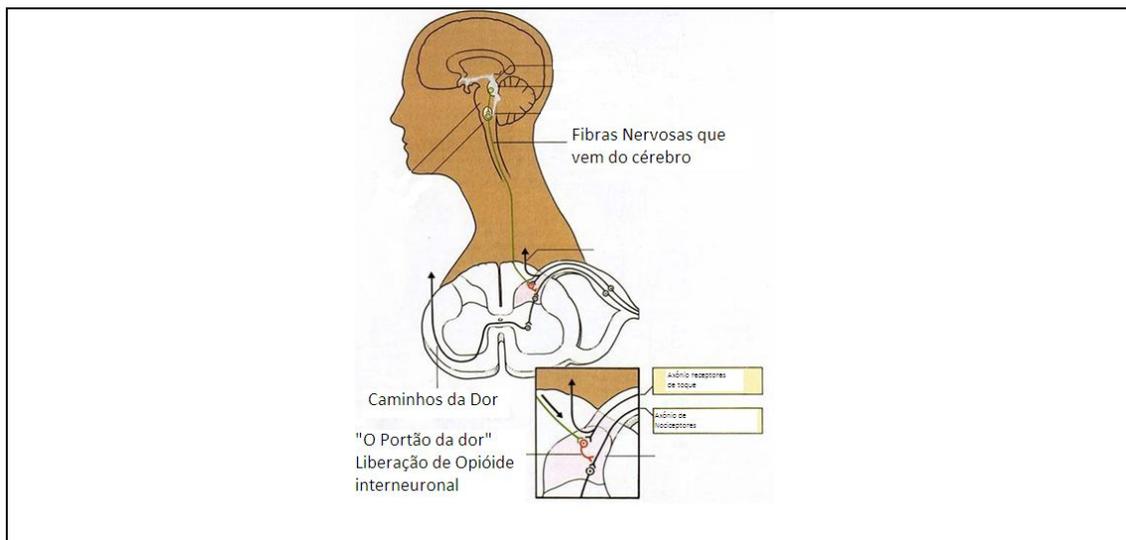


Figura 4. O portão da dor

Fonte: Adaptado de Braz (2003)

### 2.1.6. Alívio da dor por Medicação x Eletroestimulação

O Alívio da dor pode também ser alcançado por aplicação de medicamentos e drogas, como é o caso da Aspirina que bloqueia a formação de Prostaglandina e não permite a ativação das terminações nervosas, a Novocaína que bloqueia a condução dos impulsos nervosos ao longo das fibras nervosas, a Morfina que diminui a interpretação do estímulo da dor no Cérebro, todos esses causando alterações no organismo que podem deixar sequelas temporárias ou permanentes.

Todavia quando aplicada a eletroestimulação para alcançar efeitos analgésicos, o resultado é alcançado de maneira natural, estimulando o próprio organismo a liberar substâncias analgésicas, como é o caso da endomorfina, e outros neuromoduladores da dor, não necessitando de drogas ou diminuindo a quantidade da aplicação das mesmas e evitando assim seus efeitos colaterais. (AGNES, 2003)

## 2.2. ELETROLOGIA

A eletrologia se dedica a investigar os efeitos da aplicação da corrente elétrica em organismos, estuda os efeitos benéficos e destrutivos, a corrente elétrica após percorrer um organismo vivo pode resultar em resolução de um quadro patológico, oferecer condições para diagnósticos (exploração, investigação eletrofisiológica) ou mesmo ser agente de destruição de tecidos, todavia o mais comum é encontrarmos o termo eletrologia sendo usado para definir o estudo da aplicação de corrente elétrica para fins terapêuticos.

A eletrologia é a base de todo progresso alcançado no entendimento das ações fisiológicas e terapêuticas da eletroterapia. (BRAZ, 2003)

### 2.2.1. Eletroterapia

#### 2.2.2. Modelo Elétrico da Pele

A epiderme, a gordura, os ossos, a medula óssea e as membranas celulares são maus condutores da eletricidade (em relação a outras estruturas do corpo), enquanto o citoplasma e o líquido intersticial são bons condutores assim como os músculos e órgãos internos com grande aporte sanguíneo (rins, baço, fígado). Os músculos conduzem melhor a eletricidade no sentido longitudinal de suas fibras do que no transversal. A pele é a estrutura que apresenta menor condutividade, principalmente quando está seca (BRAZ, 2003).

Pode-se dizer que a impedância corporal se modifica sob os seguintes fatores:

- De uma região para outra do corpo em um mesmo indivíduo;
- Quando se considera uma mesma região de uma pessoa para outra;
- Na mesma região em um mesmo indivíduo de um momento para outro;
- Outros fatores tais como temperatura e pressão atmosférica. Antes de partir para o estudo propriamente dito das origens e funções da dor é preciso entender que pode ser feito um modelamento elétrico do tecido Cutâneo, Subcutâneo e Muscular o qual será submetido a uma diferença de potencial por meio de eletrodos e que fará com que surja uma corrente elétrica entre as regiões abrangidas pelos eletrodos.

O modelamento elétrico mais simples pode ser observado na figura 5 - Modelo de analogia da pele com circuito elétrico.

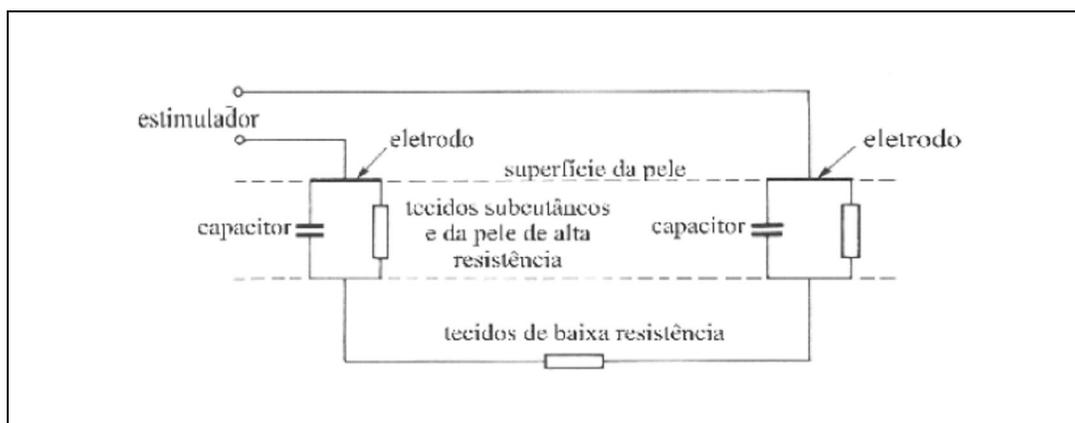


Figura 5. Modelo elétrico da pele

Fonte: Adaptado de Braz (2003)

### 2.2.3. Eletroestimulação

A eletroestimulação é um método de estimulação dos nervos periféricos que se usa de eletrodos conectados à pele para administração de corrente elétrica com fins terapêuticos. É uma corrente elétrica analgésica, que age aumentando a tolerância à dor, por meio da modulação da sensação de dor e conseqüentemente ocasionando analgesia.

Na Figura 6, É mostrada uma figura explicativa de como o sinal da dor é bloqueado com a aplicação da eletroestimulação

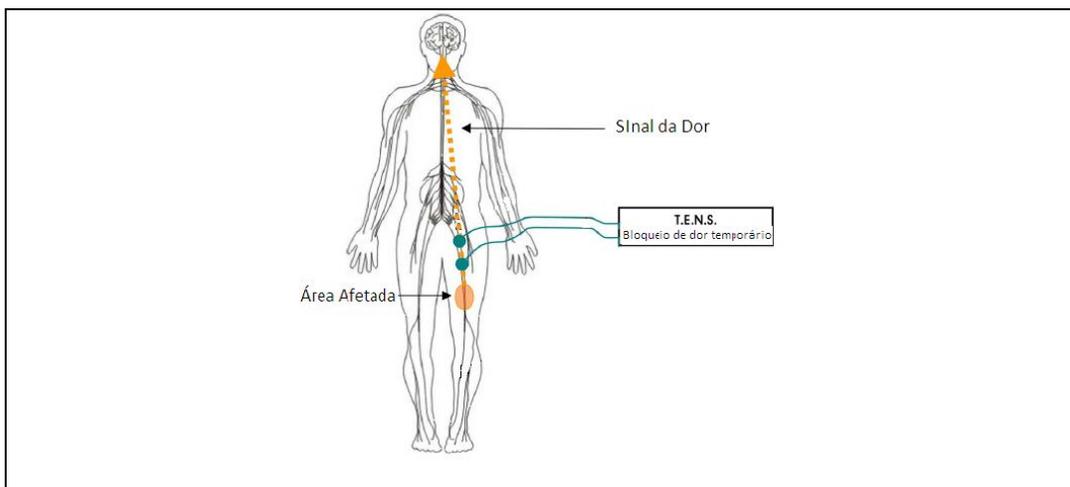


Figura 6. TENS - *Transcutaneous Electric Nervous Stimulation*

Fonte: Adaptado de LIUCY (2003)

A estimulação elétrica nervosa transcutânea é um recurso físico para o alívio somático da dor, seja ela proveniente de lesões agudas ou mesmo decorrentes de processos crônicos.

A eletroestimulação possui diversos objetivos:

Efeito Motor – Cujo Objetivo é por meio da aplicação de pulsos de corrente elétrica avaliar, diagnosticar a resposta do músculo, ou mesmo por meio de estimulação elétrica obter hipertrofia muscular.

Efeito Analgésico – Cujo Objetivo é a estimulação sobre nervos sensíveis, bloqueando as sensações de dor.

Efeito Cicatrizante – Cujo Objetivo é a aceleração do processo de cicatrização de lesões.

A eletroestimulação como coadjuvante de tratamentos terapêuticos, traz consigo os benefícios de analgesia, relaxamento muscular e desenvolvimento de tônus muscular, cicatrização, aumenta o fluxo sanguíneo, melhora a capacidade de locomoção, alongamento, reeducação muscular, absorção de medicamentos.

Também pode diminuir a necessidade de administração de drogas, como Morfina, Anestésias Peridurais e raquidianas, e tantos outros medicamentos utilizados em

tratamentos para alívio da dor e recuperação, mas que oferecem efeitos colaterais danosos e muitas das vezes permanentes.

#### 2.2.4. Técnicas Terapêuticas

Podemos relacionar os seguintes aspectos:

Corrente contínua – Fluxo de Ions, proporciona alteração na estrutura química, sendo de grande utilização para cicatrizações e aceleração da absorção de substâncias pela pele

Corrente Pulsada Alternada – Não provoca alteração da estrutura química iônica visto que a cada pulso positivo, um pulso negativo o anula, não alterando assim o balanço iônico do tecido

Baixas Frequências normalmente estimulam movimentos e contrações musculares, enquanto as frequências mais altas proporcionam estimulação das terminações nervosas

Na Figura 7, Gráfico Frequência de Pulso x Força de Contração Muscular

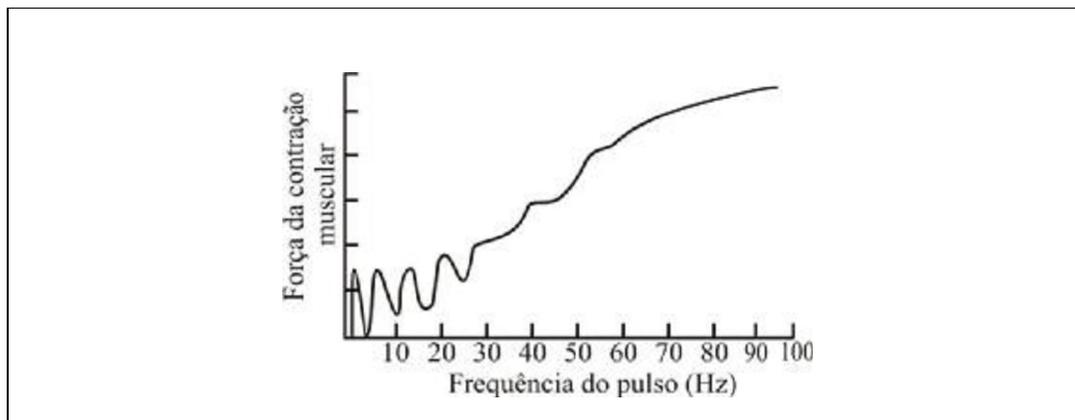


Figura 7. Frequência de Pulso x Contração muscular

Fonte: Adaptado de Braz (2003)

As formas de onda podem ser classificadas, por serem contínuas ou alternadas, unidirecional ou bidirecional, simétrica ou assimétricas, balanceadas ou desbalanceada.

Na Figura 8, São mostrados dois exemplos de formas de onda aplicadas em Eletroterapia e suas classificações.

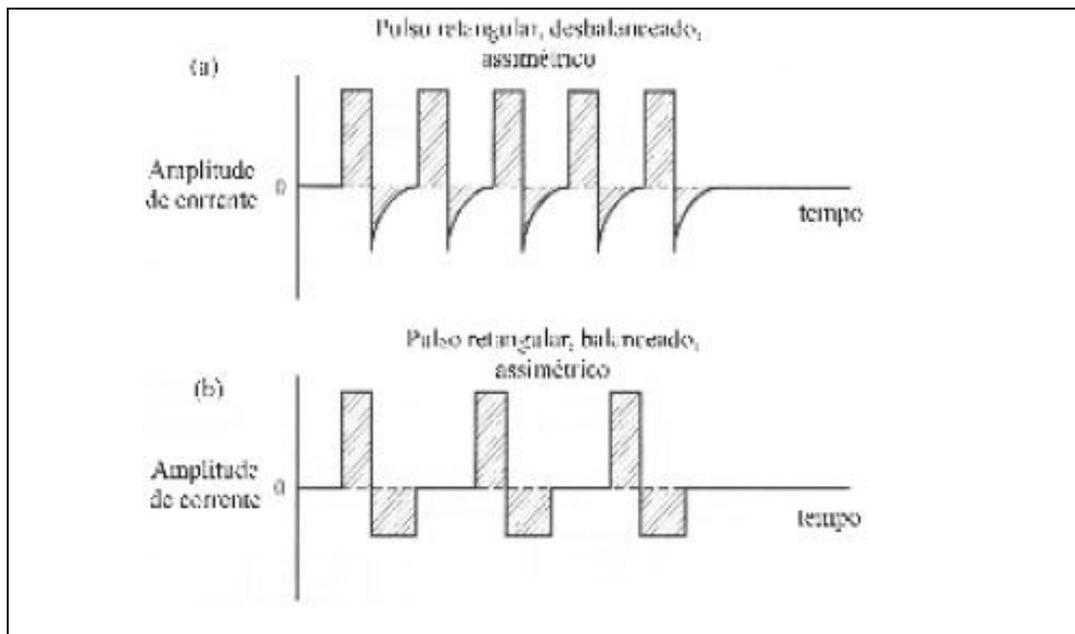


Figura 8. Exemplo de formas de onda e classificação

Fonte: Adaptado de Braz (2003)

Dentre as diversas técnicas terapêuticas empregadas para eletroestimulação, algumas tem destaque, devido a sua maior eficácia:

#### 2.2.4.1. TENS

*TENS – Transcutaneous Electric Nervous Stimulation*

Eletroestimulação nervosa transcutânea, cujo objetivo é a estimulação das fibras nervosas (sensíveis, motoras e autônomas), para relaxamento muscular e alívio da dor.

Esta técnica, é a mais amplamente utilizada no tratamento da dor, incluindo dores pós-operatórias e obstétricas, assim como dores crônicas e neurogênicas (BRAZ, 2004).

A TENS possui diferentes técnicas de aplicação. Dentre elas o sistema fornece dois tipos:

A primeira promove o alívio da dor, sem estimulação motora (estimulação sensorial), já o segundo, o alívio da dor com estimulação motora (estimulação sensório-motora). O Quadro 2.3 ilustra as características dos parâmetros relacionados a eletroanalgesia (BRAZ, 2004).

Na Figura 9, É mostrada a forma de onda TENS-C

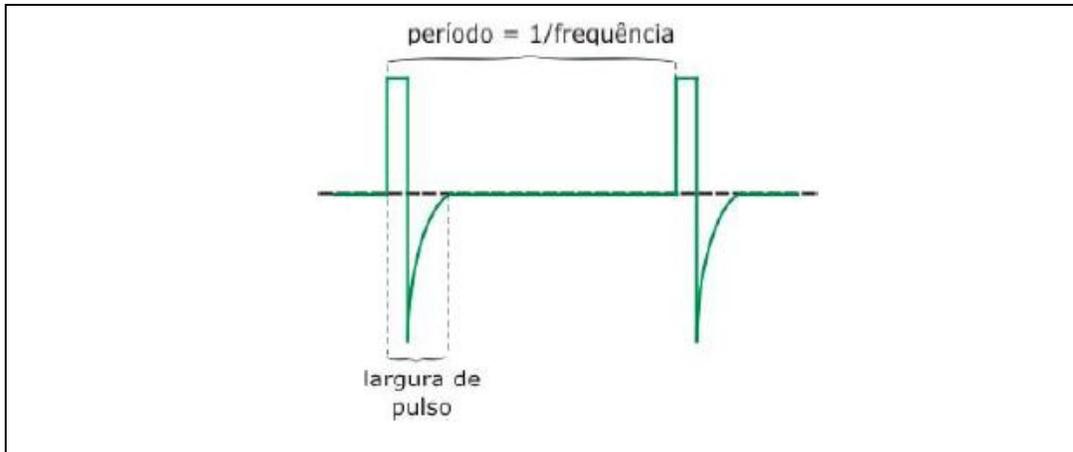


Figura 9. Forma de onda TENS-C

Fonte: Adaptado de Braz (2003)

Na Figura 10, É mostrada a forma de onda TENS-B

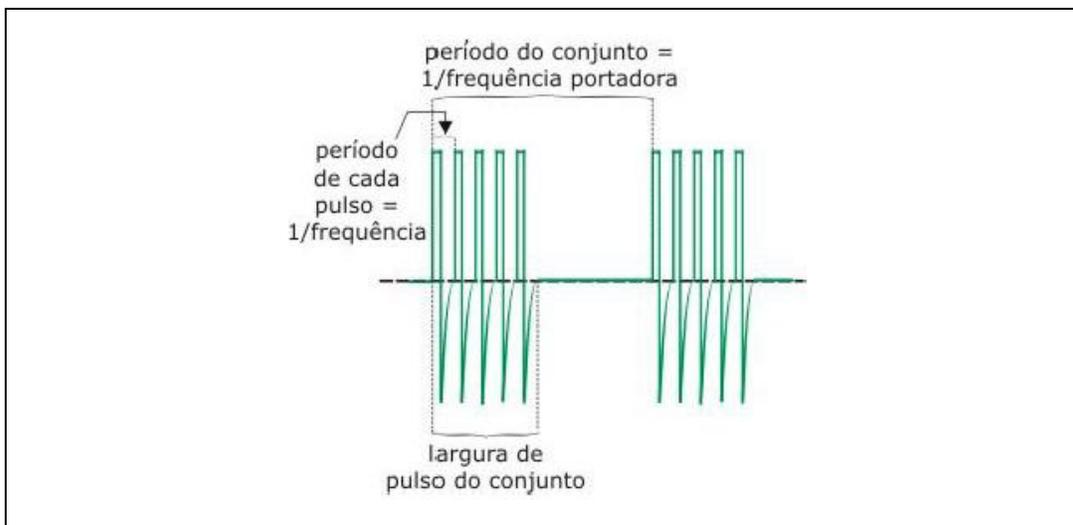


Figura 10. Forma de onda TENS-B

Fonte: Adaptado de Braz (2003)

#### 2.2.4.2. MNES

NMES - *Neuro Muscular Electric Stimulation*,

Eletoestimulação cujo objetivo é a contração muscular involuntária, muito utilizado para auxiliar pessoas com lesões que impedem permanentemente, ou temporariamente de movimentos voluntários. O nome NMES (*Neuromuscular Electrical Stimulation*) ou EENM (Estimulação Elétrica Neuromuscular) pode ser

atribuído de forma genérica à aplicação de correntes elétricas com o objetivo de provocar contrações musculares. Quando se aplicam estímulos elétricos em músculos privados de controle nervoso, com o objetivo de promover o retorno de habilidades funcionais, como prender e soltar objetos, existe uma técnica internacionalmente difundida denominada FES (*Functional Electrical Stimulations*) ou EEF (Estimulação Elétrica Funcional). A FES, é utilizada principalmente como recurso terapêutico complementar em reabilitação de doenças neurológicas (cerebrais e medulares altas) (BRAZ, 2004).

Para fins didáticos, faz uma diferenciação entre as aplicações clínicas da NMES e FES. Na prática clínica, existem situações em que ambas são consideradas as mesmas.

Aplicações para NMES: tratamento de atrofia por desuso; Facilitação e reeducação muscular; Aumento e manutenção da amplitude do movimento; Melhora do rendimento motor na musculatura sadia; Substituição de próteses, ou outros dispositivos ortopédicos (muletas, cadeiras de rodas etc.). primeira promove o alívio da dor, sem estimulação motora (estimulação sensorial), já o segundo, o alívio da dor com estimulação motora (estimulação sensorio-motora). O Quadro 2.3 ilustra as características dos parâmetros relacionados a eletroanalgesia. (BRAZ, 2004)

Já a FES seria indicada nas seguintes situações: Hemiplegia (paralisia de uma das metades do corpo); Lesão medular; Paralisia cerebral.

Cabe salientar que em virtude da ampla gama de aplicações desta modalidade, não existe uma forma de onda específica, ou um conjunto de parâmetros tomados como válidos para todas as aplicações descritas.

Na Figura 11, É mostrada a forma de onda MNES

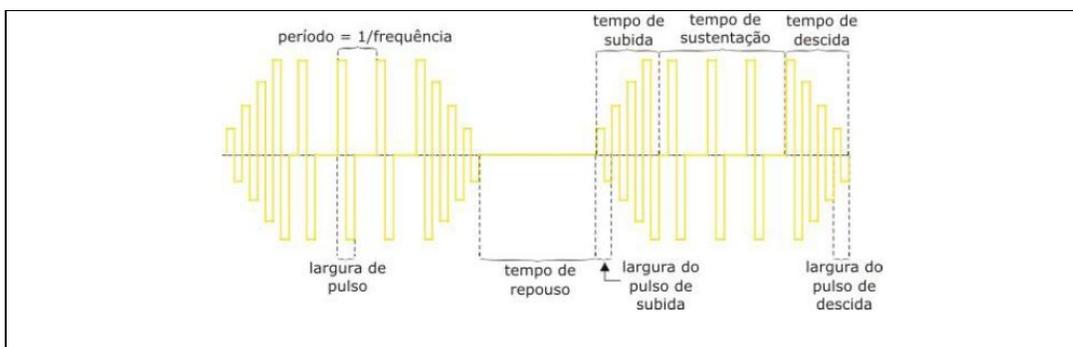


Figura 11. Forma de onda MNES

Fonte: Adaptado de Braz (2003)

### 2.2.4.3. Corrente Russa

A Corrente Russa é um método de tratamento por eletroestimulação que visa o desenvolvimento do tecido muscular, muito utilizado por paciente idosos com processo

degenerativo da musculatura, e por atletas que buscam melhorar sua performance e tônus muscular.

Esta técnica, introduzida pelo pesquisador russo Yakov Kots, passou a ser mundialmente conhecida após os Jogos Olímpicos de Montreal em 1976 (em plena Guerra Fria), quando atletas da equipe russa fizeram seu uso para o aumento da força muscular (BRAZ, 2003).

A corrente russa consiste em uma forma de onda alternada retangular ou senoidal a 2500 Hz, aplicada a 50 trens de pulsos por segundo. Durando a largura de pulso em torno de 400  $\mu$ s ( $1/2500$ ), estas são capazes de se propagar mais profundamente nos tecidos, e graças a modulação em 50 Hz, estimular nervos motores (LOW & REED, 1995). São necessárias correntes relativamente altas para se produzir os estímulos adequados.

Na Figura 12, É mostrada a forma um exemplo de forma de onda da Corrente Russa

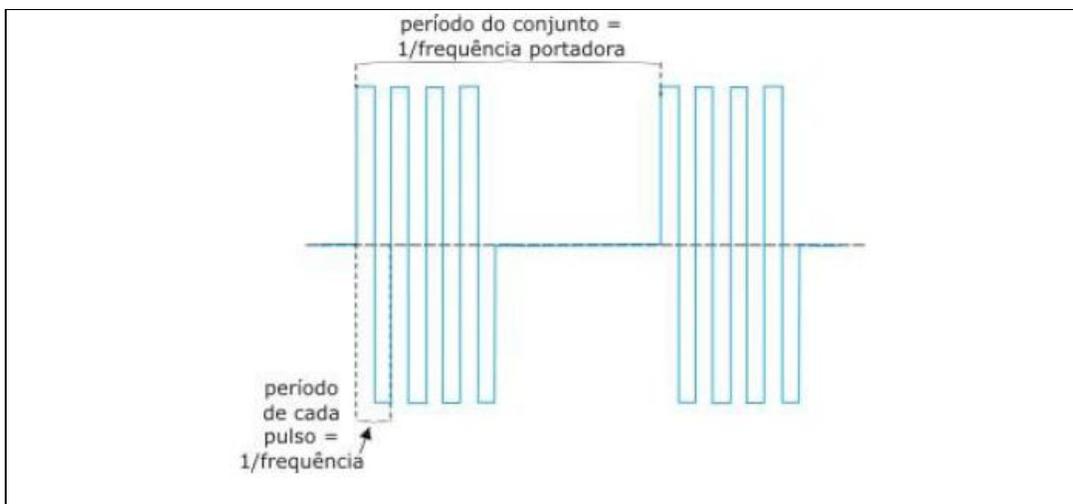


Figura 12. Forma de onda Corrente Russa

Fonte: Adaptado de Braz (2003)

#### 2.2.4.4. Diadinâmica e Farádica

Eletroestimulação usada para acelerar o processo de penetração de medicamentos pelo tecido cutâneo, Subcutâneo e Muscular. As correntes diadinâmicas, introduzidas pelo francês Pierre Bernard em 1950, consiste em uma forma de onda senoidal retificada, com diferentes variações.

Os efeitos terapêuticos destas correntes, incluem:

- Alívio da dor, sob os mesmos mecanismos da teoria da comporta já descrita, com supressão da dor a partir do estímulo para produção de encefalinas e endorfinas, aumento da circulação sanguínea e efeito placebo.
- Diminuição da inflamação e dilatação muscular devido as contrações musculares e aumento da circulação local; mudanças na permeabilidade das membranas celulares também são indicadas.
- Reeducação e fortalecimento muscular são considerados devido a estimulação muscular.
- Facilitação do aquecimento nos tecidos devido às mudanças na circulação sanguínea causadas pelos efeitos de polarização destas correntes.

Na Figura 13, É mostrada a forma um exemplo de forma de onda da Corrente Diadinâmica

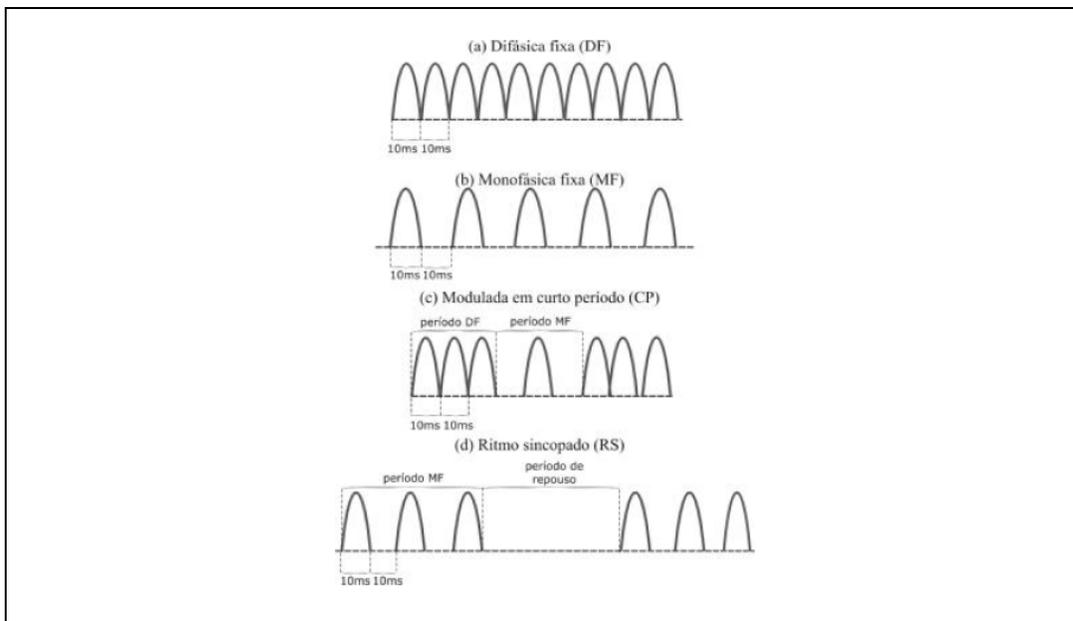


Figura 13. Forma de onda Dianinâmica

Fonte: Adaptado de Braz (2003)

Correntes Farádica – A denominação corrente farádica denomina uma forma de onda , cuja freqüência esta compreendida entre 30-100Hz, com largura de pulso 0.1 a 1 ms,

Na Figura 14, É mostrado um exemplo de forma de onda da Corrente Galvânica

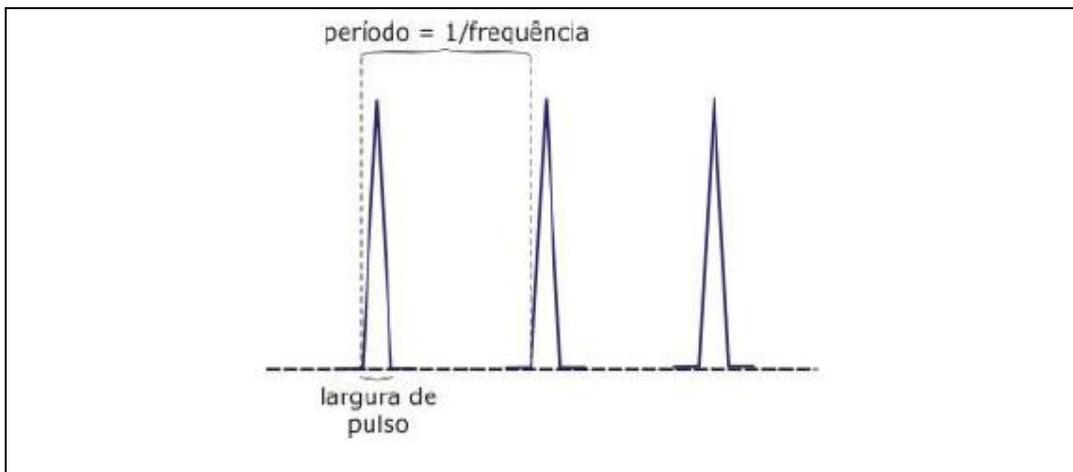


Figura 14. Forma de onda Galvânica

Fonte: Adaptado de Braz (2003)

Estas correntes geram uma sensação de formigamento através de contrações musculares, e tem a função de reeducar a atividade motora. Contrações voluntárias são conseguidas com mais sucesso através do tratamento com correntes farádicas.

As principais indicações para estas correntes são:

- Paralisias e desnevações recentes, leves, e em fase de recuperação;
- Atrofias musculares;
- Algumas síndromes dolorosas;
- Certas alterações vasculares periféricas (BRAZ, 2003).

### 2.2.5. Efeito da acomodação

O efeito de acomodação acontece em dois instantes, quando a subida do pulso do estado baixo para o alto acontece em um tempo muito longo, ou quando um tipo de tratamento é administrado em parâmetros de frequência e forma de onda fixos por longos períodos.

O Corpo Humano tende a acomodar-se e não oferecer mais reação a um estímulo lento ou repetitivo, bem para evitar esse efeito que torna ineficaz o tratamento, aconselha-se aos profissionais, que fazem os ajustes a sempre variarem a intensidade, frequência e tempo de pulso do tipo de tratamento administrado(AGNES, 2003).

### 2.2.6. Precauções a serem tomadas

A eletroestimulação oferece muitos benefícios, mas por se tratar de corrente elétrica, percorrendo o corpo humano, requer muita cautela e precauções em seu uso devem ser tomadas, pacientes que se utilizam de Macapasso ou aparelhos elétricos vitais, não devem utilizar eletroestimulação a menos que liberados por um médico, após criteriosa avaliação, grávidas não devem utilizar a eletroestimulação em regiões que

impacte o feto diretamente, e mesmo todos pacientes que desejem se utilizar dessa técnica de tratamento devem passar por uma consulta de avaliação com um médico ou fisioterapeuta, pois a mesma proporção de resultados benéficos que esse tratamento pode oferecer, também oferece riscos a saúde e vida, por se tratar de uma força física letal quando mal administrada.(AGNES,2004).

### 3. PROJETO

#### 3.1. HARDWARE

##### 3.1.1. Fluxograma do hardware

O Hardware do eletroestimulador proposto, é composto de Fonte de Alimentação Retificada, Sistema Microcontrolado de geração de sinal, Amplificador de Sinal e Eletrodos:

Na Figura 15, É mostrado o fluxograma do Hardware

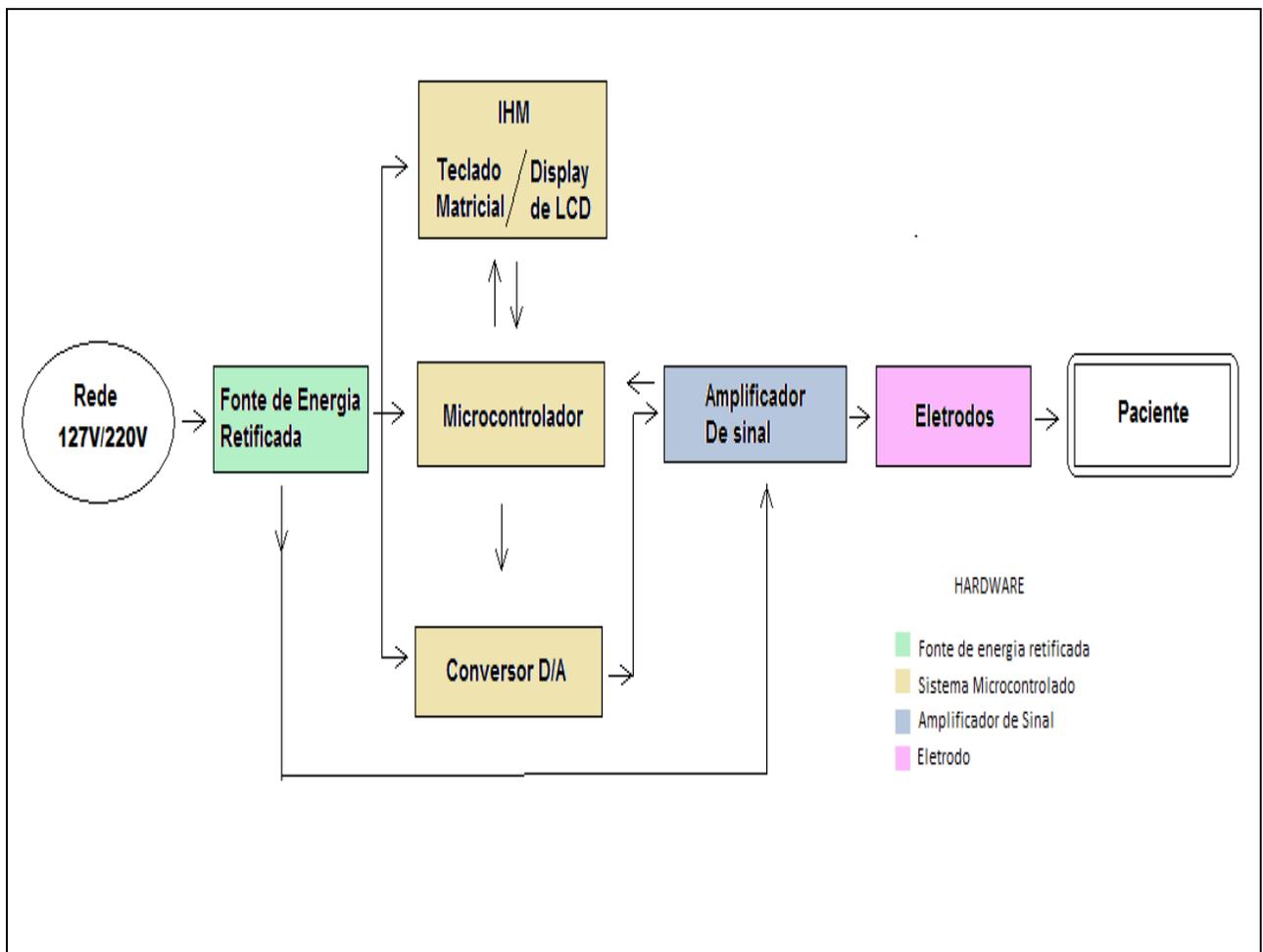


Figura 15. Fluxograma do Hardware

### 3.1.2. Sistema microprocessado

O Sistema Microprocessado, que é a parte central do projeto, composto de IHM, Microcontrolador e Conversor Digital-Analógico, pode ser visto na Figura 16.

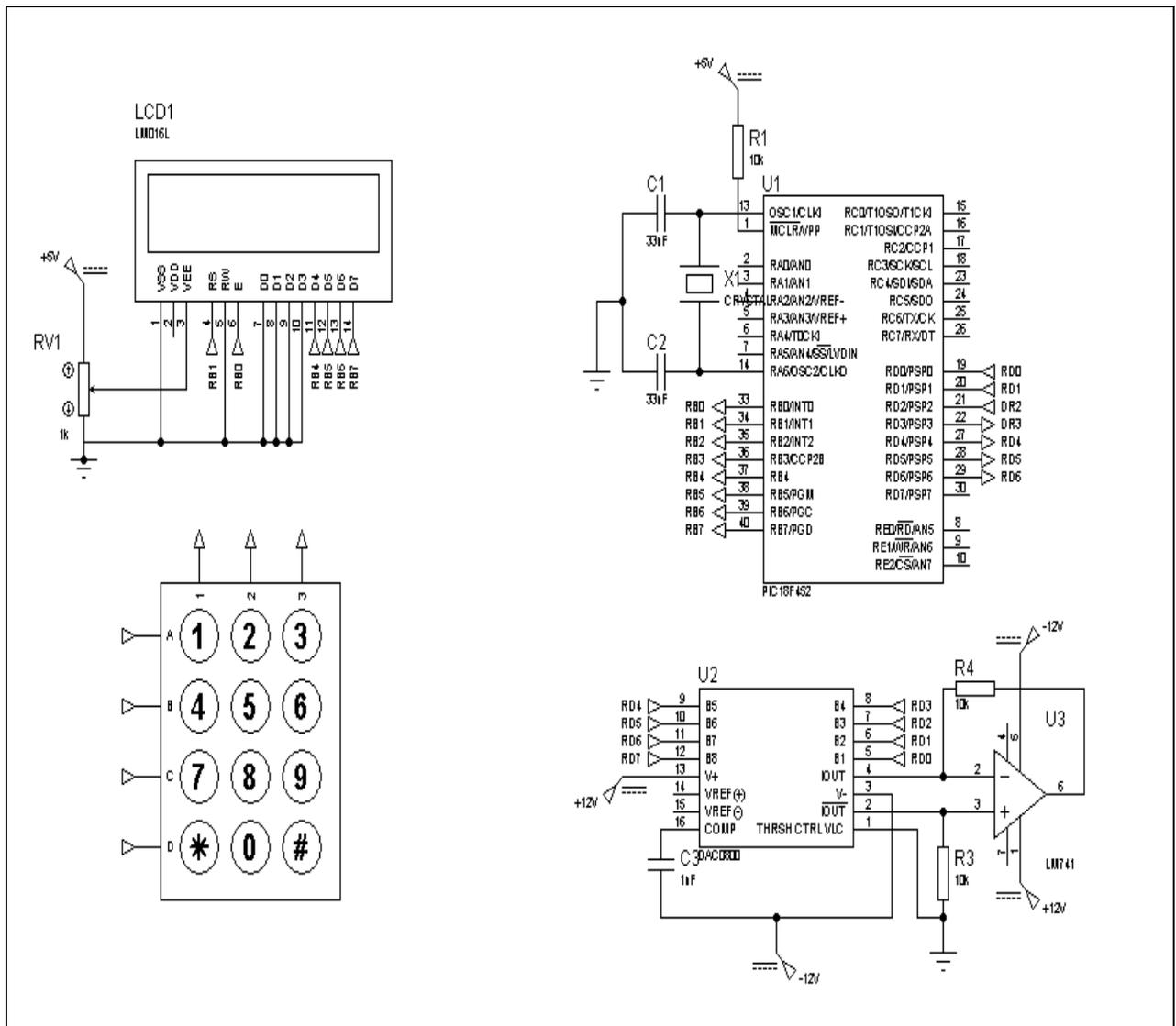


Figura 16. Desenho esquemático do sistema microprocessado

### 3.1.2.1. Interface Homem Máquina (IHM)

A *Interface* Homem Máquina do sistema é composta de Teclado Matricial e Display LCD, e permite ao operador selecionar os tipos de tratamentos disponíveis, os parâmetros de Tempo de tratamento e frequência de Pulso etc.

As interfaces homem-máquina fazem parte do nosso cotidiano, podemos encontra-las em CLPs, taxímetros, celulares etc.

Na Figura 17, É mostrado o desenho esquemático da IHM

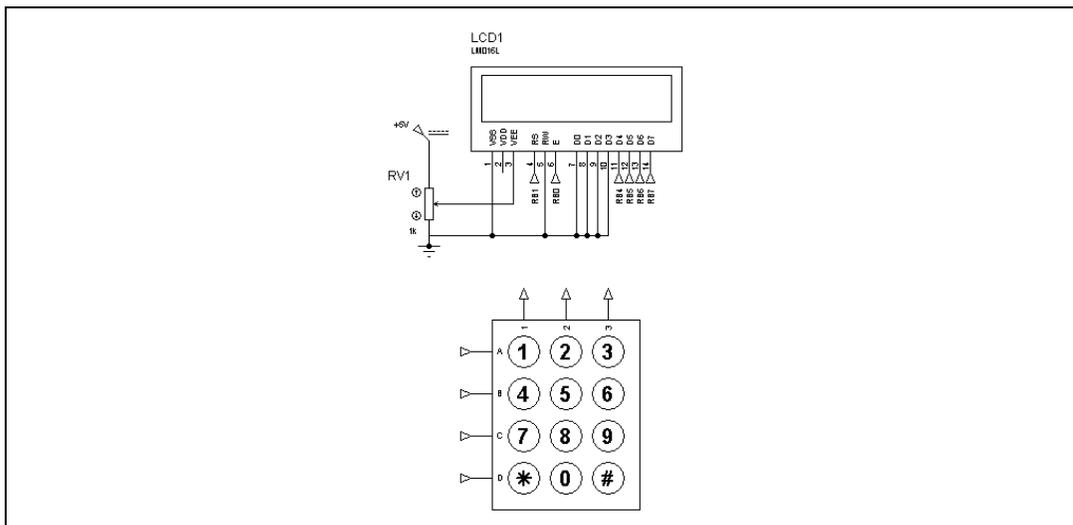


Figura 17. Desenho Esquemático da IHM

#### 3.1.2.1.1. Display LCD

O Display LCD é um dispositivo microcontrolado, é comum encontrarmos displays LCD com o Microcontrolador HD44780, os displays LCD microcontrolados poupam um esforço desnecessário, pois recebe o valor binário dos caracteres e processa para que os mesmos virem Pixels e os pixels formem a figura ou letra desejada.

Para formação dos Caracteres no Display LCD alfanumérico, o mesmo recebe os dados referentes a tabela ASCII e os transforma em Caracteres, o display lcd já possui internamente um microcontrolador dedicado, por isso chamamos de LCD inteligente, e já possui armazenado o código ascii, bastando via software enviar comandos de inicialização, de escrita ou até mesmo de leitura. (MIKROELETRÔNICA, 2008)

O LCD pode ser configurado no Modo 4 bits ou 8 bits, para a aplicação no modo que utiliza o menor número de pinos possível, usa-se 4 bits para enviar os comandos e os dados. Apesar dos dados serem de 8 bits, esse modo permite que se divida os 8bits

em duas palavras de 4, e o LCD inteligente monta os 8 bits sozinho(MIKROELETRÔNICA, 2008).

Para o Projeto do Eletroestimulador estará sendo usado um Display LCD Alfanumérico, na configuração de 4 bits, assim estaremos utilizando um numero de portas reduzido e para nossa aplicação, onde apresentaremos no display apenas letras e numero, essa configuração é suficiente.

Na Figura 18, É mostrado o desenho básico para ligação de um display LCD alfanumérico 16x2 e sua comunicação por 4 bits com o Microcontrolador PIC18F452.

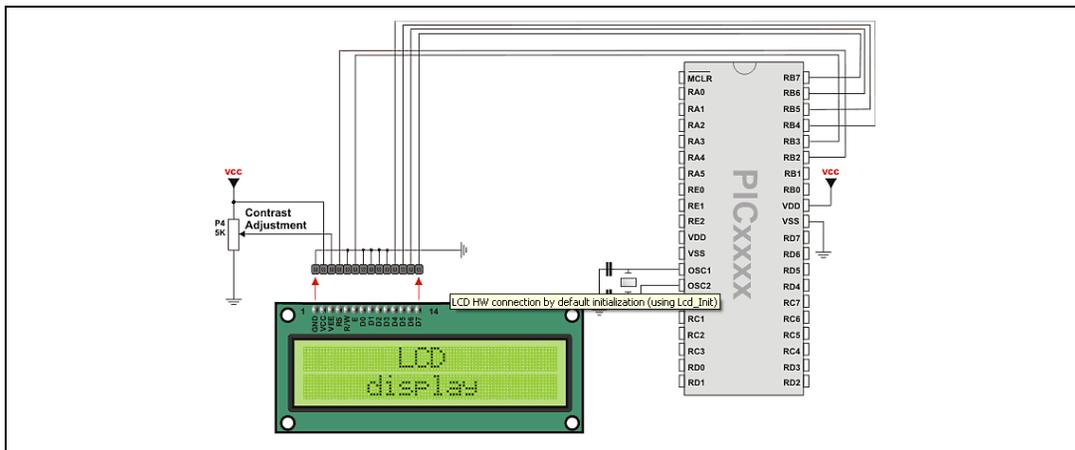


Figura 18. Desenho esquemático da ligação do LCD 16x2

Fonte: Adaptado de MIKROELETRONICA (2008)

### 3.1.2.1.2. Teclado Matricial

Para a Comunicação do usuário com o equipamento, será implementado um teclado matricial, para escolha da frequência de operação, do tipo de tratamento do tempo de tratamento e de varias outras opções disponíveis:

Na Figura 19, É mostrado o desenho esquemático da ligação do teclado matricial

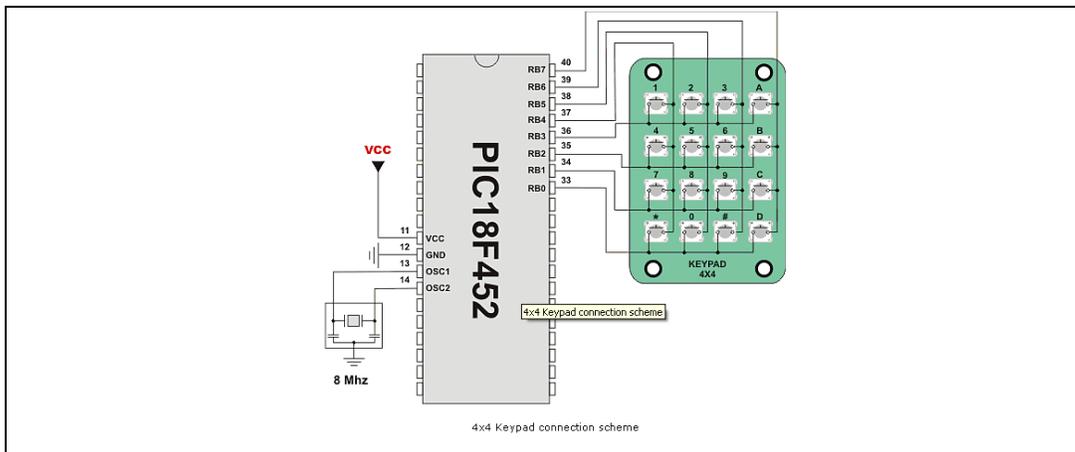


Figura 19. Desenho esquemático da ligação do teclado Matricial

Fonte: Adaptado de MIKROELETRONICA (2008)

O Teclado matricial se comunicara com o microcontrolador por meio de varredura de Linhas Colunas, por exemplo, quando Ativarmos a Linha RB0 Se Houver nível alto no Pino RB6 fica evidente que a tecla apertada pelo usuário foi a terceira coluna da linha 1.

E dessa maneira o sistema microprocessado poderá armazenar a opção selecionada pelo operador.

### 3.1.2.2. Microcontrolador

Os microcontroladores diferem dos Microprocessadores por se tratar de um elemento mais completo, dotado de uma Central de Processamento e periféricos para comunicação com o mundo exterior como podemos ver na Figura 20.

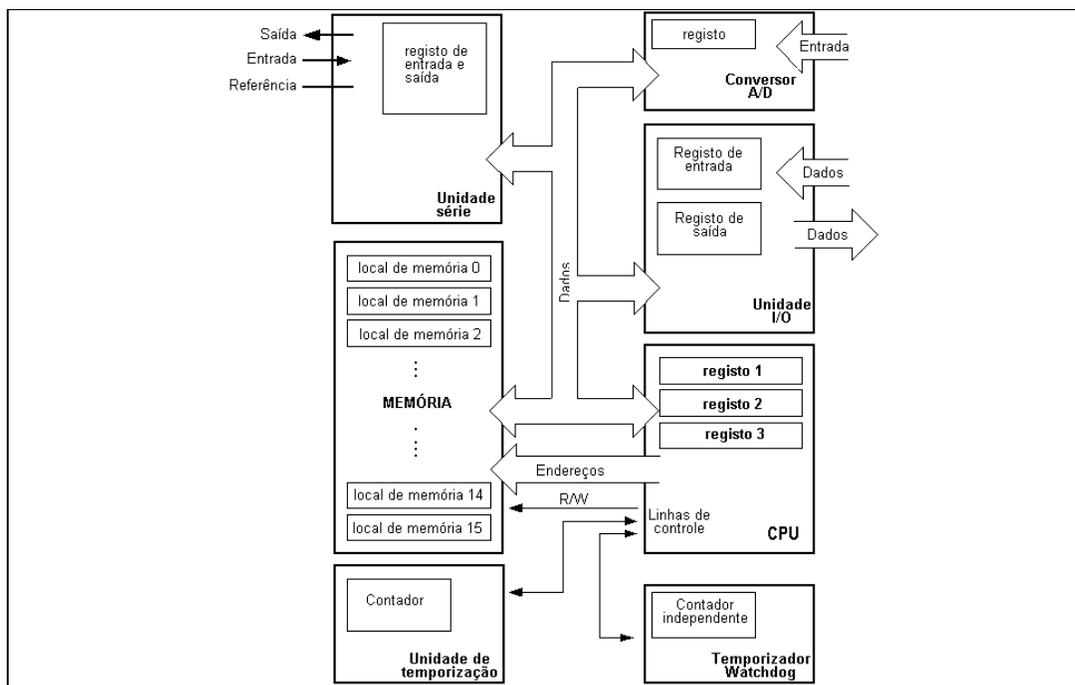


Figura 20. Desenho esquemático das funções básicas de um microcontrolador

Fonte: Adaptado de MIKROELETRONICA (2008)

### 3.1.2.2.1. PIC18F452

O Microcontrolador a ser utilizado no projeto será o 18F452 da Microchip. A grande vantagem é que possui memória Flash, possibilitando assim escrever/apagar com grande rapidez.

As principais características do 18F452 são:

- 40 pinos podendo ter até 34 I/O (*Input/Output* digital);
- 8 canais A/D de 10 Bits;
- 02 Módulos CCP – *capture, compare* e PWM;
- Memória de Programa *Flash* – 32K
- Memória RAM – 1536 *bytes*;
- Memória EEPROM – 256 *bytes*;
- velocidade de processamento – até 10MIPS (milhões de instruções por segundo);
- Módulo MSSP (*Master Synchronous Serial Port*);
- Módulo USART
- Possibilita até 100.000 ciclos de escrita/leitura na memória de programa;
- Possibilita 1.000.000 de ciclos de escrita/leitura na EEPROM;
- Retenção dos dados na memória por até 40 anos;
- Possibilita habilitação do *Watchdog Timer*;
- Possibilita interrupção externa através de pinos do Microcontrolador;
- 4 Temporizadores/Contadores.

Na Figura 21, É mostrado o numero e função dos 40 pinos do Microcontrolador PIC18F452.

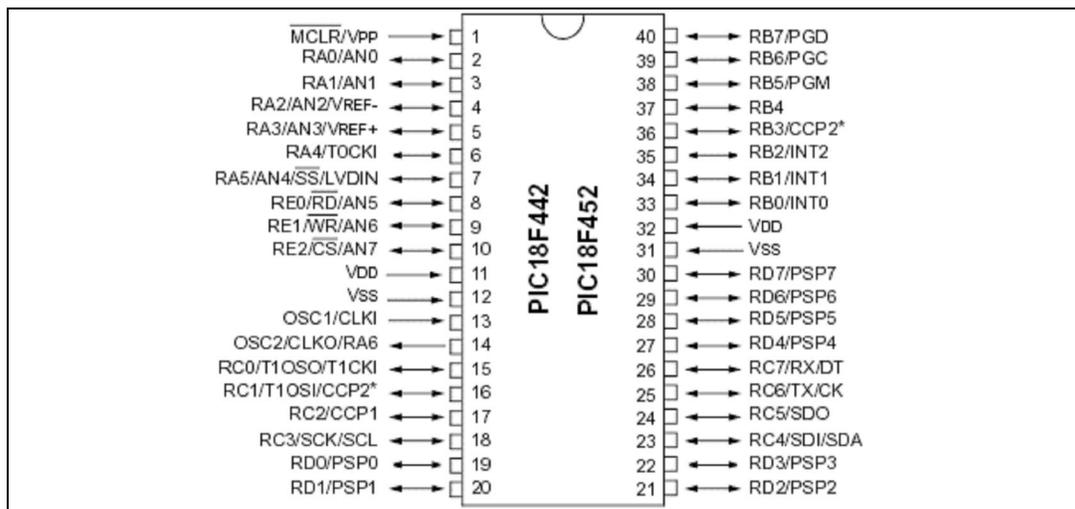


Figura 21. PIC18F452

Fonte: Adaptado de MIKROELETRONICA (2008)

### 3.1.2.3. Conversor Digital Analógico

Os dados provenientes do microprocessador estão em forma digital. Isto difere do mundo exterior onde os dados estão em forma analógica. Para obter dados analógicos é preciso transformá-los por meio de um conversor D/A que converter a resposta digital em uma tensão ou corrente analógicas.

A interface analógica é o limite ou a fronteira onde digital e analógico se encontram, onde o microcomputador se conecta ao mundo exterior. Nesta interface, está ou um conversor A/D (lado de entrada) ou um conversor D/A (lado de saída).

### 3.1.2.4. O CONVERSOR DAC 0800

O Conversor Digital Analógico a ser utilizado será o DAC0800, que tem um tempo de conversão de 100ms, saída em corrente e resolução de 8 bits, possibilitando 256 níveis diferentes de tensão analógica diferentes na sua saída, características suficientes para geração do sinal de onda do eletroestimulador.

Na Figura 22, É mostrado o Diagrama de pinagem do DAC 0800

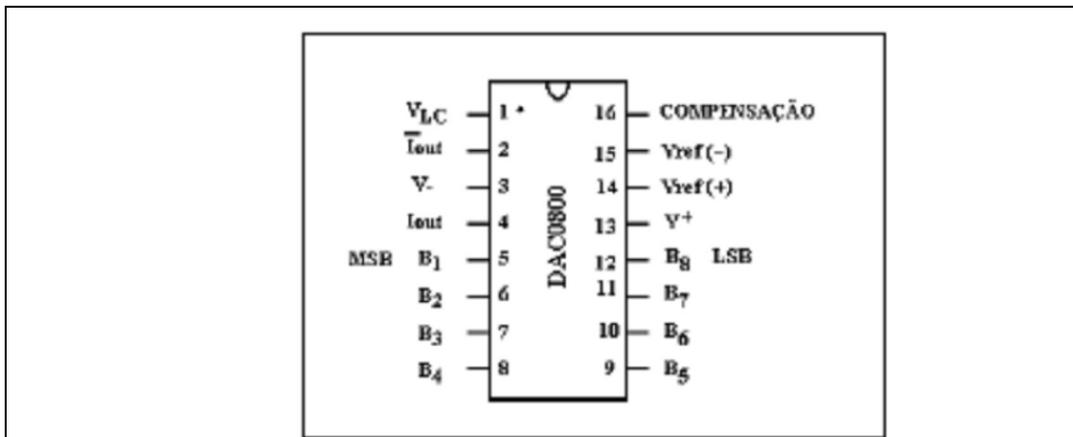


Figura 22. Pinagem do DAC 0800

Fonte: Adaptado de FARNELL (2009)

Uma característica importante, a ser observada, para o projeto foi o tempo de acomodação e o *slewing rate*, quando em frequências muito altas, o tempo para subir de um certo nível de tensão para o próximo e estabilizar, podem ser críticos, se o tempo necessário, programado for inferior a capacidade do Conversor, muito por certo teremos uma deformação na forma de onda de saída em relação a forma de onda programada.

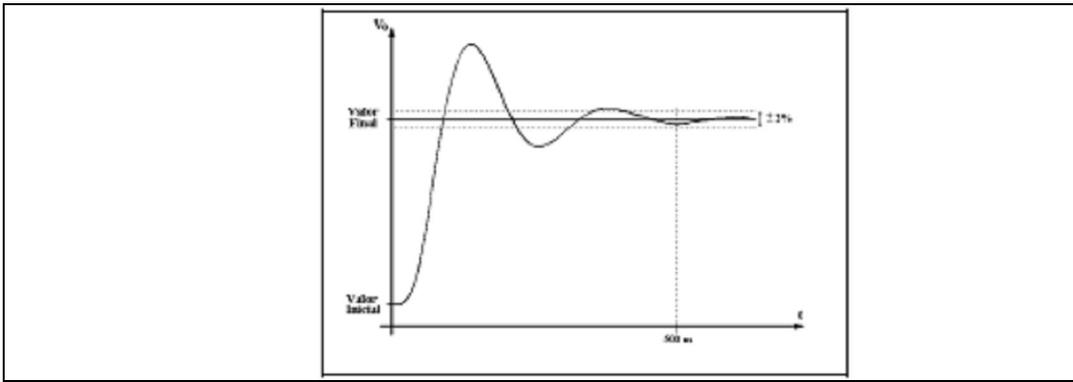


Figura 23. Tempo de acomodação em um conversor D/A

Fonte: Adaptado de FARNELL (2009)

*PINO 2 – ( Iout barrado ) E PINO 4 ( Iout )*

São as duas saídas em correntes, complementares, que aumentam a versatilidade e permitem a operação no modo diferente para efetivamente dobrar a tensão de saída pico-apico, com simples resistores de carga, como é mostrado na figura 24.

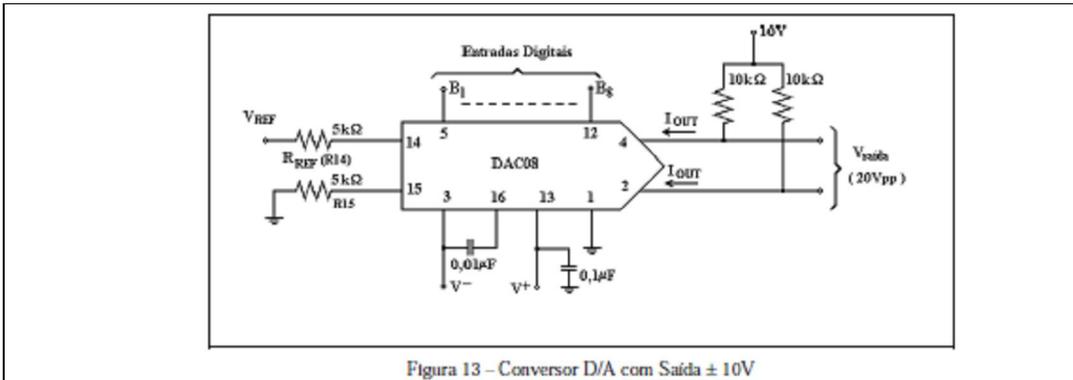


Figura 13 – Conversor D/A com Saída ± 10V

Figura 24. ( Iout )

Fonte: Adaptado de FARNELL (2009)

Na Tabela 1, É mostrado a tabela de entrada e saída do Conversor D/A

	ENTRADA DIGITAL								E <sub>o</sub> (V)
	MSB				LSB				
Fundo de Escala Positivo	1	1	1	1	1	1	1	1	+ 9,920
Fundo de Escala - LSB	1	1	1	1	1	1	1	0	+ 9,840
zero +	1	0	0	0	0	0	0	0	+ 0,040
zero -	0	1	1	1	1	1	1	1	- 0,040
Fundo de Escala + LSB	0	0	0	0	0	0	0	1	- 9,840
Fundo de Escala Negativo	0	0	0	0	0	0	0	0	- 9,920

Tabela 1. Tabela de Entradas Digital x Saida Analógica

Fonte: Adaptado de FARNELL (2009)

### 3.1.3. AMPLIFICAÇÃO DO SINAL

#### 3.1.3.1. AMPLIFICADOR DE POTÊNCIA

A Figura 25 mostra a configuração do circuito amplificador de potência baseado em fonte linear de corrente. O sinal de entrada deste circuito é o sinal analógico entre +10 V e -10 V que sai do conversor D/A.

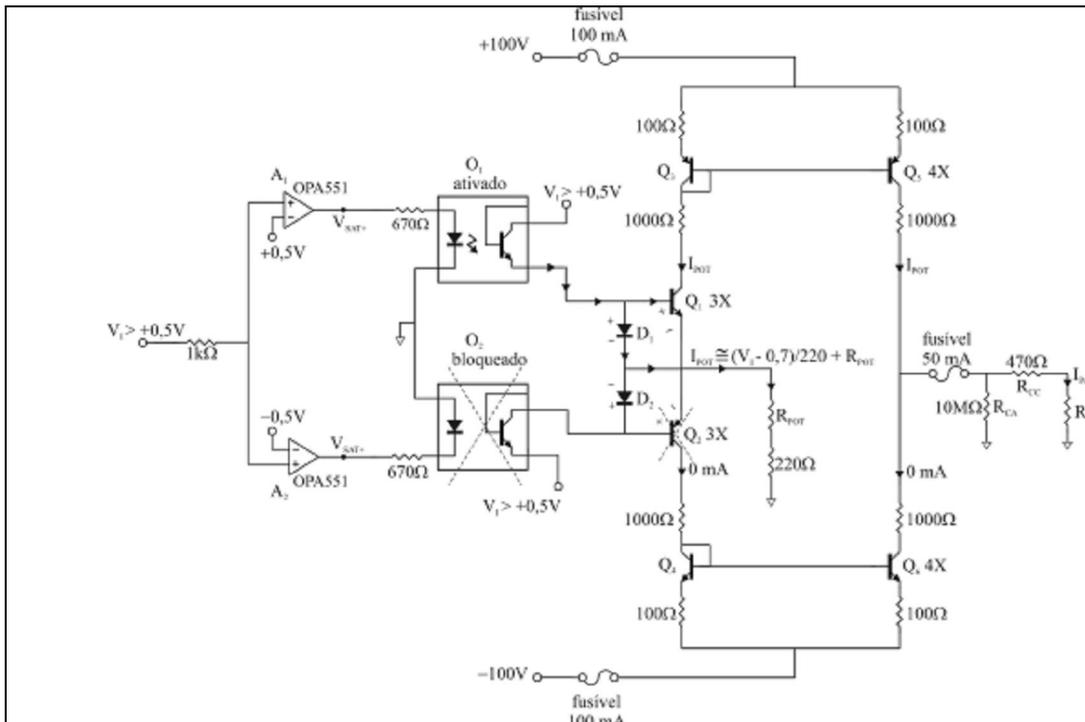


Figura 25. Amplificador de Potência

Fonte: Adaptado de BRAZ (2003)

Na Figura 27, observa-se a configuração dos transistores na forma de espelho de corrente. Os transistores de potência escolhidos foram o BF422 (NPN) e BF423 (PNP) da Philips Semiconductors.

Os amplificadores operacionais utilizados são o OPA551 da Texas Instruments, com tensão de alimentação de +/-12V, e os optoacopladores são o PC814A da Sharp.

Os resistores RCA e RCC possuem respectivamente a função de proteger o circuito em caso de circuito aberto ou curto-circuito entre os eletrodos (RPACIENTE).

O circuito possui ainda três fusíveis para proteção dos circuitos e do paciente, com valores especificados no valor de 50 mA.

Nesta estrutura, os transistores funcionam como uma chave. Quando VI é positivo, Q1, Q2 e Q3 operam enquanto Q3, Q4 e Q5 estão bloqueados, e o contrário para VI negativo. O circuito fornece, para uma carga de “zero” a 1 khoms entre os eletrodos, uma corrente entre -45mA e 45 mA, que varia linearmente conforme o sinal de entrada (+/-10V) e o ajuste do potenciômetro de precisão, que varia entre 220 e 100khoms.(BRAZ, 2004)

### 3.1.3.2. ALIMENTAÇÃO E PROTEÇÃO.

A Figura 26, mostra a representação do circuito elétrico responsáveis pela alimentação do amplificador de potência.

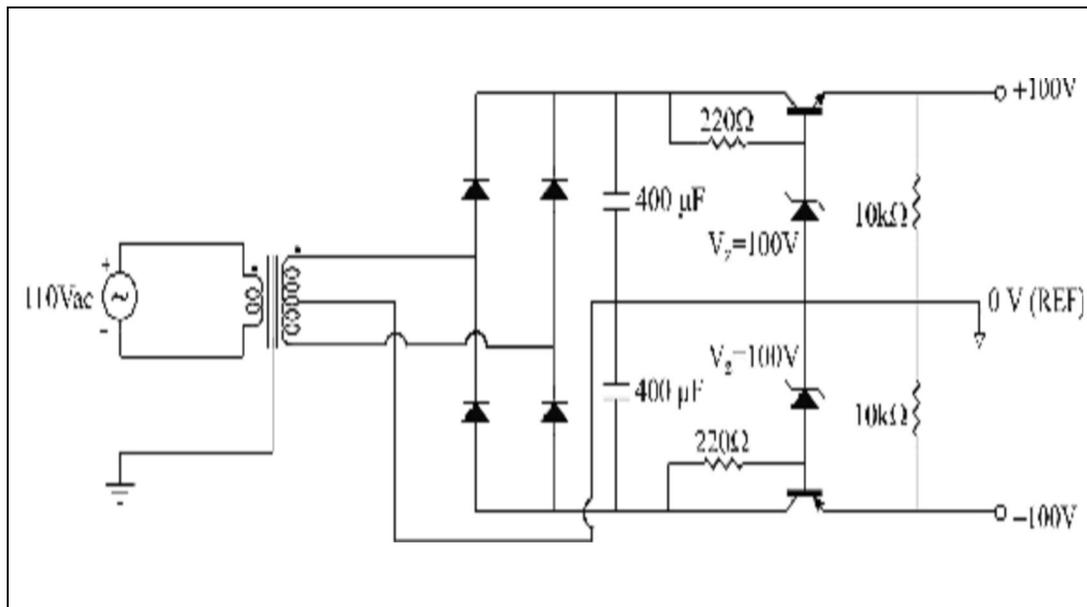


Figura 26. Fonte de Alimentação de Sistema de Proteção

Fonte: Adaptado de BRAZ (2003)

O transformador foi projetado para transferir ao secundário uma potência de 50VA, necessária à alimentação do canal de saída do amplificador de potência, e

ampliação futura do dispositivo para mais de um canal de estimulação. Entre os enrolamentos primário e secundário existem duas películas de elevada resistência dielétrica (com uma isolação de 4 kV). Entre estas películas, existe uma pequena placa metálica onde o fio terra está conectado, reforçando a isolação do sistema da rede elétrica. Este sinal do secundário passa por uma ponte retificadora e por um conjunto de capacitores, resistências, transistores (BD139, NPN e BD140, PNP da Philips Semiconductors) e diodos zener (modelo 1N5378B, da Motorola) com a função de manter a estabilidade do sinal em +/-100VDC mesmo que ocorram sobre e subtensões na rede elétrica de distribuição no valor de 10 %. O arranjo de diodos zener protegem o sistema de eventuais sobretensões, garantindo um valor de tensão estável em 100V. Os capacitores servem para diminuir o efeito de ondulação (*ripple*) causado na retificação do sinal. Os resistores de 100 khoms descarregam este capacitor quando o aparelho é desligado, para que o mesmo não fique energizado (item 56.4 da norma NBR IEC 601-1). A fonte de alimentação dos demais componentes do circuito é feita de forma análoga através de outro transformador com as mesmas características, porém com potência inferior (4VA) e sem a estrutura de diodos zener e transistores. Após a retificação do sinal, os reguladores de tensão 7812, 7912 e 7805 da Texas Instruments regulam os valores de tensão em +12V, -12V e +5V respectivamente.

### 3.1.4. Dosimetria e Tipo de Eletrodo

Dose é quantidade de depósito energético suficiente para estimular o sistema biológico sem saturá-lo ou lesá-lo.

A fórmula para a dosimetria é:  $\text{Tempo da Sessão (Minutos)} = [\text{Dose (J/cm}^2\text{)}/\text{Superfície Corporal (cm}^2\text{)}/\text{Potência eficaz (Watts)}]/60$  (para apresentar o tempo em Minutos).

È preciso sempre ser aplicado uma dose que possa atingir a melhor eficiência em estímulo, sem provocar queimaduras,

O método de cálculo de um eletrodo é:

Assumindo uma superfície de 10cm X 5 cm com area de 5000mm<sup>2</sup>

Adotando uma corrente típica de 20 mA (Muito comum em aplicações de TENS)

20 mA = 20,000 A.

Então a densidade de corrente sobre a pele é de:

$20,000/5000 \text{ A por mm}^2 = 4 \text{ A por mm}^2$

Para se dimensionar um eletrodo O cálculo de Dosimetria e densidade de corrente devem ser utilizados, levando em conta o tipo de tratamento e publico alvo.

Para uma observação geral percebe-se que a área do eletrodo é inversamente proporcional a densidade de corrente e possibilita uma difusão menos concentrada da energia aplicada, sendo assim menos queimaduras e irritações a pele do paciente. (AGNES, 2003)

## 3.2. FIRMWARE

Todo sistema microprocessado ou microcontrolado, necessita de um programa (Firmware) para comandá-lo. O microcontrolador irá obedecer fielmente todas as ordens que forem atribuídas, dentro do limite de suas capacidades.

Um programa é constituído por um conjunto de instruções em seqüência, onde cada uma identificará precisamente a função básica que o PIC irá executar. Cada instrução é representada por um código de operação (OPCODE - do inglês, Operation Code) de 14 bits, tamanho exato de cada locação de memória de programa, no caso do PIC 18F452.

### 3.2.1. Fluxograma do Firmware

Na Figura 27, É mostrado o fluxograma do firmware que irá controlar o hardware

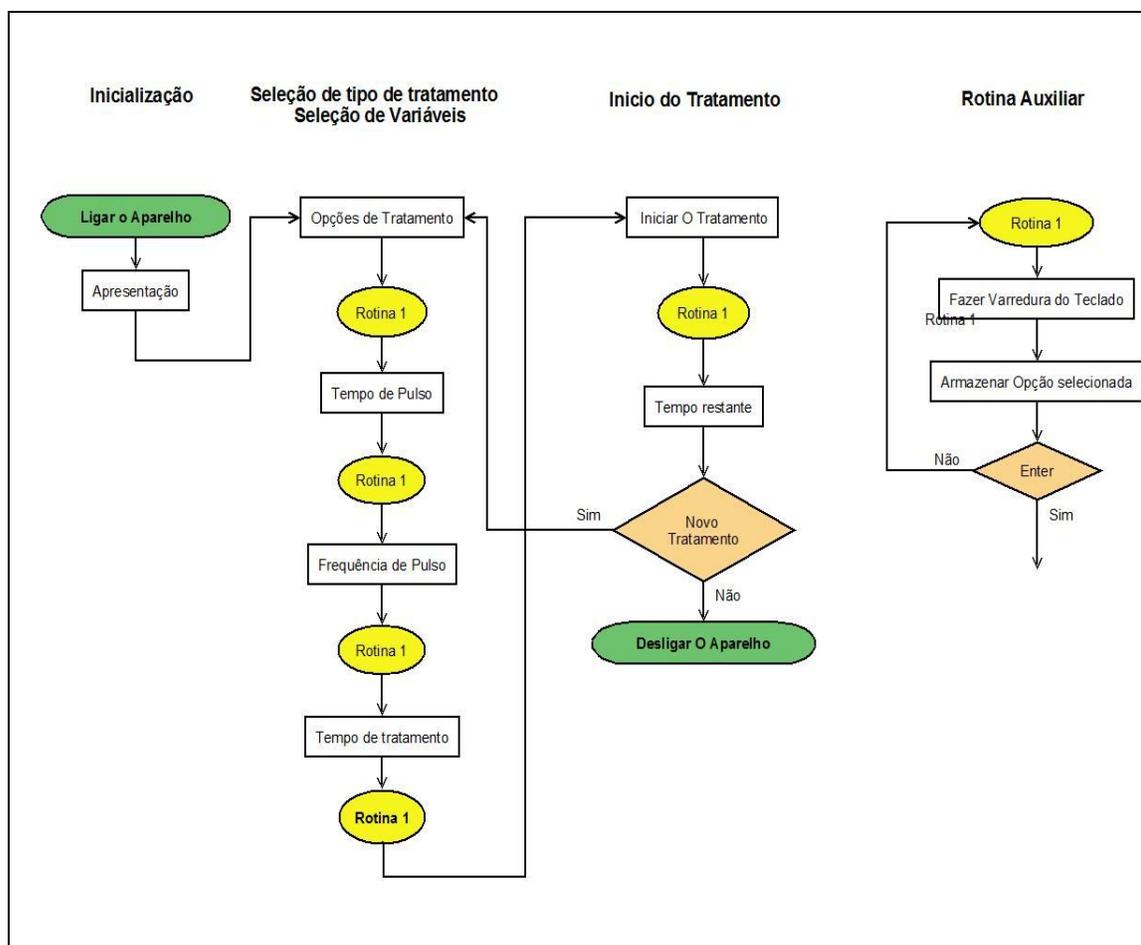


Figura 27. Fluxograma do Firmware

### 3.2.2. Rotina de varredura de teclado

A função de varredura de teclado foi desenvolvida para trabalhar com um teclado matricial de 4 linha e 3 colunas

```
/*Funcao para leitura de teclado matricial 4x3*/

trisc=0b11110000;// 4 bits do portc serão acionamento e 4 bits serão leitura de dados
para tornar possível a varredura de dados

int teclado(int x) // Função do tipo int chamada teclado que retorna a variável x
{
int x=100;//variável interna da função
while(x==100) //lê o teclado enquanto x==100, considerando 100 um numero aleatório
{
portc=0b00000001; //varredura do portc.f0
if (portc.f6==1) // condição para tecla pressionada valer 1
x=1;
if (portc.f5==1) // condição para tecla pressionada valer 2
x=2;
if (portc.f4==1) // condição para tecla pressionada valer 3
x=3;
portc=0b00000010; //varredura do portc.f1
if (portc.f6==1) // condição para tecla pressionada valer 4
x=4;
if (portc.f5==1) // condição para tecla pressionada valer 5
x=5;
if (portc.f4==1) // condição para tecla pressionada valer 6
x=6;
portc=0b00000100; //varredura do portc.f2
if (portc.f6==1) // condição para tecla pressionada valer 7
x=7;
if (portc.f5==1) // condição para tecla pressionada valer 8
x=8;
if (portc.f4==1) // condição para tecla pressionada valer 9
x=9;
portc=0b00001000; //varredura do portc.f3
if (portc.f6==1) // condição para tecla pressionada valer 10 (Esc)
x=10;
if (portc.f5==1) // condição para tecla pressionada valer 0
x=0;
if (portc.f4==1) // condição para tecla pressionada valer 11 (Enter)
x=11;
return x;
}
}
```

}

Na Figura 28, É mostrado o desenho esquemático da Varredura de Linhas e colunas do teclado matricial.

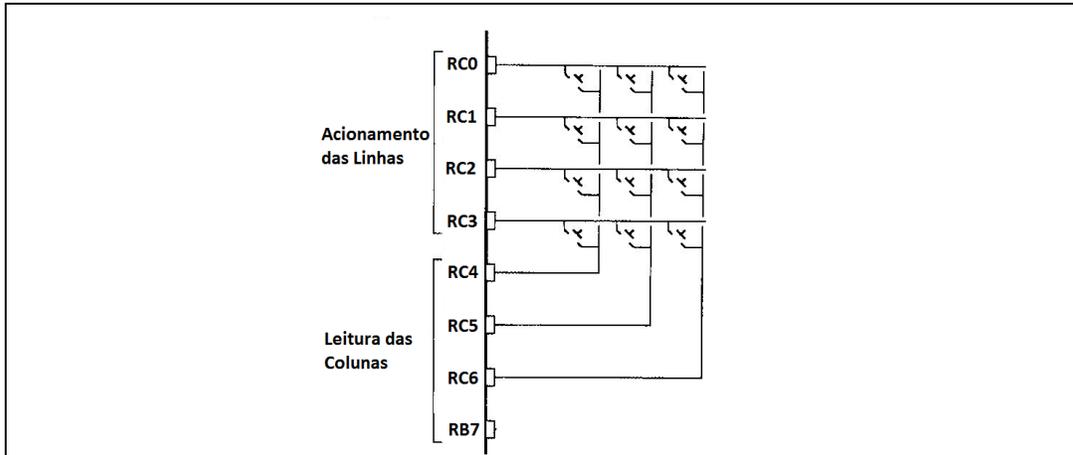


Figura 28. Desenho esquemático do teclado Matricial

### 3.2.3. Rotina de armazenamento de dados

```
/*Funcao para escolha de tempo e frequencia*/
long int tempfrequ(long int x)
{
    long int b,x; //vetores locais
    long int a[9]; // armazena um numero de no máximo nove casas decimais
    long int acumulador=0;
    for(b=0;b<9;b++)
    {
        x=100;
        while(x==100)
        {
            a[b]=teclado(x);
            x=a[b];
        }
        if(x>8)
        {
            lcd_Cmd(Lcd_Cursor_off);//Configurações do LCD
            lcd_out(2, 1,txt);
            lcd_out(2, 13,"HZ");
            delay_ms(500);
        }
    }
}
```

```

switch (b)
{
case 0: // DE 0 A 9
acumulador=1*a[0];
break;
case 1:// DE 10 A 99
acumulador=10*a[0]+1*a[1];
break;
case 2:// // DE 100 A 999
acumulador=100*a[0]+10*a[1]+1*a[2];
break;
case 3:// // DE1000 A 999
acumulador=1000*a[0]+100*a[1]+10*a[2]+1*a[3];
break;
case 4:// DE 10000 A 99999
acumulador=10000*a[0]+1000*a[1]+100*a[2]+10*a[3]+1*a[4];
break;
case 5: // DE 100000 A 999999
acumulador=100000*a[0]+10000*a[1]+1000*a[2]+100*a[3]+10*a[4]+1*a[5];
break;

case 6: // DE 1000000 A 9999999
acumulador=1000000*a[0]+100000*a[1]+10000*a[2]+1000*a[3]+100*a[4]+10*a[5]+1*a[6];
break;

case 7: // DE 10000000 A 99999999
acumulador=10000000*a[0]+1000000*a[1]+100000*a[2]+10000*a[3]+1000*a[4]+100*a[5]+1
0*a[6]+1*a[7];
break;

case 8: // DE 100000000 A 999999999
acumulador=100000000*a[0]+10000000*a[1]+1000000*a[2]+100000*a[3]+10000*a[4]+1000*
a[5]+100*a[6]+10*a[7]+1*a[8];
break;

}

```

### 3.2.4. Rotina de acionamento de display

Na Figura 29, É mostrado o funcionamento do Display LCD

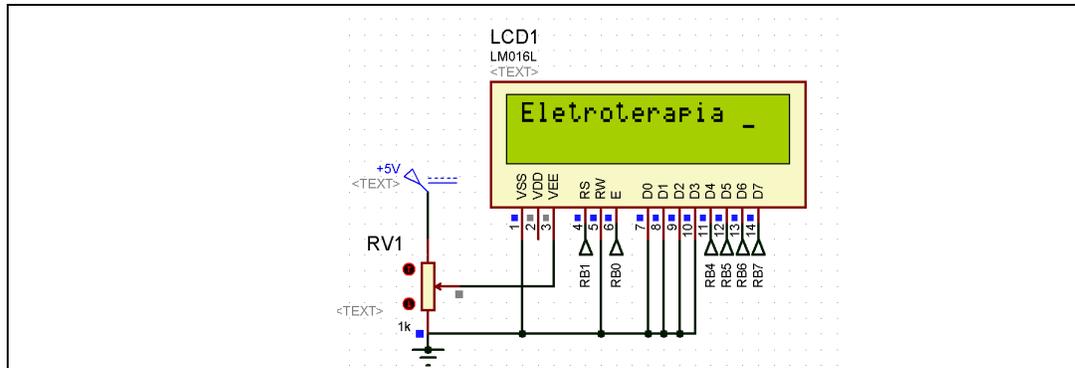


Figura 29. Display LCD

```
trisa=0;// considerando que o portb servira de saída de dados para o Display LCD
lcd_config(&portb,1,0,2,7,6,5,4);//Configurações das portas usadas pelo LCD
b=0;//Limpa todo portb para receber dados
x=100;//Habilita a leitura do teclado para selecionar tratamento
while(x==100)//enquanto não selecionar o tratamento a mensagem opções no LCD
{
  lcd_Cmd(Lcd_Cursor_off);//Configurações do LCD
  lcd_out(1, 1,"1 [TENS-C] 2 [TENS-B] 3 [Dinamica] ");
  lcd_out(2, 1,"4 [NMES] 5 [C. RUSSA] 6 [FARADICA] ");
  lcd_cmd(Lcd_Shift_Left);//Mensagens para informar ao operador o tipo de tratamento
  delay_ms(300);
  a[b]=teclado(x); //Recebe leitura de teclado
  x=a[b];//Se foi lido o teclado garante que a mensagem do LCD é trocada por outra para
  escolha de parâmetros do tratamento
}
```

### 3.2.5. Rotina para Geração de sinais

*/\*Declaracao dos vetores\*/*

```
int TensAB[8] = {255,28,49,66,90,98,110,113};
```

Na Figura 30, É mostrado A onda Gerada para Técnica TENS

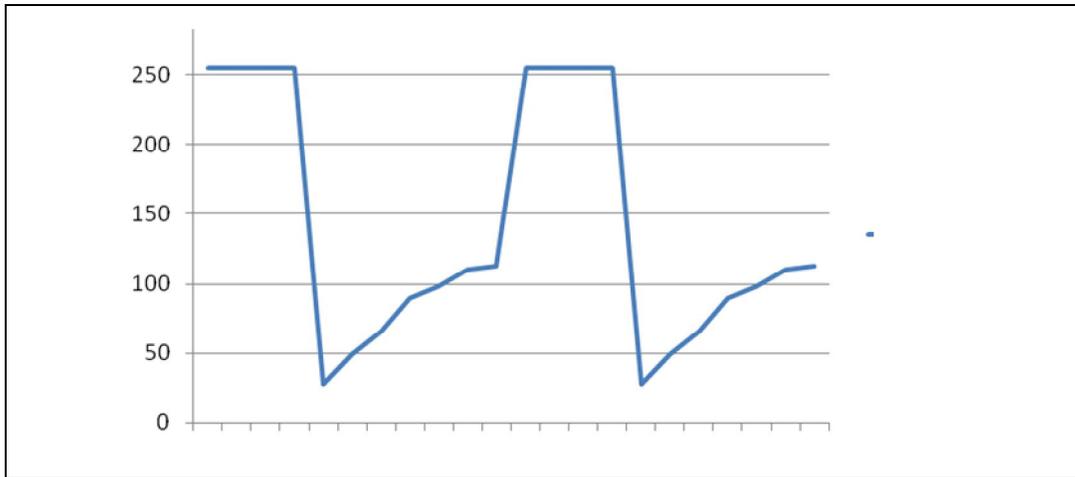


Figura 30. Forma de onda TENS

```
int Diadinamica[8] = {0,98,180,236,255,236,180,98};
```

Na Figura 31, É mostrado a forma de onda gerada para a técnica Diadinâmica

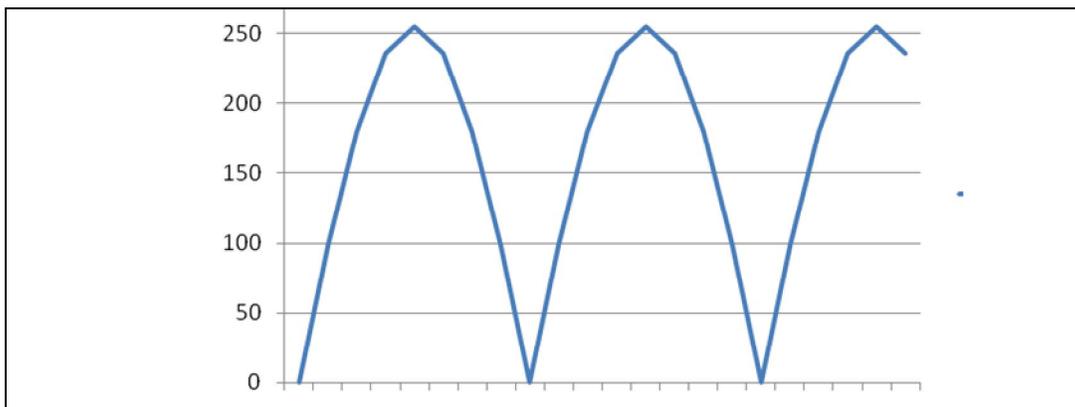


Figura 31. Forma de onda Diadinâmica

```
int NMESRussa[2] = {255,0};
```

Na Figura 32, È mostrada a forma de onda para a técnica MNES e Corrente Russa

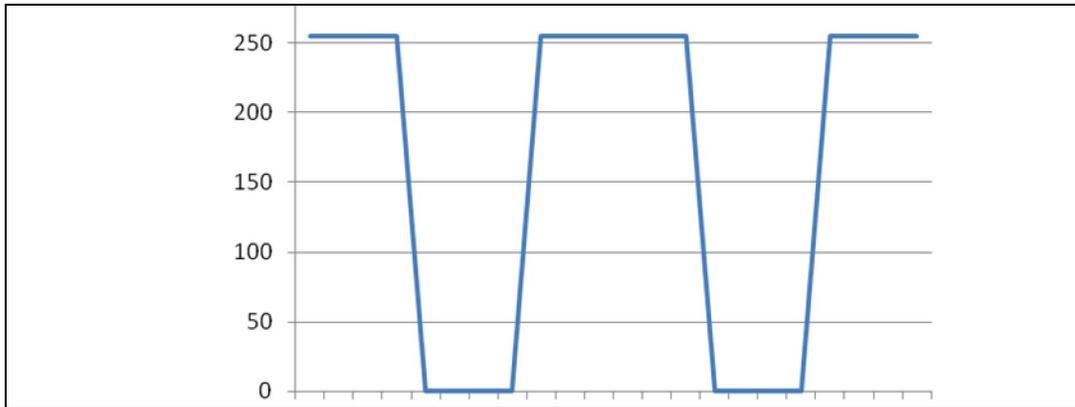


Figura 32. Forma de onda MNES e Corrente Russa

```
int Faradica[8] = {0,32,128,159,255,159,128,32};
```

Na Figura 33, È mostrado a forma de onda para a técnica Farádica

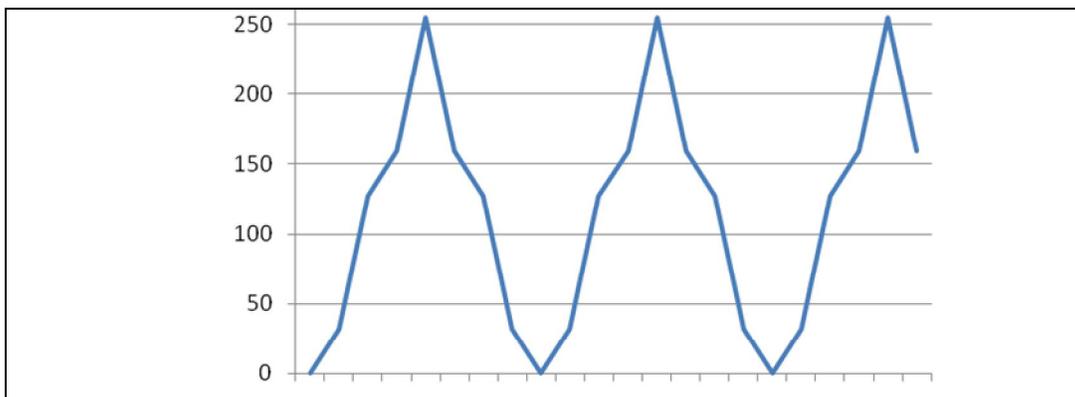


Figura 33. Forma de onda Farádica

/\*Aqui será mostrado o tipo de tratamento e frequencia escolhida\*/

```
switch (x)
```

```
{
```

```
case 1:
```

```
lcd_cmd(lcd_clear);  
lcd_out(1, 4, "1 [TENS-C]");  
acumulador=tempfrequ(x);  
for(s=0;s<30;s++)  
{  
for(x=0;x<9;x++)  
{  
portd = Diadinamica[x];  
delay_ms(250);  
}  
}  
break;
```

## 4. Implementação do Sistema Microprocessado

### 4.1. Implementação prática do sistema Microprocessado

A etapa inicial do desenvolvimento do Hardware se deu no Kit de Desenvolvimento CUSCOPIC 4.54, Montado durante o curso de microcontroladores feito na empresa Uptex da cidade de Campinas.

Na Figura 34, É mostrado o Kit de Desenvolvimento CUSCOPIC 4.54

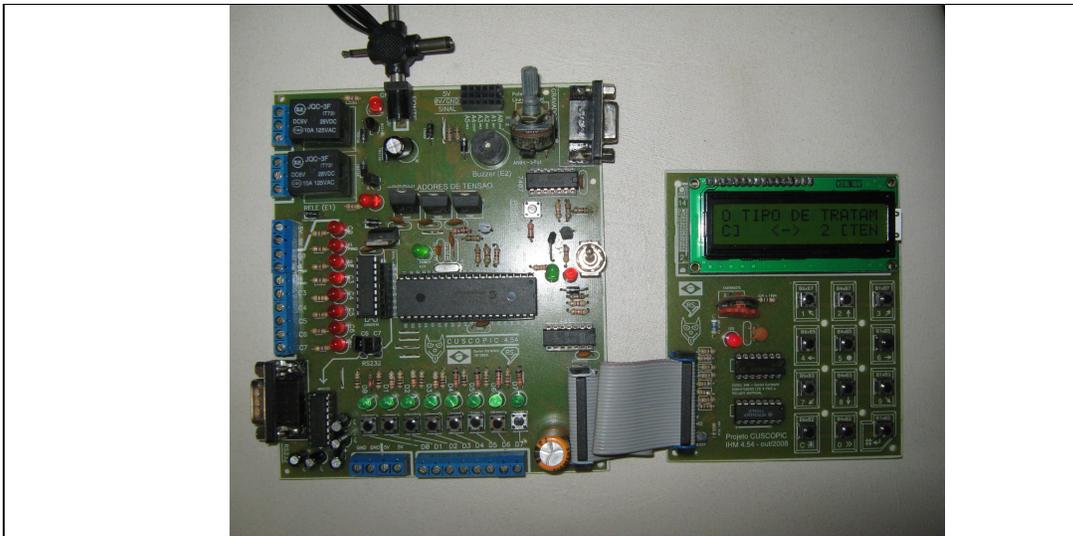


Figura 34. Kit de Desenvolvimento

O Kit de desenvolvimento utilizado possui, uma interface muito apropriada aos teste do eletroestimulador com Display de LCD, Teclado Matricial, Conectores de saída de dados para Ligação com o DAC0800.

Na Figura 35, É mostrada a mensagem da forma de onda TENS Gerada



Figura 35. Comunicação com Operador através do LCD

As etapas iniciais foram implentadas carregando comandos simples e formas de ondas básicas como a Senoide, Triangular etc..

A etapa de desenvolvimento no Kit CUSCOPIC 4.54 foi um sucesso, atingindo o objetivo proposto de ensaios e teste para partir para a prototipagem.

O Hardware do sistema Microprocessado, composto de Micontrolador PIC 18F452, LCD+teclado Matricial, DAC0800 e AmpOp LM741, foram montados em uma placa de matriz de Contatos e testado em Laboratório com osciloscópio.

Na Figura 35, É mostrado o Protótipo montado em Matriz de contatos.

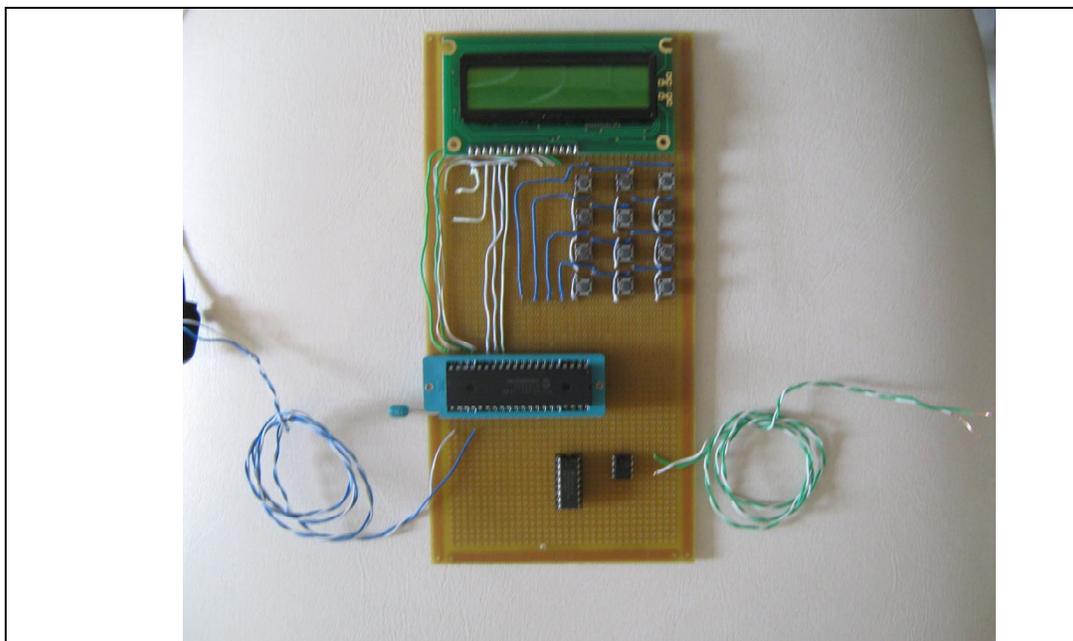


Figura 36. Protótipo do sistema Microcontrolado

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como resultado desse Trabalho de conclusão de curso foi possível a aquisição de dados, levantados por meio de: pesquisas, simulações e experimentos, dados os quais comprovam a viabilidade técnica para o desenvolvimento de um eletroestimulador construído a partir de um sistema microcontrolado de baixo custo.

Foi possível através desse trabalho de conclusão de curso a compreensão do funcionamento eletrofisiológico de organismos, e como através da eletroestimulação médica é possível a reversão de quadros de lesão e amenizar dores crônicas e agudas durante tratamentos.

A partir do projeto aqui exposto é possível observar o modelo para o desenvolvimento do hardware, composto por Sistema Microprocessado, Sistema de Amplificação, Fontes e Eletrodos, e também é possível observar o firmware que gerência todo o hardware.

Apenas o Sistema Microcontrolado foi implementado em Hardware, o qual se mostrou eficiente para frequências inferiores a 1MHZ, as demais partes do eletroestimulador foram simuladas em Software.

Para uma possível continuidade desse trabalho existe a necessidade de algumas mudanças, como por exemplo, o desenvolvimento de um Firmware em Assembly, pois a linguagem Assembly se mostra muito mais fácil e rápida para ser processada pelo microcontrolador.

É possível a Implementação do Micronrolador abordado, todavia foi observado que DSPs (Digital Signal Processors), e alguns outros Micronroladores mais rápidos em processamento, como o Caso do ARM, Altera etc, tornariam a programação mais simples e poderiam até mesmo processar um firmware desenvolvido em Linguagem C.

Em suma, para o desenvolvimento do um Eletroestimulador a partir do projeto proposto, devem ser feitas as devidas melhorias, e após executadas as melhorias apontadas, o mesmo pode ser uma solução para utilização de médicos e Fisioterapeutas, como auxiliar em seus tratamentos de recuperação muscular e de tecidos lesados, proporcionando a pacientes a qualidade em seus tratamentos.

## REREFÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

– Artigo

GIACOMIN, João Carlos. Eletrônica Básica, Conversores D/A e A/D. Disponível via URL em: [http://www.dcc.ufla.br/~giacomini/Com145/AD\\_DA.pdf](http://www.dcc.ufla.br/~giacomini/Com145/AD_DA.pdf). Acesso em: 15 de junho de 2009.

BRAZ, G.P. Sistema de eletroestimulação informatizado para tratamento da dor e para reabilitação neuromuscular. 2003. 133 f. Tese (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

– Artigo

MELCON, Flávio. Primeiro Projeto, Um Gerador de onda quadrada. Disponível via URL em: <http://www.scribd.com/doc/5177459/Primeiro-Projeto>. Acesso em: 15 de junho de 2009.

– Homepage

UPTEX. Desenvolvimento de Cursos e Soluções com Microcontroladores. Desenvolvido pela Empresa desenvolvedora de curso para microcontroladores UPTEX, 2009. Apresenta textos e manuais sobre as diversas linhas de microcontroladores disponíveis no mercado. Disponível em: <<http://www.uptex.com.br>>. Acesso em: 27 nov. 2009.

– Homepage

MICROGÊNIOS. Centro de Tecnologia em Microcontroladores. Desenvolvido pela Empresa desenvolvedora de curso para microcontroladores Microgênios, 2009. Apresenta textos e manuais sobre as diversas linhas de microcontroladores disponíveis no mercado. Disponível em: <<http://www.microgenios.com.br>>. Acesso em: 27 nov. 2009.

MIKROELETRONICA, MANUAL do Software MikroC. Disponível via URL em: <http://www.mikroe.com>. Acesso em: 15 de junho de 2009. 427 p.

MANUAL do Microcontrolador PIC18F453 da MicroChip. Disponível via URL em: <http://www.microchip.com> Acesso em: 15 de junho de 2009. 332 p.

OLIVEIRA, Tiago P. R. Manual de trabalho com o Microcontrolador 18F452 1. ed. Campinas: Atlas, 2009.

AGNES, Jones E.; Eletrotermoterapia: teoria e prática. 1. ed. Santa Maria: Palloti, 2004. 366p

LIUCY, Merck; Caminho das conduções Nervosas . 1. ed. : Anatolli, 2004. 260p

– Homepage

FARNELL. Fabricante de componentes eletrônicos. Site Desenvolvido pela Empresa fabricante de componentes eletrônicos Farnell, 2009. Apresenta textos e manuais sobre os diversos componentes eletrônicos fabricados. Disponível em: <<http://pt.farnell.com>>. Acesso em: 15, dez. 2009.

## 1. GLOSSÁRIO

Placebo                      O efeito placebo é uma técnica muito utilizada entre os médicos, e consiste em administrar medicamentos sem princípio ativo, os quais estimulam o paciente a acreditar que estão sendo medicados e muitas das vezes reagir de maneira natural e inconsciente a sua molestia.