UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CENTRO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E COMPUTAÇÃO

Agnaldo Souza Cruz

Medição da densidade óssea através de ondas eletromagnéticas e classificação por MVS

Natal

2013

Agnaldo Souza Cruz

Medição da densidade óssea através de ondas eletromagnéticas

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica e Computação.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Gonçalves da Silva

Natal

2013

Catalogação da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Setorial de Arquitetura

Cruz, Agnaldo Souza.
Medição da densidade óssea através de ondas eletromagnéticas./ Agnaldo Souza Cruz. – Natal, RN, 2013.
60f. : il.

Orientador (a): Sandro Gonçalves da Silva.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Departamento de Engenharia Elétrica e Computação.

1. Osteoporose – Dissertação. 2. Redes neurais – Dissertação. 3. Antena – Dissertação. 4. Densidade óssea – Dissertação. I. Silva, Sandro Gonçalves da. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

RN/UF/BSE15 CDU 616.71-007.234

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO

Ata da 410ª sessão de defesa de Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação da UFRN, realizada em 13 de janeiro de 2014, às 09h00min, na Sala I9 do Setor de Aulas IV da UFRN.

Aos 13 (treze) dias do mês de janeiro do ano de dois mil e quatorze, foi realizada a 410ª sessão de defesa de Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação da UFRN, na qual o Mestrando **Agnaldo Souza Cruz** apresentou o trabalho que tem como título: "Medição de densidade óssea por de ondas eletromagnéticas e classificação por MVS". A sessão teve início às 09h00min, tendo a banca examinadora sido constituída pelos seguintes participantes: Sandro Gonçalves da Silva (Dr. UFRN, Orientador), Ricardo Alexsandro de Medeiros Valentim (Dr. UFRN, Examinador Interno) e Humberto Dionisio de Andrade (Dr. UFERSA, Examinador Externo). Após a apresentação do trabalho e o exame pela banca, o mestrando foi considerado APROVADO, do que eu, Paulo Yvens Farias Rolim, lavrei a presente ata, que vai assinada pelos examinadores, pelo aluno e por mim.

Sandro Gonçalves da Silva
(Dr. UFRN, Orientador)

Agnaldo Souza Cruz
(Mestrando)

Ricardo Alexsandro de Medeiros Valentim
(Dr. UFRN, Examinador Interno)

Humberto Dionisio de Andrade
(Dr. UFERSA, Examinador Externo)

Paulo Yvens Farias Rolim
(Secretário – PPgEEC)

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, pois sem o Criador nada seria possível.

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Norte por ser minha segunda casa desde 2008. Lugar onde aprendi grande parte do que sou hoje.

Agradeço ao ex-diretor do Centro de Tecnologia, Prof. Manoel Lucas Filho, e aos atuais diretor e vice, respectivamente, Prof. José Daniel Diniz Melo e Prof. João Bosco da Silva, pelo apoio incondicional para concretização deste trabalho.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Sandro Gonçalves de Silva, que demonstrou total apoio nos momentos mais difíceis.

Agradeço ao Prof. Dr. Adaildo D'Assunção, pelas oportunidades abertas incondicionalmente.

Agradeço a meu amigo Bruno de Castro, pela valiosa contribuição no projeto.

Agradeço a minha esposa, Adriana Ângela por ter sido minha companheira durante todo o percurso dessa árdua caminhada.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma técnica de medição da densidade óssea através da atenuação de ondas eletromagnéticas. Para a realização do trabalho, optou-se por um arranjo de antenas de microfita com configuração retangular, operando em uma frequência de 2,49GHz, alimentada por uma linha de microfita em um substrato de fibra de vidro com permissividade de 4,4 e altura de 0,9 cm. Foram realizadas simulações com amostras de sílica, farinha de osso, blocos de gesso e sílica para comprovação da variação do nível de atenuação em diferentes combinações. Por reproduzirem satisfatoriamente os aspectos de anomalia dos seres humanos, foram utilizadas amostras de osso bovino. Elas foram submetidas a pesagem, medições e radiação de micro-ondas. Suas massas foram alteradas e o processo foi repetido. Os dados obtidos foram inseridos em uma rede neural e procedeu-se ao seu treinamento, obtendo-se os melhores resultados, com classificação correta em 100% das amostras. Conclui-se que, através de uma onda não-ionizante na faixa de 2,49GHz, que é possível avaliar o nível de atenuação no tecido ósseo e que, com aplicação de rede neural alimentada com características obtidas no experimento, é possível classificar uma amostra como tendo densidade óssea baixa ou alta.

PALAVRAS-CHAVES: Osteoporose. Redes neurais. Antena. Densidade óssea.

ABSTRACT

This work holds the purpose of presenting an auxiliary way of bone density measurement through the attenuation of electromagnetic waves. In order to do so, an arrangement of two microstrip antennas with rectangular configuration has been used, operating in a frequency of 2,49 GHz, and fed by a microstrip line on a substrate of fiberglass with permissiveness of 4.4 and height of 0,9 cm. Simulations were done with silica, bone meal, silica and gypsum blocks samples to prove the variation on the attenuation level of different combinations. Because of their good reproduction of the human beings' anomaly aspects, samples of bovine bone were used. They were subjected to weighing, measurement and microwave radiation. The samples had their masses altered after mischaracterization and the process was repeated. The obtained data were inserted in a neural network and its training was proceeded with the best results gathered by correct classification on 100% of the samples. It comes to the conclusion that through only one non-ionizing wave in the 2,49 GHz zone it is possible to evaluate the attenuation level in the bone tissue, and that with the appliance of neural network fed with obtained characteristics in the experiment it is possible to classify a sample as having low or high bone density.

KEYWORDS: Osteoporosis. Neural networks. Antenna. Bone density.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – (A) Substância esponjosa norma (B) Sustância esponjosa na osteoporose..... 14

Figura 2 – Organização interna de ossos típicos 16

Figura 3 – Substância compacta e esponjosa 17

Figura 4 – Células ósseas 18

Figura 5 – Células ósseas 20

Figura 6 – Anatomia de um osso típico..... 22

Figura 7 – Antena como dispositivo de guiamento 27

Figura 8 – Antena de plaqueta (*patch*) de microfita retangular..... 28

Figura 9 – Antena de microfita retangular..... 29

Figura 10 – Formas típicas de alimentação de antenas de microfita 30

Figura 11 – Plaqueta retangular de microfita e seu circuito equivalente no modelo de linha de transmissão 31

Figura 12 – Modelo básico de um neurônio artificial 32

Figura 13 – Exemplo de arquitetura de rede *feedforward* de camada única 35

Figura 14 – Exemplo de arquitetura de rede *feedforward* de camada múltipla..... 36

Figura 15 – Arquitetura de rede recorrente 37

Figura 16 – Arquitetura de rede com estrutura reticulada 37

Figura 17 – Hiperplano ótimo para padrões separáveis 40

Figura 18 – Gipsita 41

Figura 19 – Modelo de antena projetada 43

Figura 20 – Perda de retorno – antena projetada no HFSS 44

Figura 21 – Antenas confeccionadas em laboratório 45

Figura 22 – Arranjo de antenas usado no experimento e Analisador de frequência Agilent – E507C ENA 45

Figura 23 – Amostras de pó de osso e sílica 46

Figura 24 – Amostras de blocos de gesso e sílica 46

Figura 25 – Recortador de gesso prótese 47

Figura 26 – Amostras de osso bovino utilizadas no experimento 48

Figura 27 – Resultados de parâmetros para máquina linear de classe única 51

Figura 28 – Resultados de parâmetros máquina linear de duas classes 53

Figura 29 – Resultados de parâmetros máquina RBF de duas classes 53

Figura 30 – Resultados de parâmetros ideais 54

Figura 31 – Comparativo entre métodos de *Kernel* RBF e Lineares 56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Fatores de risco para osteoporose 26

Quadro 2 – Aspectos comparativos entre neurônio artificial e biológico 34

Quadro 3 – Dimensões da antena projetada 43

Quadro 4 – Amostras de pó de osso e sílica 46

Quadro 5 – Blocos de gesso e sílica 47

Quadro 6 – Massas de ossos originais e alteradas 48

Quadro 7 – Atenuação média dos ossos 49

Quadro 8 – Ossos utilizados para treinamento da SVM 55

Quadro 9 – Nível de atenuação dos ossos 55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADA	American Dental Association
BMD	Baixa Massa Mineral Óssea
CCS	Centro de Ciências da Saúde
DEXA	Dual Energy X-ray Absorptiometry
DMO	Densidade Mineral Óssea
ENA	Expands Network Analysis
HFSS	High Frequency Structural Simulator
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
KNN	K-nearest Neighbors Algorithm
MS	Ministério da Saúde
OMS	Organização Mundial de Saúde
QUS	Ultrassonografia Quantitativa
RBF	Radia Basis Function
RNA	Redes Neurais Artificiais
SVM	Máquina Vetor de Suporte
TQC	Tomografia Quantitativa Computadorizada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13
1.1 Osteoporose no Brasil e no mundo 13
1.2 Osteoporose 13
1.3 Diagnóstico 14
1.4 Proposta de Trabalho 15

2 SISTEMA ESQUELÉTICO 16
2.1 Tecido Ósseo 17
2.2 Periósteo e Endósteo 19
2.3 Substância Densa do Osso 20
2.4 Substância Trabecular 21
2.5 Anatomia de um Osso Típico 21
2.6 Ossificação 23
2.7 Elementos do Esqueleto Humano 24
2.8 Envelhecimento do Sistema Esquelético 24
2.9 Osteoporose 24
2.10 Avaliação Clínica 25
2.11 Exames Subsidiários 26

3 TEORIA DE ANTENAS 27
3.1 Definição de antena 27
3.2 Antenas de microfita 27
3.2.1 Características 27
3.2.2 Métodos de Alimentação 29
3.3 Métodos de Análise 30

4 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS 32
4.1 Definição 32
4.2 Características Principais 33
4.3 Áreas de aplicações 33
4.4 Neurônios artificiais 33
4.5 Desempenho 34
4.6 Arquiteturas de RNA 35
4.6.1 Tipos de Arquiteturas de RNA 35
4.7 Processo de Treinamento 38

4.8 Máquina Vetor de Suporte 39

5 GESSO PEDRA 41
5.1 Gipsita 41
5.2 Gesso Pedra 42
5.3 Presa 42

6 METODOLOGIA E RESULTADOS 43
6.1 Confecção de antenas 43
6.2 Simulações 45
6.3 Experimento 48
6.3.1 *Kernel* linear de classe única 50
6.3.2 *Kernel* linear de duas classes 51
6.3.3 *Kernel* RBF de duas classes 53

7 CONCLUSÕES 55
REFERÊNCIAS 57
Anexo A – Conteúdo do arquivo "bonetrain" para kernel RBF de
Anexo B – Conteúdo do arquivo "bonetrain.one" para kernel linear de classe única
Anexo C – Conteúdo do arquivo "bonetrain.model" para kernel linear de duas classes
Anexo C – Conteúdo do arquivo "bonetrain.scale"

1 INTRODUÇÃO

1.1 Osteoporose no Brasil e no mundo

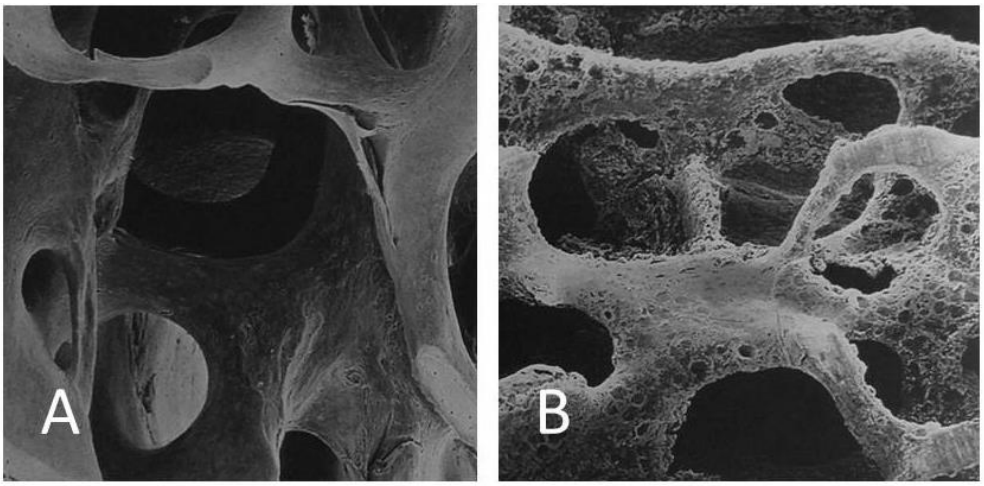
Anualmente ocorrem no mundo inteiro 8,9 milhões de fraturas resultantes da osteoporose, isto significa que, a cada três segundos uma pessoa sofre fratura osteoporótica. Estima-se que em 2050 o número de fraturas de quadril em homens e mulheres com idades entre 50-64 anos na América Latina aumentará em 400%, no Brasil dez milhões de pessoas, cerca de uma pessoa em cada dezessete, tem osteoporose (ZABAGLIA, 2001). A prevalência de fraturas foi encontrada em 37,5% entre os homens e 21% entre as mulheres e os gastos gerados por causa estas fraturas para empresas de planos de saúde privados é estimado em torno de seis milhões de dólares por ano (ARAÚJO, 2005).

Considerada pela Organização Mundial de Saúde – OMS, como a epidemia silenciosa do século, ocasionando grandes impactos econômicos e sociais, ela se tornou mais comum do que o colesterol alto, alergias e resfriado comum. Em geral é silenciosa e não há sintomas de perda óssea até a ocorrência de fraturas.

1.2 Osteoporose

A osteoporose é uma doença osteometabólica caracterizada por baixa densidade óssea e deterioração da microarquitetura do tecido ósseo (Figura 1), causando um aumento da fragilidade óssea e, consequentemente levando ao maior risco de fraturas. Ocorre quando a massa óssea diminui mais rapidamente do que a capacidade do corpo de substituí-la, gerando a perda substancial da força do osso (HENDERSON, 2000). Ela afeta todos os ossos do corpo e não apresenta sinais ou sintomas até que uma fratura aconteça.

Figura 1 - (A) Substância esponjosa normal. (B) substância esponjosa na osteoporose



Fonte: MARTINI; TIMMONS; TALLITSCH (2009; p.126)

1.3 Diagnóstico

Há uma tendência de que o diagnóstico da osteoporose seja feito com base num certo nível de redução de massa óssea e não com base na presença de fraturas. A baixa Densidade Mineral Óssea (DMO) é o fator de risco mais importante para o teste de Baixa Massa Óssea (BMD), (Nacional Osteoporosis Foundation, 2010). A BMD é valiosa como previsor de fraturas assim como o colesterol alto ou pressão arterial elevada são previsores de infarto do miocárdio e acidente vascular cerebral respectivamente (OMS, 1994).

O teste de DMO é o único exame que pode diagnosticar a osteoporose antes da ocorrência de um osso quebrado. Este teste ajuda a estimar a densidade do osso e sua chance de quebra. Dentre as técnicas disponíveis para determinação da DMO, tem-se a Dual Energy X-ray Absorptiometry (DEXA), a Tomografia Quantitativa Computadorizada (TQC) e a Ultrassonografia Quantitativa (QUS). As duas primeiras recorrem a feixes de raios X com diferentes níveis de energia e a terceira utiliza a velocidade e atenuação do som para medidas de DMO. Na primeira descrição, tem-se a presença de radiação ionizante que pode alterar ou destruir células do corpo humano (KING, 1998) . Já a segunda, embora não exista a presença irradiação, há variabilidade entre os aparelhos utilizados, tendo-se assim variações nas medidas obtidas, sem a aplicação de critérios de diagnósticos clássicos empregados pela densitometria (PACIFIC; RUPICH; GRIFFIN; CHINES; SUSMAN; AVIOLI, 1990).

O diagnóstico da osteoporose tem sido uma das grandes preocupações no Brasil. Em 2007 foi criado o Comitê Assessor para Políticas de Prevenção, Diagnóstico e Tratamento

da Osteoporose e Quedas em Pessoas idosas, instituído pela portaria 3.213, de 20 de dezembro de 2007, com o objetivo de apoiar as políticas do Ministério da Saúde (MS) voltadas para população idosa no que diz respeito à osteoporose e ao evento de quedas. Compete a este propor estratégias para o enfrentamento das situações encontradas e dar apoio aos Estados e Municípios nas temáticas em foco. Dentre as diretrizes pode-se citar a Campanha de Prevenção da osteoporose, com o objetivo de reduzir o número de internações de pessoas idosas por fratura de fêmur.

Em razão da dimensão geográfica do Brasil – mais de 5.500 municípios (IBGE, 2013) e a inviabilidade econômico-financeira existente, deve-se buscar possibilidades de promover o auxílio no diagnóstico da osteoporose através da implementação de equipamentos com baixo custo de desenvolvimento e fácil manuseio, o que promoverá acessibilidade a um número maior de toda população brasileira. Reduzindo assim os gastos com internações por fraturas e direcionando as ações para prevenção da osteoporose.

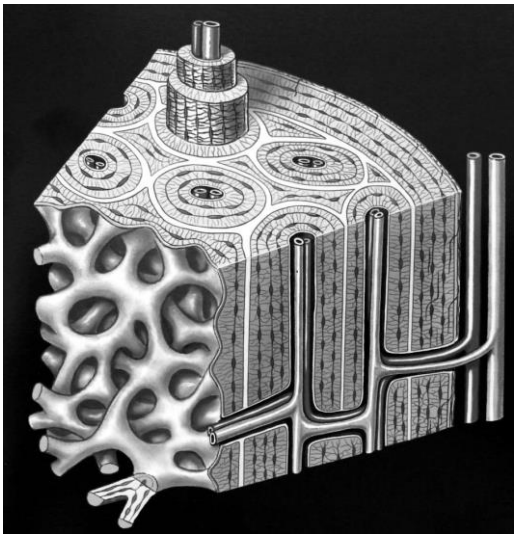
1.4 Proposta de Trabalho

Este trabalho tem como proposta apresentar uma forma auxiliar no diagnóstico da osteoporose com baixo custo e não invasiva ao corpo humano. Por meio do cálculo da atenuação de ondas eletromagnéticas e utilização de Redes Neurais Artificiais para determinação da DMO (Densidade Mineral Óssea).

2 SISTEMA ESQUELÉTICO

O sistema esquelético possui diferentes tipos de ossos, além de cartilagens, ligamentos e outros tecidos conectivos que os estabilizam ou interligam. Os ossos (Figura 2) são mais do que simples estruturas rígidas que sustentam o peso do corpo e trabalham com os músculos para produzir movimentos controlados. Se não existisse a estrutura de sustentação dos ossos, os músculos seriam mais curtos e espessos. Os músculos operam em conjunto com o sistema esquelético para fazer-nos sentar, levantar, correr andar. Além disto, o esqueleto têm outras funções vitais como armazenamento de minerais, produção de células sanguíneas, sustentação e proteção.

Figura 2 - Organização interna de ossos típicos



Fonte: MARTINI; TIMMONS; TALLITSCH (2009; p.111)

Os sais de cálcio do osso representam uma valiosa reserva de mineral que mantém a concentração de íons de cálcio e fosfato nos líquidos corporais. O cálcio é o mineral mais abundante no corpo humano. Dos aproximadamente 2kg de cálcio típicos do corpo humano, cerca de 98% estão depositados nos ossos. Em se tratando de produção sanguínea, os glóbulos vermelhos, glóbulos brancos e plaquetas são produzidos na medula óssea vermelha, que preenche as cavidades internas de muitos ossos. Como proteção os tecidos e órgãos mais sensíveis do corpo, geralmente são protegidos por elementos do esqueleto. As costelas protegem o coração e os pulmões, o crânio contém o encéfalo, as vértebras servem como anteparo para a medula espinal. Como sustentação o sistema esquelético proporciona um arcabouço estrutural para todo o corpo. Ossos isolados ou grupos de ossos fornecem uma

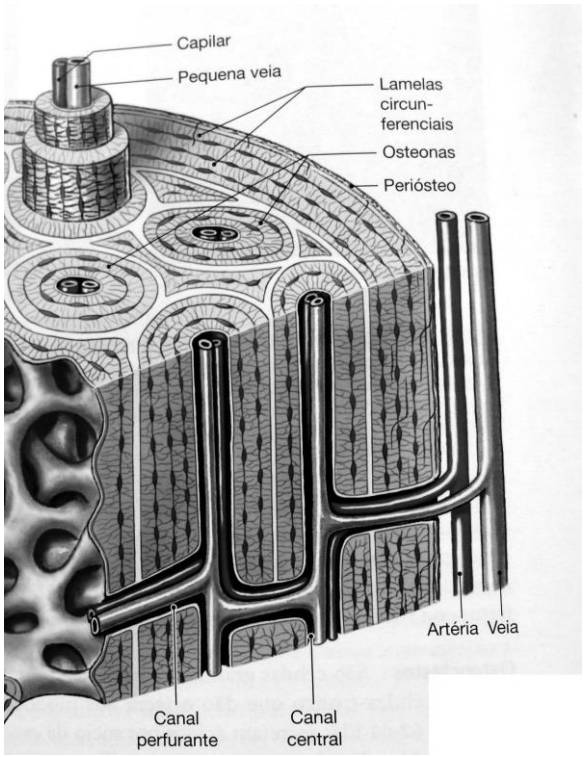
estrutura de sustentação para tecidos moles e órgãos (MARTINI; TIMMONS; TALLITSCH, 2009).

Os ossos do sistema esquelético são órgãos dinâmicos e complexos, que contém tecido ósseo, tecidos conectivos, tecido muscular liso e tecido nervoso.

2.1 Tecido Ósseo

O tecido ósseo, ou osso, é um dos tecidos conectivos de sustentação; ele contém células especializadas e uma matriz extracelular composta de fibras proteicas e substância fundamental. A matriz do tecido ósseo é sólida e resistente devido à deposição de sais de cálcio ao redor das fibras de proteína. O tecido ósseo geralmente é separado dos tecidos contíguos por um periósteo (membrana) (Figura 3) de consistência fibrosa. Quando o osso circunda outro tecido, sua superfície interna é revestida por um endósteo de característica celular.

Figura 3 - Substância compacta e esponjosa



Fonte: MARTINI; TIMMONS; TALLITSCH (2009; p.114)

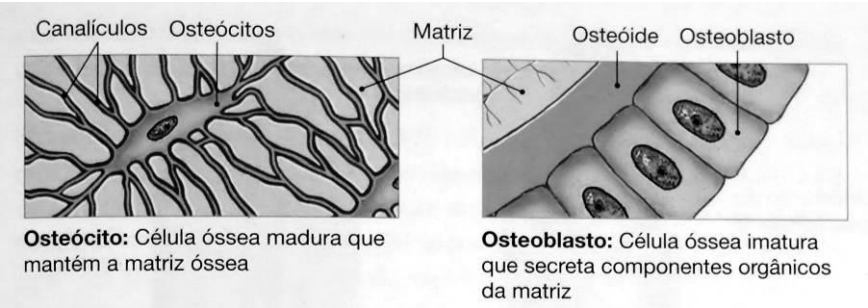
O fosfato de cálcio, $Ca_3(PO_4)_2$, é responsável por aproximadamente dois terços do peso do osso. O fosfato de cálcio interage com o hidróxido de cálcio [$CA(OH)_2$] para formar

cristais de hidroxiapatita $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$. Conforme se formam, esses cristais incorporam outros sais de cálcio, como o carbonato de cálcio, e íons, como sódio, magnésio e flúor. Estes componentes conferem ao osso a capacidade de suportar compressão. Os osteócitos e outros tipos de células respondem por 2% da massa de um osso típico, um terço do peso do osso corresponde a fibras colágenas que conferem resistência à tração (MARTINI; TIMMONS; TALLITSCH, 2009).

O osso contém uma população de diferentes células, incluindo células osteoprogenitoras, osteoblastos, osteócitos e osteoclastos (Figura 4).

As células ósseas maduras são identificadas como osteócitos. Estas mantém e monitoram o conteúdo de proteínas e minerais da matriz circundante. Os minerais da matriz são constantemente reciclados. Cada osteócito comanda tanto a liberação do cálcio do osso para o sangue quanto a deposição dos sais de cálcio na matriz circundante. Os osteócitos ocupam pequenas câmaras, denominadas lacunas, limitadas por duas camadas de matriz óssea calcificada. Essas camadas de matriz são conhecidas como lamelas. Canais denominados canalículos irradiam-se através da matriz de uma lacuna a outra e em direção às superfícies livres e a vasos sanguíneos adjacentes. Os canalículos, que contém finos processos citoplasmáticos e substância fundamental, interligam os osteócitos situados em lacunas adjacentes. Junções oclusivas ligam esses processos e oferecem uma via para difusão de nutrientes e produtos residuais de um osteócito para outro através de junções comunicantes.

Figura 4 - Células ósseas



Fonte: MARTINI; TIMMONS; TALLITSCH (2009; p.113)

Célula de formato cuboide encontradas nas superfícies interna ou externa do osso são denominadas osteoblastos. Essas células secretam os componentes orgânicos da matriz. Este material, denominado osteóide, posteriormente torna-se mineralizado por um mecanismo ainda não conhecido. Os osteoblastos são responsáveis pela produção de novo osso, um

processo denominado osteogênese. Embora o estímulo exato seja desconhecido, acredita-se que os osteoblastos possam responder a estímulos hormonais ou mecânicos para iniciar a osteogênese.

O tecido ósseo contém um pequeno número de células osteoprogenitoras (Figura 5), estas se diferenciam a partir do mesênquima e são encontradas nas camadas mais profundas do periósteo e no endósteo que reveste as cavidades medulares. As células osteoprogenitoras podem dividir-se para produzir células-filhas que se diferenciam em osteoblastos. A capacidade de produzir osteoblastos adicionais adquire grande importância após uma fratura que consiste num processo de reparação.

Há ainda no tecido ósseo a presença de células grandes e multinucleadas, derivadas das células-tronco que dão origem aos monócitos e neutrófilos. Elas secretam ácidos que dissolvem a matriz óssea e liberam aminoácidos (cálcio e fosfato armazenado). É por meio deste processo que ocorre o aumento de íons cálcio e fosfato nos líquidos corporais. Os osteoclastos (Figura 5) tem atividade constante em remover matriz e liberar minerais, já os osteoblastos estão sempre produzindo matriz que rapidamente agrega esses minerais. O equilíbrio entre as atividades dos osteoblastos e dos osteoclastos é muito importante, quando os osteoclastos removem sais de cálcio mais rapidamente que os osteoblastos os depositam, os ossos ficam fracos. Quando os osteoblastos predominam em sua atividade, os ossos ficam mais fortes (MARTINI; TIMMONS; TALLITSCH, 2009).

2.2 Periósteo e Endósteo

Periósteo é uma camada externa de tecido conectivo fibroso denso e uma camada celular interna contendo células osteoprogenitoras (Figura 5). A camada externa do osso é geralmente recoberta pelo periósteo. Ele tem por função isolar e proteger o osso dos tecidos adjacentes, fornecer uma via e um local de união para o suprimento circulatório e nervoso, temo como função importante participar no crescimento e reparação do tecido ósseo.

Próximo às articulações, o periósteo se torna contínuo com a rede de tecido conectivo que as envolve e ajuda a estabilizá-las. Em uma articulação preenchida por sinóvia, o periósteo é contínuo com a cápsula articular que envolve o complexo articular. As fibras do periósteo estão também entrelaçadas com as fibras dos tendões fixos aos ossos. No crescimento ósseo, essas fibras do tendão são incorporadas no interior de lamelas superficiais pelos osteoblastos da camada celular do periósteo. As fibras colágenas incorporadas ao tecido

ósseo a partir dos tendões e do periósteo superficial são denominadas fibras perfurantes. Este processo de incorporação faz das fibras do tendão parte da estrutura geral do osso, garantindo uma ligação muito mais forte do que aquela possível de outros modos. Uma tração extremamente forte em um tendão em geral deverá quebrar o osso em vez de arrancar as fibras colágenas da superfície deste.

Figura 5 - Células ósseas

Fonte: MARTINI; TIMMONS; TALLITSCH (2009; p.113)

Na parte interior do osso, um endósteo celular reveste a cavidade medular. Esta camada, cobre as trabéculas de substância esponjosa e reveste as superfícies internas dos canais centrais e dos canais perfurantes. O endósteo está em atividade durante o crescimento e sempre que reparação e remodelamento ósseos estiverem ocorrendo. O endósteo geralmente tem espessura unicelular e é uma camada incompleta expondo ocasionalmente a matriz óssea.

2.3 Substância Densa Do Osso

No tecido ósseo existem dois tipos de substâncias: a densa (compacta) e a trabecular (esponjosa). A densa é sólida, forma as paredes do osso, enquanto que a trabecular a camada interna circundando a cavidade medular composta de medula óssea, um tecido conectivo frouxo que pode ter predomínio de adipócitos (medula óssea amarela) ou uma mistura de células sanguíneas vermelhas ou brancas, em diferentes níveis de maturação e das células-tronco que as produzem (MARTINI; TIMMONS; TALLITSCH, 2009).

A substância compacta ou densa, é composta de uma unidade funcional básica madura chamada de osteona cilíndrica. No interior de uma osteona, os osteócitos se dispõem em camadas concêntricas ao redor de um canal central, que contém os vasos sanguíneos que suprem a osteona. Os canais centrais fazem geralmente trajeto paralelo à superfície do osso. Existem outras vias chamadas de canais perfurantes, que se estendem de maneira

aproximadamente perpendicular à superfície do osso, os vasos presentes nestes canais conduzem sangue para as osteonas, mais profundas no osso, e servem o interior da cavidade medular. As lamelas de cada osteona são cilíndricas e alinhadas paralelamente ao eixo longo do osso, elas formam uma série de anéis concêntricos ao redor no canal central. Os canalículos interligam as lacunas e um osteona e formam uma rede de ramificações que atinge o canal central. As lamelas tanto podem ser produzidas durante o crescimento do osso, quanto remanescentes de osteonas cujos componentes da matriz tenham sido reciclados por osteoclastos durante a reparação ou remodelamento do osso.

2.4 Substância Trabecular

O arranjo em traves de sustentação paralelas ou placas ramificadas espessas, compõem a substância trabecular (esponjosa). Nesta são encontrados numerosos espaços de interconexão entre as trabéculas. A substância trabecular possui lamelas e presença de osteonas formando uma estrutura aberta de sustentação, em resultado disto ela é muito mais leve do que a compacta. A presença de substância esponjosa proporciona uma resistência considerável bem como redução do peso do esqueleto facilitando a movimentação dos ossos pelos músculos. A substância esponjosa do osso é encontrada em ossos que não estão sujeitos a força de grande intensidade ou em ossos sujeitos a forças tensoras.

2.5 Anatomia De Um Osso Típico

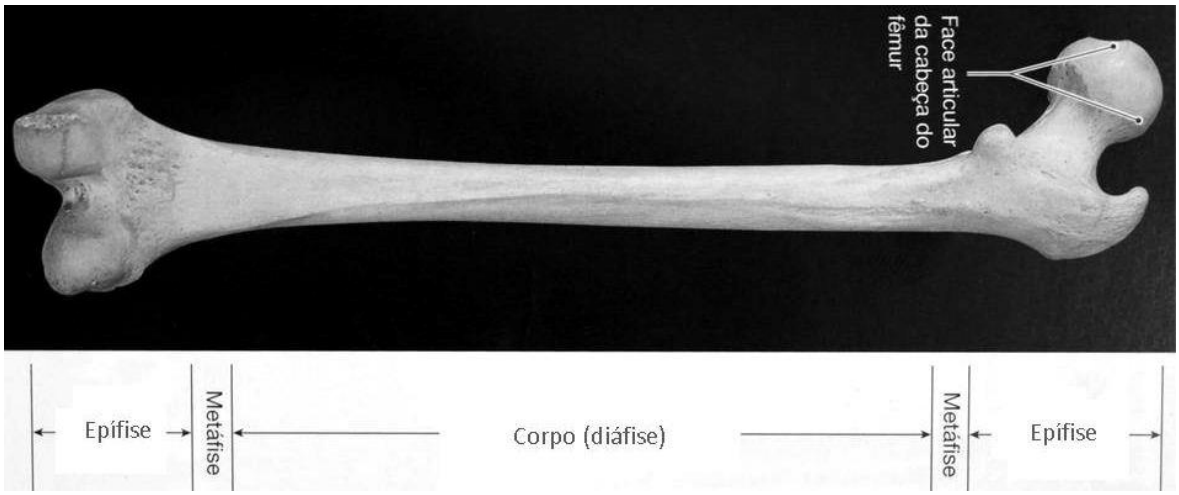
Uma camada de substância compacta recobre as superfícies dos ossos; a espessura dessa camada varia de região para região do osso e entre ossos diferentes. Essa camada superficial de substância compacta é recoberta pelo periósteo, um envoltório de tecido conectivo intimamente relacionado à fáscia (camada, faixa de tecido fibroso) profunda. O periósteo é completo em todos os locais, exceto no interior de uma articulação. Em algumas articulações, dois ossos são interconectados por fibras colágenas ou por um bloco de cartilagem.

A substância compacta é mais espessa nas regiões onde as forças tensoras atuam em uma gama limitada de direções. Tomando-se por base a anatomia geral do fêmur (Figura 6), o osso proximal do membro interior, a substância cortical, compacta envolve uma cavidade conhecida como cavidade medular (parte mais interna). O osso tem duas extremidades, ou epífises, separadas por uma diáfise tubular ou corpo. A diáfise está ligada à

epífise em uma região estreita conhecida como metáfise. A diáfise de substância compacta normalmente transmite forças aplicadas de uma epífise à outra. As osteonas no interior da diáfise são paralelas ao seu maior eixo, em virtude disto o fêmur é muito resistente à tração ao longo desse eixo. Um osso longo é bastante resistente a forças aplicadas em suas extremidades e ao longo do seu eixo longitudinal, porém um impacto lateral pode facilmente causar uma fratura.

> A substância esponjosa não é tão maciça quanto a substância compacta, mas é muito resistente a tensões aplicadas em várias e diferentes direções. As epífises do fêmur são preenchidas por substância esponjosa, as trabéculas são orientadas ao longo das linhas de força, mas com muitos intercruzamentos. Na epífise proximal, as trabéculas transmitem forças a partir do quadril para diáfise do fêmur através da metáfise; na epífise distal, as trabéculas direcionam as forças para a perna através da articulação do joelho. Além de amenizar o peso e direcionar a tensão de várias direções, a estrutura trabecular aberta garante proteção e sustentação para as células da medula óssea. A medula óssea amarela, frequentemente encontrada na cavidade medular da diáfise, é uma reserva importante de energia. Amplas áreas de medula óssea vermelha, como as encontradas na substância esponjosa das epífises femorais, sã importantes locais de formação de células sanguíneas. (MARTINI; TIMMONS; TALLITSCH, 2009, p. 116)

Figura 6 - Anatomia de um osso típico



Fonte: MARTINI (2009; p.97)

2.6 Ossificação

Durante o desenvolvimento embrionário, a cartilagem é substituída por osso. Este processo de substituição de outros tecidos por tecido ósseo é chamado de ossificação. O processo de calcificação se refere à deposição de sais de cálcio no interior dos tecidos. A calcificação pode ocorrer me qualquer tecido, mas apenas a ossificação resulta na formação

de osso. Existem dois tipos de ossificação; a intramembranácea e a endocondral. Na primeira, o osso se desenvolve a partir do tecido conectivo fibroso, na segunda, o osso substitui um modelo cartilagíneo existente. Os ossos dos membros e outros que suportam peso, desenvolvem-se pelo processo endocondral, os ossos do crânio, clavículas e mandíbulas pela intramembranácea.

A ossificação intramembranácea, tem início quando células mesenquimais se diferenciam em osteoblastos no interior do tecido embrionário ou do tecido conectivo fibroso. Este processo ocorre nas camadas mais profundas da derme, e os ossos que dele resultam são chamados de ossos membranosos. O osso membranosos também podem se desenvolver em outros tecidos conectivos quando submetidos cronicamente a esforços mecânicos.

A ossificação intramembranácea começa aproximadamente na oitava semana do desenvolvimento embrionário.

A ossificação endocondral começa com a formação de um modelo de cartilagem hialina. O desenvolvimento dos ossos dos membros é um bom exemplo deste processo. Por volta da sexta semana de desenvolvimento do embrião, tanto o úmero quanto o fêmur estão formados e estão constituídos de cartilagem. Com a expansão da matriz cartilagínea o modelo continua crescendo.

O osso é muito vascularizado, os ossos do esqueleto recebem amplo suprimento sanguíneo. Em um osso típico quatro grupos vasculares principais se desenvolvem. Vasos periosteais, vasos epifisiais, vasos metafisiais, artéria e veia nutrícias. Esses vasos são responsáveis pelo suprimento sanguíneo das osteonas superficiais da diáfise. Na formação de osso endocondral, ramos dos vasos periosteais penetram as epífises e realizam o suprimento sanguíneo dos centros de ossificação secundários. O periósteo também contém uma grande rede de vasos linfáticos, e muitos destes apresentam ramificações que penetram no osso e atingem osteonas individuais através de numerosos canais perfurantes. Após o fechamento das epífises, os três grupos de vasos sanguíneos desenvolvem intensa intercomunicação.

2.7 Elementos do Esqueleto Humano

O esqueleto humano contém 206 ossos principais. Os longos, que são alongados e delgados. Apresentam uma diáfise, duas epífises, duas metáfises e uma cavidade medular. Os planos, possuem superfície delgada e paralela de substância compacta. Os irregulares apresentam morfologia complexa com superfícies planas, entalhadas, curtas ou sulcadas. Os

pneumáticos são ocos ou possuem numerosas cavidades de ar. Por fim, os sesamóides, que são pequenos arredondados e planos.

2.8 Envelhecimento do Sistema Esquelético

Como parte do processo normal de envelhecimento os ossos do esqueleto tornam-se mais finos e relativamente enfraquecidos. A ossificação inadequada é chamada de osteopenia. Esta redução da massa óssea ocorre entre os 30 e 40 anos. Com o passar deste período, a atividade osteoblástica começa a reduzir, todavia a atividade osteoclástica permanece nos níveis anteriores. Uma vez que a redução da atividade osteoblástica começa, as mulheres perdem cerca de 8% de sua massa óssea a cada década; em homens, o esqueleto deteriora-se mais lentamente, com porcentagens próximas de 3% a cada década. As partes do esqueleto não são afetadas da mesma forma. As epífises, as vértebras, a maxila e a mandíbula apresentam maiores perdas, Uma porcentagem significativa de mulheres idosas e uma menor proporção de homens idosos sofrem de osteoporose. Esta alteração é caracterizada pela redução da massa óssea e por modificações na microarquitetura do osso (Figura 1.2), e comprometem a função normal e aumentam o risco de fraturas.

2.9 Osteoporose

Osteoporose é uma doença osteometabólica caracterizada por baixa densidade óssea e deterioração da microarquitetura do tecido ósseo, levando a um aumento da fragilidade óssea, ou seja, a maior risco de fraturas após mínimos traumas (SZEJNFELD, 2008). O osso é formado predominantemente pela proteína colágena do tipo I, onde se encontram cálcio e fósforo na forma de cristais de hidroxiapatita. A resistência óssea depende da deposição mineral. O tecido ósseo está em constante renovação, sendo removido o velho e depositado o osso novo, este processo é conhecido como remodelação óssea. Na osteoporose, a quantidade de osso removido é superior ao formado, ocasionando a perda óssea e causando a menor resistência do mesmo.

A osteoporose é conhecida como sendo uma doença silenciosa, pelo fato de não apresentar sintomas e ser geralmente detectada com a ocorrência de fraturas, quando já causou perda de 30 a 40% da massa óssea. Tais fraturas ocorrem frequentemente nas vértebras, terço distal do rádio, fêmur, úmero e pequenos ossos periféricos. O resultado são dores agudas, deformidades esqueléticas como, acentuação da cifose dorsal, acentuação da

lordose cervical e retificação da lordose lombar. Essas ocorrências, facilitam o surgimento de infecções das vias aéreas superiores e quadros de obstipação intestinal crônica.

Com base, pode-se concluir que a osteoporose não tratada ou diagnostica precocemente, pode se tornar uma doença extremamente, dolorosa, desfigurante, incapacitante, com grande repercussão na qualidade de vida da população afetada. Algumas dessas fraturas podem causar até mesmo a morte do paciente. De acordo com Vera Lúcia Szejnfeld, 12% morrem após 3 meses e 50% morrem após 1 ano e, dentre os que se recuperam, 50% tornam-se dependentes de seus familiares.

De suma importância é o diagnóstico precoce da perda de massa óssea, podendo ser por avaliação clínica e exames subsidiários.

2.10 Avaliação Clínica

A avaliação clínica pode ser realizada por meio da pesquisa de fatores de risco, que são divididos em modificáveis e não modificáveis. Dentre os modificáveis temos; sexo, Pelo fato de terem ossos mais finos e mais leves, as mulheres tem mais osteoporose que homens. Por também viverem mais que os homens estão mais anos expostas ao risco da osteoporose. Idade, quanto maior o tempo de vida do indivíduo, maior o risco de desenvolver osteoporose. Histórico familiar, a hereditariedade pode ser fator determinante para ocorrência de osteoporose. Estudos com genes permitem identificar precocemente indivíduos com maior risco de osteoporose. Tamanho do osso, indivíduos pequenos, com ossos finos, são de maior risco que indivíduos maiores, com ossos mais largos. Por fim, etnias brancos e orientais têm maior risco de desenvolver osteoporose que negros. A incidência de fraturas em mulheres brancas é o dobro das que ocorrem em mulheres negras.

Quadro 1 – Fatores de risco para osteoporose

Não-modificáveis	Modificáveis	Outras condições
Sexo	Níveis hormonais	Medicamentos
Idade	Dieta	Doenças osteopenizantes
História familiar	Atividade física	
Tamanho dos ossos	Álcool	
Etnia	Tabagismo	

Fonte: Chauí (2001)

Considerando os fatores de risco modificáveis, temos os níveis hormonais, a menopausa precoce, aumenta a chance de a mulher desenvolver osteoporose durante a vida.

Nos homens, a testosterona protege contra a perda óssea. A anorexia nervosa, tanto em homens como mulheres, afeta a saúde do esqueleto. Outro fator de risco modificável é a dieta, ingestão inadequada de cálcio e vitamina D no organismo é ruim para o tecido ósseo. O consumo excessivo de sódio também é ruim para os ossos, pois aumenta a excreção renal de cálcio. O sedentarismo prolongado também é um fator de risco modificável, bem como o fumo e o álcool.

2.11 Exames subsidiários

Em presença de história de fratura após mínimo trauma, o estudo radiológico da região acometida permite confirmar o diagnóstico de osteoporose. O advento das novas técnicas de quantificação da massa óssea tornou possível identificar pacientes com maior risco de desenvolver fraturas, bem como a monitoração da massa óssea (SZEJNFELD, 2008).

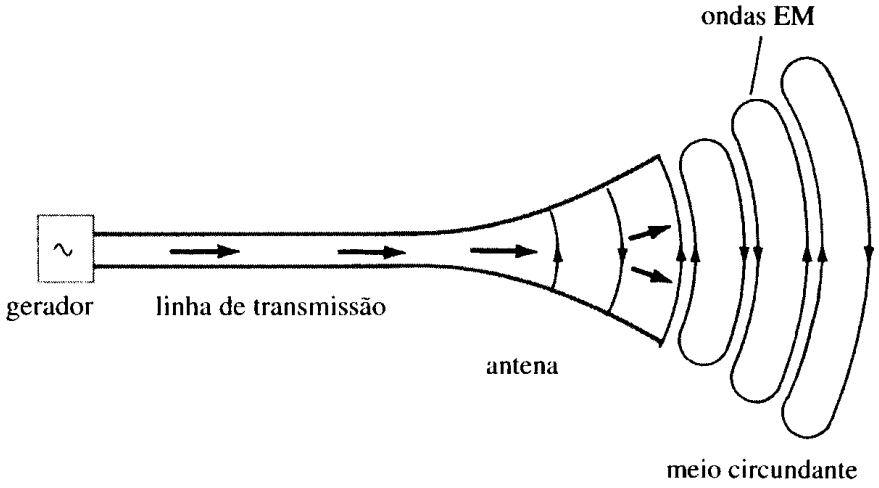
Conforme adoção da Organização Mundial de Saúde, o diagnóstico da osteoporose baseia-se na determinação dos valores da Densidade Mineral Óssea (DMO), que consiste na medição da quantidade de mineral existente numa determinada área do osso. Pessoas com risco de desenvolver osteoporose devem realizar a medição da DMO. Dentre as técnicas disponíveis para determinação da DMO temos: tomografia quantitativa computadorizada (TQC); ultrassonografia quantitativa (USQ) e absorciometria de raios-x de dupla energia (DEXA), esta última como técnica preferida devido à sua ampla disponibilidade, precisão e exatidão, podendo ser aplicada numa grande diversidade de localizações. No entanto, as ondas emitidas pela radiação X, são altamente energéticas e interagem com a matéria, causando ionização; removendo elétrons de átomos, tornando-os instáveis; produzindo alterações celulares no organismo irradiado (PANELLA, 2006).

3 TEORIA DE ANTENAS

3.1 Definição de antena

Uma antena é a estrutura intermediária entre o espaço livre e o dispositivo de guiamento. O dispositivo de guiamento (Figura 7), ou linha de transmissão, pode ter a forma de um cabo coaxial ou um tubo oco (guia de onda), sendo usado para transportar a energia eletromagnética da fonte de transmissão à antena receptora (BALANIS, 2009). A antena usa ou a corrente e a tensão de uma linha de transmissão, ou campos eletromagnéticos de um guia de onda para emitir uma onda eletromagnética no meio. Ela pode ser usada tanto transmitir como para receber energia eletromagnética.

Figura 7 - A antena como dispositivo de guiamento



Fonte: SADIKU (2004; p.527)

3.2 Antenas de microfita

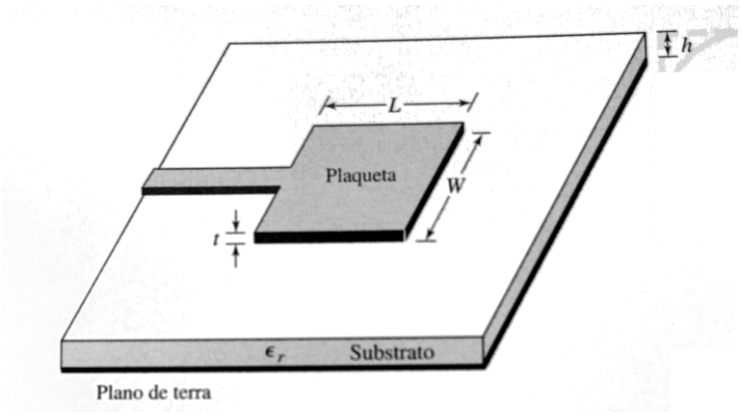
3.2.1 Características

Idealizada por Deschamps em 1953, as antenas de microfita tornaram-se populares devido à facilidade de construção e ao baixo custo de fabricação, utilizando técnicas modernas de circuito impresso. Amplamente empregadas em aplicações comerciais e governamentais, uma antena patch em microfita consiste basicamente de duas placas condutoras, paralelas, separadas por um substrato dielétrico, sendo uma das placas o elemento irradiante (patch) e a outra o plano de terra. Diferentes materiais podem ser utilizados como substrato na construção, os mais adequados para bons resultados de desempenho são espessos e têm constante dielétrica de valor baixo, pois estes possuem maior eficiência, maior largura de banda e campos mais desprendidos, permitindo uma boa radiação no espaço. As plaquetas podem ter diversas configurações, sendo as mais empregadas as circulares e retangulares

(Figura 9). Isto pelo fato de serem facilmente fabricadas e possuírem características de radiação atraentes (BALANIS, 2009).

Os maiores atrativos das antenas de microfita são a maleabilidade, alto grau de miniaturização, alto desempenho e grande versatilidade. Essas características foram responsáveis pela alta usabilidade dessas antenas na área de comunicação móvel, na indústria aeroespacial, em sistemas embarcados e em aplicações militares.

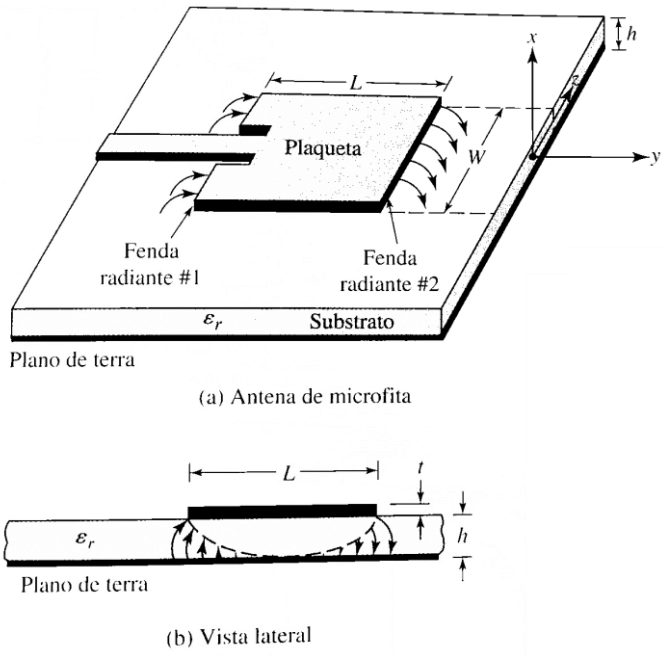
Figura 8 - Antena de plaqueta (*patch*) de microfita retangular



Fonte: BALANIS (2009; p.4)

Este tipo de antena possui baixo custo na fabricação, capacidade ser moldável, simplicidade na fabricação, versatilidade considerando frequência de ressonância.

Figura 9 - Antena de microfita retangular



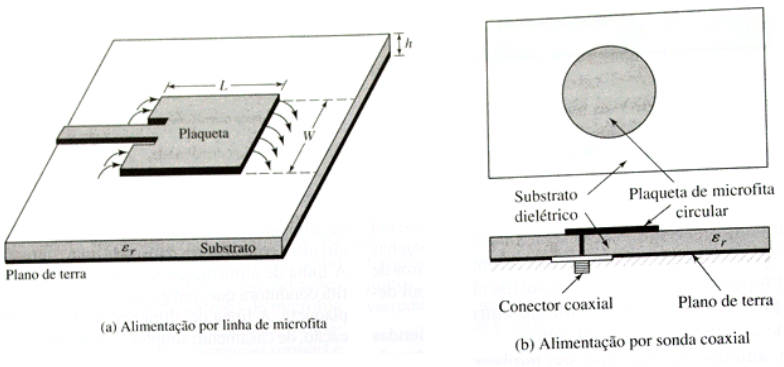
Fonte: BALANIS (2009; p.147)

3.2.2 Métodos de Alimentação

A alimentação de antenas de microfita dar-se geralmente por linha de microfita, sanda coaxial, acoplamento por abertura e acoplamento por proximidade. Fazendo parte da alimentação tem-se a linha de alimentação de microfita, que consiste de uma fita condutora com largura menor que a da plaqueta.

> Alimentadores de linha coaxial, onde o condutor interno do coaxial é conectado à plaqueta radiante e o condutor externo do plano de terra, também são largamente utilizados. O alimentador coaxial é de fácil construção e casamento, apresentando baixa radiação espúria. Tanto a alimentação por linha de microfita com por sonda coaxial possuem assimetrias inerentes, gerando modos de ordens superiores que produzem radiação de polarização cruzada. Para superar alguns desses problemas foi introduzida a alimentação sem contato via acoplamento por abertura. O acoplamento por abertura é a forma mais de alimentação de fabricação mais difícil, e também de banda estreita. (BALANIS, 2009, p. 147)

Figura 10 - Formas típicas de alimentação de antenas de microfita

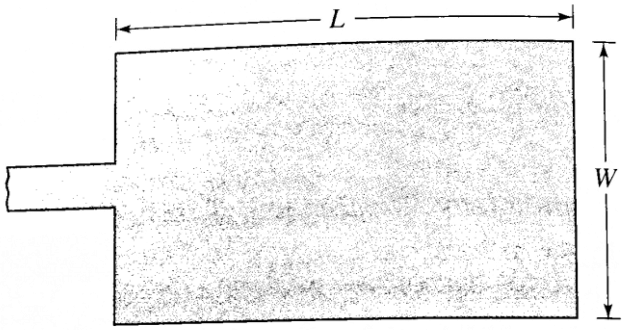


Fonte: BALANIS (2009; p.148)

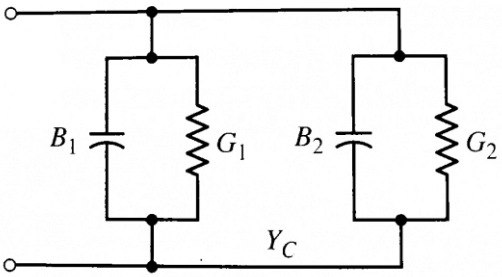
3.3 Métodos de Análise

Os dois principais métodos de análise de antenas de microfita são, linha de transmissão e modelo de cavidade, ambos oferecem precisão e simplicidade para substratos delgados. O modelo de linha de transmissão (Figura 11), a plaqueta e a linha de alimentação são modeladas por seções de linha de transmissão. A representação da antena é dada por meio de uma seção ressonante onde o substrato e dimensões da antena planar determinam a impedância característica e a constante de fase de propagação. Quando os campos eletromagnéticos que se propagam ao longo da linha encontram o início da plaqueta, são gerados campos de fuga nas bordas da plaqueta.

Figura 11 - Plaqueta retangular de microfita e seu circuito equivalente no modelo de linha de transmissão



(a) Plaqueta retangular



(b) Equivalente no modelo
de linha de transmissão

Fonte: BALANIS (2009; p.152)

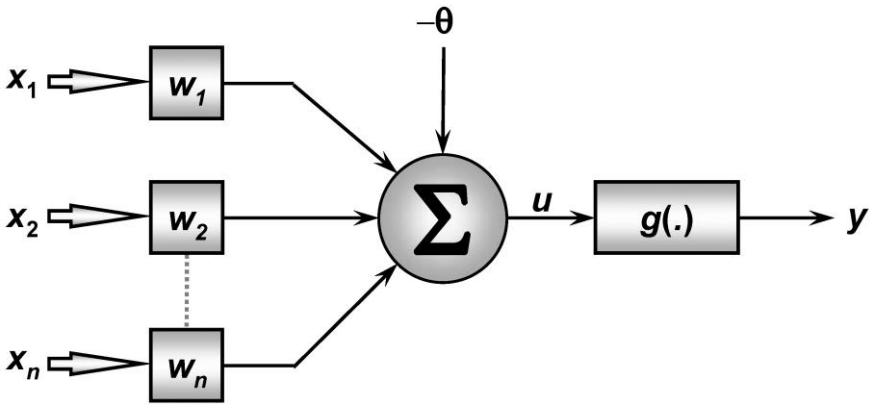
O outro método de análise de antena é o modelo de cavidade, como ele é possível manipular qualquer geometria de plaqueta, neste caso a antena é tratado com sendo uma cavidade com paredes ressonantes, em que na base há paredes elétricas e nas laterais paredes magnéticas. Os campos na antena são considerados como sendo os campos na cavidade, dessa forma serão expandidos em termos de modos ressonantes na cavidade.

4 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

4.1 Definição

Organizado como um computador extremamente avançado o cérebro é capaz de realizar certos processamentos, como reconhecimento de padrões, controle e percepção motor, que são executadas em microssegundos, as quais, o computador mais avançado que existe atualmente levaria dias para concluir. Dito de forma simplificada o cérebro humano tem a capacidade de acumular conhecimento no decorrer de seu tempo de vida e desenvolver o que chamamos de "experiência", tendo como elemento principal para isto os neurônios, permitindo que o cérebro tenha uma característica chamada de plasticidade – permite que o sistema nervoso em desenvolvimento se adapte ao seu meio ambiente (HAYKIN, 2007).

Figura 12 - Modelo básico de um neurônio artificial



Fonte: SILVA (2010; p.34)

Uma Rede Neural Artificial (RNA) é um mecanismo artificial que tenta modelar a maneira como o cérebro realiza uma função ou procedimento particular. Podendo ser desenvolvida e aplicada com uso de dispositivos eletrônicos ou através dos recursos de programação da computação digital. Podem ser definidas como um conjunto de unidades de processamento, caracterizadas por neurônios artificiais (Figura 12), que são interligados por um grande número de interconexões (SILVA, 2010).

4.2 Características principais

Por meio de um método de treinamento, a RNA consegue extrair o relacionamento existente entre diversas variáveis; após processo de aprendizado ela é capaz de generalizar o conhecimento adquirido, estimando soluções que até então desconhecidas. Também, a RNA é capaz de realizar uma organização interna agrupando padrões que apresentam particularidades em comum.

4.3 Áreas de aplicações

Devido a facilidade de prototipagem, a RNA pode ser aplicada em soluções de diversos problemas relacionados a engenharia e ciência como, mapeamento e controle de processos; reconhecimento, agrupamento e classificação de padrões de dados, através da detecção de similaridades e particularidades; sistemas de previsões temporais, mercadológicas, climáticas; dentre outras.

4.4 Neurônios artificiais

A partir de modelos conhecidos de sistemas biológicos e do cérebro humano, foi possível desenvolver a estrutura das redes neurais artificiais. Obviamente, os elementos computacionais ou unidades processadoras, chamadas de neurônios artificiais, são modelos simplificados dos neurônios biológicos, estes foram idealizados a partir da análise da geração e propagação de impulsos elétricos pela membrana celular dos neurônicos (HODGKIN, HUXLEY, 1952).

Os neurônios artificiais realizam operações simples, não-lineares, com saídas contínuas, como coleta de sinais existentes em suas entradas, agregação de destes sinais de acordo com a função operacional e por fim produzem uma resposta.

O modelo ainda mais utilizado, foi o proposto por McCulloch & Pitts (1943), visto que engloba as principais características de uma rede neural biológica, nela cada neurônio da rede pode ser implementado através dos diversos sinais de entrada advindos do meio externo, estes então são espelhados pelo conjunto {x1, x2, x3,..., xn} conforme ilustrado na figura 12, que podem ser comparados aos impulsos elétricos externos captados pelo dendritos no neurônio biológico.

> As ponderações exercidas pelas junções sinápticas do modelo biológico são representadas no neurônio artificial pelo conjunto de pesos sinápticos {w1, w2,...,wn}. De forma análoga, a relevância de cada uma das entradas {x1} do neurônio é então executada por meio de suas multiplicações pelos respectivos pesos sinápticos {w1}, ponderando-se, portanto, todas as informações externas que chegam ao neurônio. Assim, torna-se possível verificar que a saída do corpo celular artificial, denotado por *u*, é a soma ponderada de suas entradas.(SILVA, 2010, p. 33)

De acordo com a figura 12, nota-se que o neurônio artificial é composto por sete elementos básicos, os sinais de entrada {x1, x2, x3,..., xn}; pesos sinápticos {w1, w2,...,wn}; combinador linear { Σ }, que tem por função agregar todos os sinais de entrada que forem ponderados; o limiar de ativação { θ }, que é uma variável que especifica qual será o patamar apropriado para que o resultado produzido pelo combinador linear possa gerar um valor de disparo em direção à saída do neurônio; o potencial de ativação {u}, este é o resultado produzido pela diferença do valor produzido entre o combinador linear e o limiar de ativação; em penúltimo a função de ativação {g}, que tem por finalidade limitar a saída do neurônio dentro de um intervalo de valores razoáveis a serem assumidos pela sua própria imagem funcional; e por fim, o sinal de saída {y}, que consiste no valor final produzido pelo neurônio em relação a um determinado conjunto de sinais de entrada. (SILVA, 2010)

4.5 Desempenho

Considerando o tempo de processamento, o neurônio artificial tem um tempo superior ao neurônio biológico. No entanto, o processamento cerebral (Quadro 2) é infinitamente mais rápido que uma rede neural artificial, na maioria dos casos, devido ao seu alto grau de paralelismo entre os neurônios biológicos. (HAYKIN, 1999). O que determina a velocidade de uma rede neural artificial é o número de operações por segundo dos computadores são capazes de processar, chegando aos nano segundos se considerarmos um *clock* da ordem de giga-hertz.

Quadro 2 – Aspectos comparativos entre o neurônio artificial e o biológico

Parâmetro	Neurônio Artificial	Neurônio Biológico
Eficiência energética (operação/segundo)	10^{-8}J	10^{-16}J
Tempo de processamento (operação/neurônio)	10^{-9}s	10^{-3}s
Mecanismo de processamento	Tipicamente sequencial	Tipicamente paralelo

Fonte: Silva (2010)

4.6 Arquiteturas de RNA

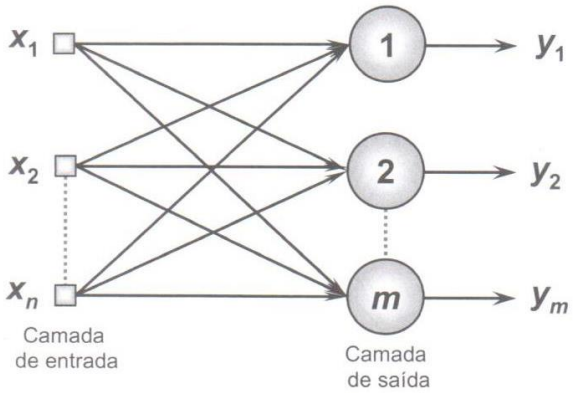
É definida como arquitetura de uma rede neural o arranjo dos neurônios, ou disposição entre eles, através do direcionamento das conexões sinápticas dos neurônios. Para cada arquitetura de uma RNA, teremos uma topologia, que se refere a forma de composição estrutural que uma arquitetura poderá assumir. Uma arquitetura deve ser ajustada através de um conjunto de passos ordenados, a fim de que suas respostas seja satisfatórias.

Numa arquitetura de RNA, geralmente, se tem a camada de entrada, camadas escondidas e a camada de saída. Sendo a primeira responsável pelo recebimento de informações, características, sinais, medições, etc. A segunda, compostas de neurônios que tem como função extrair as características associadas ao processo a ser inferido, é nela que é feito todo o processamento interno. Por fim a terceira camada, que é responsável de produção e apresentação dos resultados finais da RNA, fazendo uso dos processamentos das camadas anteriores.

4.6.1 Tipos de Arquiteturas de RNA

Levando-se em conta as formas de interligação de neurônios, sua disposição e a constituição de suas camadas, teremos diferentes tipos de arquiteturas, podendo ser redes *feedforward* de camada simples, redes *feedforward* de camadas múltiplas, redes recorrentes, e redes reticuladas (SILVA, 2010).

Figura 13 - Exemplo de arquitetura de rede *feedforward* de camada única



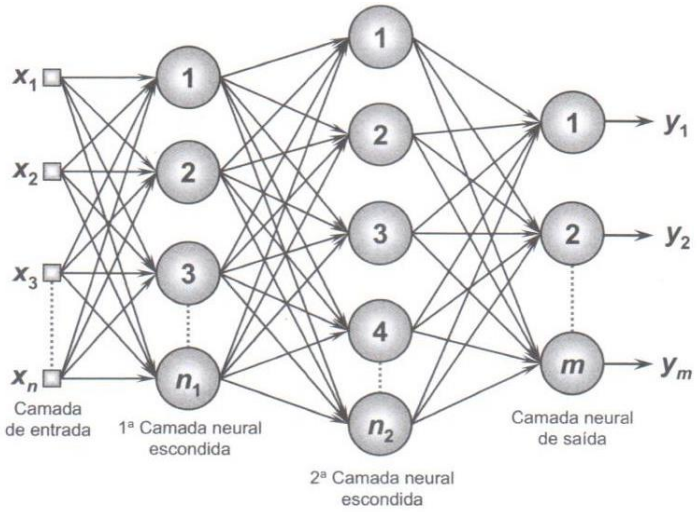
Fonte: SILVA (2010; p.47)

Na arquitetura *feedforward* de camada simples (Figura 13), tem-se apenas uma entrada e uma única camada de saída, sendo esta responsável de pelo processamento bem como pela apresentação dos dados. Estas redes possuem um único fluxo, da camada de

entrada para a camada de saída, e geralmente são aplicadas em problemas que envolvem classificações de padrões ou filtragens.

Na arquitetura *feedforward* de camadas múltiplas (Figura 14), temos a presença de uma ou mais camadas ocultas de neurônios; o número destas pode variar de acordo com a complexidade do problema a ser mapeado pela rede. A sua aplicabilidade é expandida para problemas ligados a aproximação de funções, classificação de padrões, identificação de sistemas, otimização, controle de processos, etc.

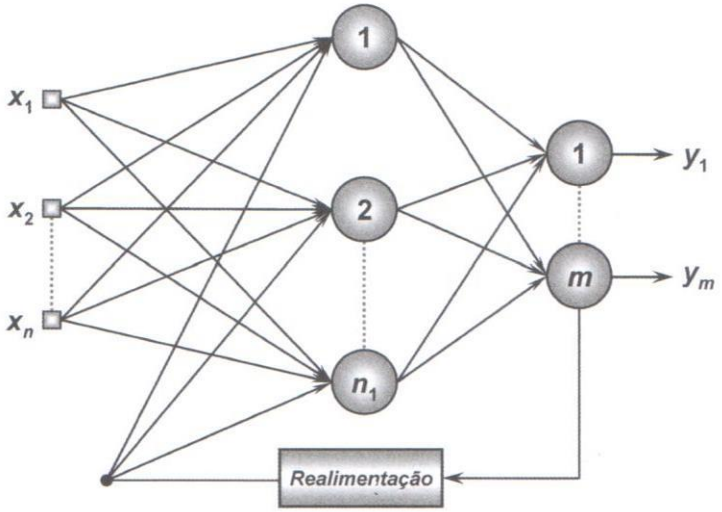
Figura 14 - Exemplo de arquitetura de rede *feedforward* de camadas múltiplas



Fonte: SILVA (2010; p.48)

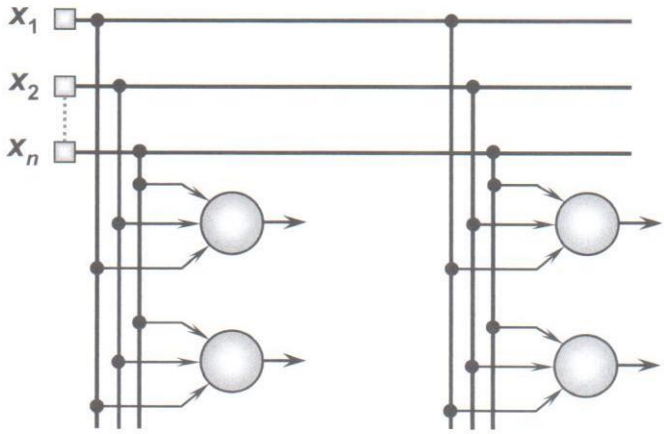
Em tratando da arquitetura recorrente (Figura 15), esta possui uma característica chamada de realimentação, em que as saídas dos neurônios são realimentadas como sinais de entrada para outros neurônios, este processamento dinâmico de informações é necessário quando se necessita de resultados anteriores para serem processados com os atuais. Este tipo de processamento, é aplicado em sistemas em que ocorrem variações em relação ao tempo, como controle de processos, previsão de séries temporais, etc.

Figura 15 - Arquitetura de rede recorrente



Fonte: SILVA (2010; p.49)

Figura 16 - Arquitetura de rede com estrutura reticulada



Fonte: SILVA (2010; p.50)

Finalmente tem-se a arquitetura em estrutura reticulada (Figura 16), sua abordagem está na disposição espacial dos neurônios visando propósitos de extração de características. Os diversos sinais de entrada são também inseridos em todos os neurônios da rede (SILVA, 2010).

4.7 Processo de treinamento

A RNA tem a capacidade de aprendizado a partir da apresentação de padrões, ou amostras, que exemplificam o comportamento do sistema, com este aprendizado ela é capaz de generalizar soluções. Este processo de treinamento, consiste na aplicação de passos ordenados, com o objetivo de generalizar soluções a serem produzidas pelas saídas. O conjunto destes passos ordenados é chamando de algoritmo de aprendizagem. Quando feita a sua aplicação a RNA será capaz de extrair características discriminantes do sistema a ser mapeado por meio das amostras.

Em linhas gerais, no conjunto de amostras disponíveis tem-se dois subconjuntos, o de treinamento e o de teste. O primeiro está ligado ao treinamento da rede, compondo-se entre 60 a 90% das amostras do conjunto total e o segundo figura entre 10 a 40% do conjunto total de amostras, que diz respeito ao subconjunto de teste, para averiguação dos aspectos ligados a generalização de soluções produzidas pelas saídas.

Em se tratando do processo de treinamento, pode-se citar dois tipos; o supervisionado e o não-supervisionado. No treinamento supervisionado tem-se para cada amostra de treinamento, os sinais de entradas e suas correspondentes saídas. No segundo processo, o de treinamento não-supervisionado, não existem as respectivas saídas desejadas, cabendo a própria RNA se auto-organizar em relação às particularidades existentes entre os elementos componentes do conjunto total de amostras (SILVA, 2010).

Partindo-se para o processo de aprendizagem, pode-se citar dois, primeiro o de aprendizagem *off-line* ou *batch*,

> ...em que os ajustes efetuados nos vetores de pesos das redes e em seus limiares só são efetivados após a apresentação de todo o conjunto de treinamento, pois cada passo de ajuste leva em consideração o total de desvios observados nas amostras de treinamento frente aos respectivos valores desejados para as suas saídas.
>
> Assim, as redes que utilizam aprendizagem usando lote de padrões necessitam de pelo menos uma época de treinamento para se realizar um passo de ajuste em seus pesos e limiares. Portanto, todas as amostras de treinamento devem estar sempre disponíveis enquanto durar o processo de aprendizagem (SILVA, 2010, p. 53).

E o segundo, que é o processo de aprendizagem usando on-line

> ...ao contrário daquela por lote, os ajustes nos pesos e limiares das redes são efetuados após a apresentação de cada amostra de treinamento. Portanto, após a execução do passo de ajuste, a respectiva amostra pode ser descartada.
>
> A aprendizagem on-line nesta configuração é normalmente utilizada quando o comportamento do sistema a ser mapeado varia de forma bastante rápida, sendo quase impraticável a adoção do aprendizado off-line, pois as amostras utilizadas em determinado instante podem não mais representar o comportamento do processo nos instantes posteriores. (SILVA, 2010, p. 54)

4.7 Máquina Vetor de Suporte

A Máquina Vetor de Suporte (SVM – em inglês) é chamada de máquina linear que possui a capacidade de construir um hiperplano com superfície de decisão, construindo uma margem de separação entre dois exemplos, positiva e negativa. Ela aplica o principio da teoria da aprendizagem estatística, em que se considerando o caso de padrões separáveis, produz um valor de zero para o primeiro termo e minimiza o segundo termo (JÚNIOR, 2012).

A Máquina Vetor de Suporte é um algoritmo que possui a capacidade de construir um hiperplano (Figura 17) com superfície de decisão, definindo uma margem de separação entre dois exemplos, positiva e negativa. Ela aplica o principio da teoria da aprendizagem estatística, em que, considerando o caso de padrões separáveis, produz-se um valor de zero para o primeiro termo e minimiza-se o segundo. Este algoritmo possui uma teoria mais complexa e rebuscada se comparada a outros algoritmos mais simples, como KNN (BARROS; SILVA; FARIAS, 2010).

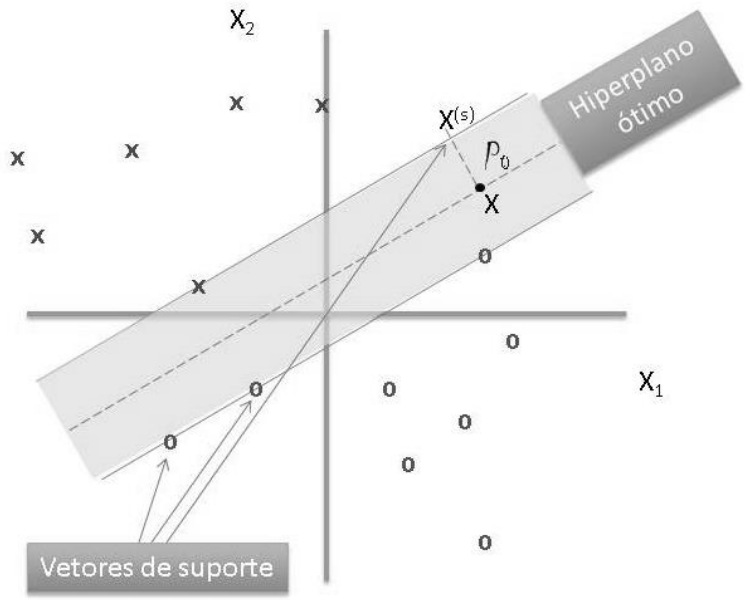
As técnicas de aprendizagem de máquina utilizam um princípio chamado indução, no qual é possível atingir conclusões genéricas a partir das entradas fornecidas. Estas técnicas possuem dois tipos de aprendizagem: não supervisionado e supervisionado.

No primeiro, não existe a presença de um modelo previamente informado para aprendizagem da máquina. Ela aprende com a ajuda de uma medida de qualidade. Esta técnica é usada quando se tem por meta encontrar padrões em um conjunto de dados complexos. No segundo, que é a técnica de aprendizagem supervisionada, existe a entrada de um modelo, afim de que a máquina possa aprender. Têm-se as entradas e saídas conhecidas. A partir deste modelo, o algoritmo aprende com o objetivo de generalizar para posteriores entradas com as saídas esperadas.

Em virtude disso, a SVM pode permitir um bom desempenho de generalização em problemas de classificação de padrões, este sendo um atributo único das máquinas vetor de suporte. Independente da tarefa de aprendizagem, a SVM fornece um método para controlar a complexidade do modelo independente da dimensionalidade. Para se livrar da complexidade que a dimensionalidade pode provocar, usa-se uma formulação dual, evitando assim o cálculo de parâmetros do hiperplano ótimo em um espaço de dados possivelmente de alta dimensionalidade. Desta forma tem-se um extremo global da superfície de erro, onde o erro é a diferença entre a resposta desejada e a saída da máquina vetor de suporte. Para realizar o

cálculo de produtos escalares entre os dados no espaço de características utilizam-se funções denominadas *Kernels*.

Figura 17 - Hiperplano ótimo para padrões separáveis



Uma função *kernel* recebe dois dados de entrada e calcula o produto interno - através de um processo computacional - destes dados no espaço de características. (LUDWIG O, NUNES, 2008). Existem diferentes tipos de *kernels*, podendo ser Linear, Polinomial, Polinomial normalizado, RBF (*Radial Basis Function),*etc.

5 GESSO PEDRA

5.1 Gipsita

O Sulfato de Cálcio Di-hidratado (CaSo4 - 2H2O), comumente chamado de gesso, é encontrado na natureza como uma massa compacta. A maioria dos produtos de gesso é obtida da pedra natural de gipsita (Figura 18). A gipsita é encontrada na maioria dos países. O gesso é obtido por meio da retirada de parte da água de cristalização do sulfato de cálcio di-hidratado, pelo processo de calcinação da gipsita (CRAIG; POWERS, 2004).

Figura 18 - Gipsita

Fonte: MUSEU DAS MINAS E DOS METAIS (2011)

De acordo com a American Dental Association (ADA) o gesso odontológico pode ser classificado do seguinte modo:

Tipo I – gesso para modelagem

Tipo II – gesso comum

Tipo III – gesso pedra

Tipo IV – gesso pedra de alta resistência

Tipo V – gesso pedra extra-duro.

Todos são compostos pela mesma substância química, Sulfato de Cálcio Di-hidratado (CaSo4 - 2H2O), variando apenas o processo de calcinação, caracterizando o tamanho e a forma do cristal. O gesso é empregado sob várias formas na odontologia, como na obtenção de moldes, fixação de modelos em articuladores, construção de modelos de estudo, modelos de trabalho, no caso do chamado gesso pedra (CRAIG; POWERS, 2004).

5.2 Gesso pedra

O gesso pedra é o mais utilizado na odontologia na confecção de diversos tipos de modelos de estudo. Ele é obtido com a calcinação da gipsita sob pressão de vapor d´agua, em autoclave, a temperaturas de 120 a 130 °C, passando após este processo a apresentar cristais mais densos com formato prismático, principal característica do gesso pedra.

5.3 Presa

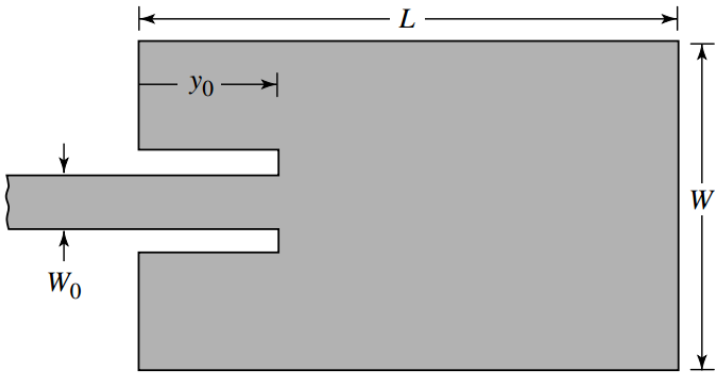
Quando se realiza a mistura de água ao gesso pedra em pó, a reação química que se desenvolve é a reversão da primeira parte da reação para formação do gesso, chamada de presa. Deste modo tem-se novamente formada a gipsita desprendendo calor em virtude da reação exotérmica, equivalente ao processo de calcinação. O período de tempo decorrente até o aumento da temperatura é chamado de período de indução. Depois disto, a temperatura começa a cair até atingir a temperatura ambiente. O tempo que decorre desde o momento que o gesso e a água entram em contato (início da mistura) até o completo endurecimento da mistura é chamado de tempo de presa.

6 METODOLOGIA

6.1 Confecção de antenas

Para o experimento, optou-se por um arranjo de duas antenas de microfita (Figura 21) com configuração retangular (Figura 19), devido à facilidade de desenvolvimento, fabricação, características de radiação e construção simples de baixo custo.

Figura 19 - Modelo da antena projetada



Fonte: BALANIS (2009)

Inicialmente, para construção das antenas, definiu-se a frequência de 2.44 GHz, alimentada por uma linha de microfita em um substrato de fibra de vidro com permissividade de 4,4 e altura (h) de 0,9 cm e dimensões descritas no Quadro 3.

Quadro 3 – Dimensões da antena projetada

F (GHz)	W (cm)	L (cm)	Y_0 (cm)	W_0 (cm)
2,44	3,74	2,92	0,969	0,172

Os valores constantes da Tabela I foram obtidos aplicando-se as seguintes fórmulas (BALANIS, 2009):

$$W = \frac{1}{2f_r\sqrt{\mu_0\epsilon_0}}\sqrt{\frac{2}{\epsilon_r+1}} = \frac{\upsilon_0}{2f_r}\sqrt{\frac{2}{\epsilon_r+1}} \quad (1)$$

$$\underline{W/h > 1}$$

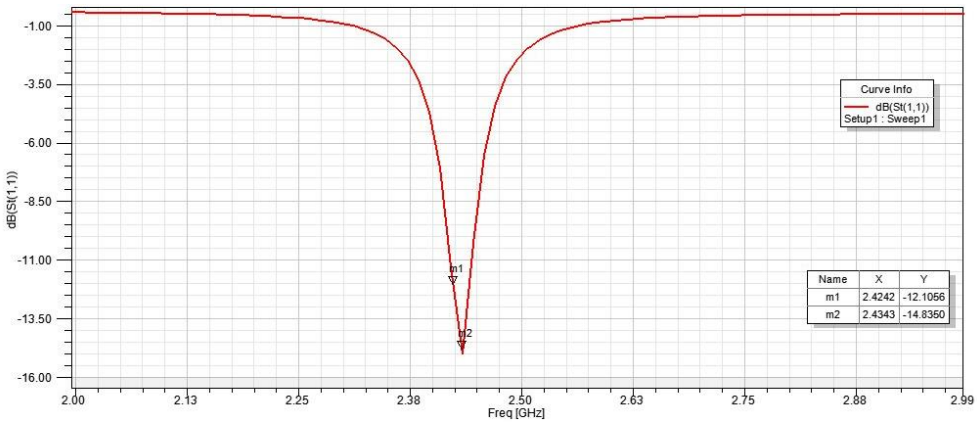
$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2}\left[1+12\frac{h}{W}\right]^{-1/2} \quad (2)$$

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412\frac{(\epsilon_{\text{reff}}+0.3)\left(\frac{W}{h}+0.264\right)}{(\epsilon_{\text{reff}}-0.258)\left(\frac{W}{h}+0.8\right)} \quad (3)$$

$$L = \frac{1}{2f_r\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} - 2\Delta L \quad (4)$$

As antenas foram projetadas e simuladas no software comercial Ansoft HFSS, com casamento de impedância ideal na frequência de 2,44 GHz (Figura 20).

Figura 20 - Perda de retorno – antena projetada no HFSS



Fonte: HFSS

Após a confecção das antenas em laboratório (Figura 21) e medições realizadas no Analisador de rede Agilent - E5071C ENA (Figura 22) na prática, a frequência de ressonância ficou em 2,49GHz - 2,05% de margem de erro da antena projetada.

Figura 21 - Antenas confeccionadas em laboratório

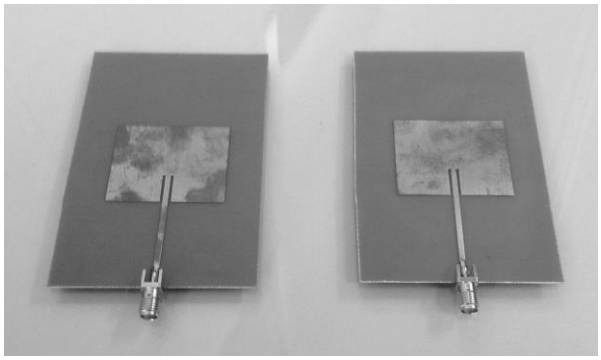
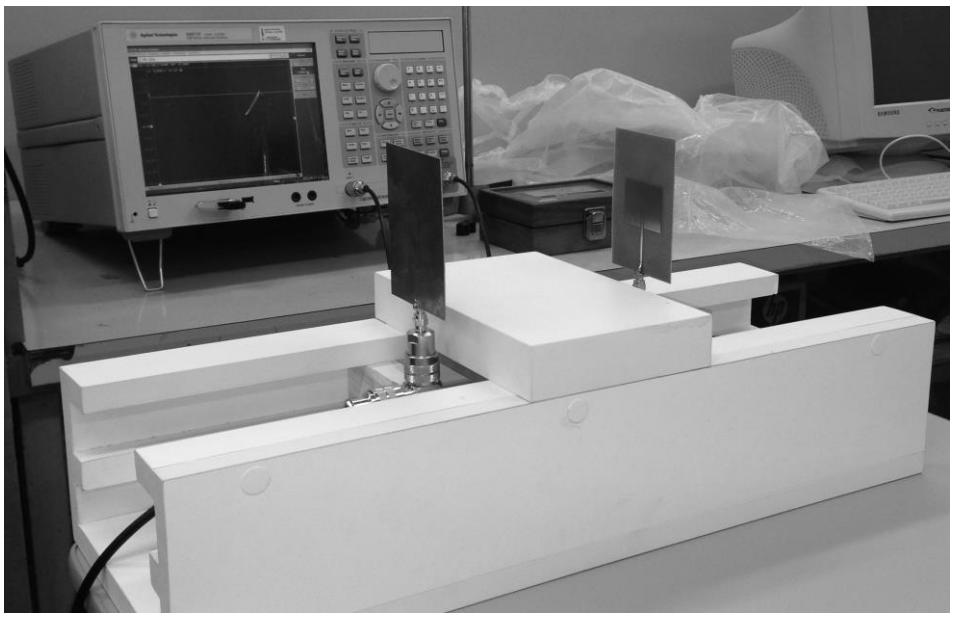


Figura 22 - Arranjo de antenas usado no experimento e Analisador de rede Agilent – E5071C ENA



6.2 Simulações

As simulações foram realizadas de duas maneiras, a primeira, com quatro amostras de sílica e farinha de osso em quantidades alternadas e a segunda, em blocos confeccionados com gesso ($CaSO_4.0,5H_2O$) e sílica, adquiridas comercialmente.

Figura 23 - Amostras de pó de osso e sílica

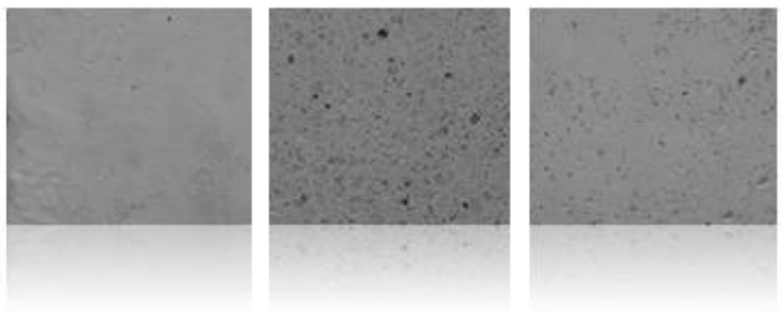
Na primeira simulação, foram utilizados cilindros de acrílico com medidas de 6,0 cm de diâmetro e 6,6 cm de altura (Figura 23), para armazenar os compostos de sílica e farinha de osso. (BARROS; SILVA; FARIAS, 2010). O Quadro 4 exibe as quantidades em gramas existentes em cada amostra bem como a variação do nível de atenuação nas amostras com diferentes quantidades de farinha de osso e sílica, analisando o nível de atenuação em cada composto.

Quadro 4 – Amostras de pó de osso e sílica

Amostra	Osso (g)	Sílica (g)	Atenuação (dB)
01	-	79,16	-32,0114
02	182,67	0,00	-34,1453
03	104,42	37,65	-33,1704
04	141,54	17,30	-33,3856

Na segunda simulação, foram confeccionados três blocos com composição de gesso($CaSO_4.0,5H_2O$), sílica e água (Figura 24), com o objetivo de se obter um melhor controle dos resultados, assegurando que cada amostra seja homogênea.

Figura 24 - Amostras de blocos de gesso e sílica



Os blocos foram confeccionados no Laboratório de Prótese do Departamento de Odontologia do Centro de Ciências da Saúde (CCS) na Universidade Federal do Rio Grande do Norte com auxilio de uma cubeta de borracha, espátula para manipulação, pincel, vibrador de gesso para deixar a mistura homogênea e isenta de bolhas de ar.. Para cada bloco foram combinadas medidas de gesso pedra tipo III e sílica, adquirida comercialmente. As dimensões e volumes dos blocos conforme Quadro 5, foram tais que, cada bloco obtivesse o mesmo valor volumétrico, de modo a se ter um controle sobre cada amostra, sendo classificada de acordo com a porcentagem de gesso e/ou sílica, para que as medidas fossem exatas, utilizou-se um recortador de gesso (Figura 25) para os ajustes nas medidas.. Com estes valores é possível determinar cada amostra como tendo maior ou menor densidade.

Quadro 5 – Blocos de gesso e sílica

Osso	Gesso (%)	Sílica (%)	Volume (cm3)	Atenuação (dB)
01	25	75	230	-39,0018
02	50	50	230	-40,4439
03	100	0	230	-40,5694

Figura 25 - Recortador de Gesso Prótese

As amostras foram submetidas a análise com o arranjo de antenas conectadas ao Analisador de rede - Agilent Network Analyser (MUROTANI; NISHI-KU; KOBE; HYOGO, 2002), após o que chegou-se aos resultados de atenuação de sinal, conforme Quadro 5. Constatou-se que a Amostra 03 de maior porcentagem de gesso obteve o maior resultado de atenuação e a mistura com menor porcentagem de gesso, obteve o menor valor de atenuação do sinal.

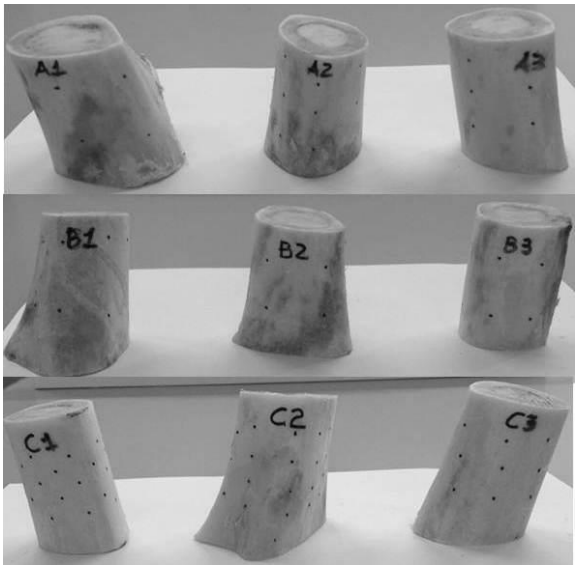
Nas duas simulações, comprovou-se que que as ondas eletromagnéticas emitidas na faixa de 2,49 GHz são capazes de caracterizar as combinações e determinar sua maior ou

menor densidade das amostras, no entanto, na segunda simulação obteve-se um maior controle sobre a composição das amostras, visto estas serem confeccionadas de forma a ficarem homogêneas em todo o seu composto.

6.3 Experimento

Por reproduzir satisfatoriamente os aspectos de anomalia dos seres humanos, optou-se pelo uso de fêmures bovinos. Estes foram identificados com três grupos de A1, A2, A3; B1, B2, B3; C1,C2 e C3 para indivíduos distintos (Figura 26).

Figura 26 - Amostras de osso bovino utilizadas no experimento



Os ossos foram classificados por massa original e massa alterada (Quadro 6). Após a pesagem, eles foram submetidos à radiação de microondas na frequência de 2,49 GHz e foram verificados os seus respectivos níveis de atenuação.

Quadro 6 – Massas de ossos originais e alteradas

Osso	Massa Original (g)	Massa alterada (g)
A1	204,2	198,6
A2	142,9	137,2
A3	145,3	141,0
B1	148,3	144,2
B2	139,3	133,1
B3	120,6	117,1
C1	123,0	120,2
C2	145,7	143,4
C3	132,6	123,4

Realizada a descaracterização das amostras de osso, através de perfurações usando furadeira e brocas de diferentes diâmetros, procedeu-se com a pesagem e submissão à radiação na mesma frequência das amostras originais. Para cada amostra submetida à radiação, foram realizadas 201 leituras de sinais, totalizando 1809 sinais, sendo metade para massa óssea original e metade para massa óssea alterada.

Os resultados obtidos estão registrados no Quadro 7. Nota-se que as amostras originais apresentaram atenuação maior que as amostras alteradas com o processo de perfuração

Quadro 7 – Atenuação média dos ossos

Osso	Original (dB)	Alterado (dB)
A1	-38,8783	-38,6707
A2	-39,7907	-39,5220
A3	-40,3946	-40,3184
B1	-43,7795	-42,8605
B2	-40,5919	-39,9600
B3	-38,9521	-38,8154
C1	-39,9055	-39,8818
C2	-41,5019	-40,8901
C3	-40,4362	-38,9570

Após a aquisição dos dados obtidos pelo analisador de rede Agilent Network Analyzer (MUROTANI; NISHI-KU; KOBE; HYOGO, 2002), foram montadas matrizes para serem usadas na Máquina Vetor de Suporte. Como cada amostra gerou 201 leituras, das quais 101 foram usadas como carga de treinamento da SVM e 100 foram usadas como teste para verificar a acurácia da máquina.

Como determinação dos coeficientes de entrada para treinamento da rede neutral e posterior leitura da variação da atenuação gerada, utilizou-se as dimensões das amostras, para identificação de cada leitura, tornando-as únicas em função de suas medidas - diâmetro superior, inferior, médio e de medula óssea. As matrizes foram geradas e implementadas na máquina vetor de suporte com uso da biblioteca libSVM (CHANG, 2011), consistindo dos seguintes passos:

- Preparo da carga de treinamento
- Ajuste da escala da carga
- Treinamento da máquina

- Teste de acurácia com uma carga que é sabidamente qualificável como positiva
- Teste de acurácia com uma carga que é sabidamente qualificável como negativa

A carga foi gerada de duas maneiras, uma usando apenas o osso inalterado (considerado sadio) e outra usando tanto osso inalterado como o de baixa densidade (alterado). Para cada uma das cargas de teste foram realizados procedimentos distintos.

6.3.1 Kernel linear de classe única

Para o modelo de classe única, iniciou-se o procedimento pelo ajuste de escala da carga de treinamento e de teste. Esse escalonamento é realizado pelo comando:

```
svm-scale –l -1 –u 1 –s range train-load > train-load.scale
```

Onde o "–l -1" representa o limite inferior (-1), o "–u 1" o limite superior (1), "–s range" é o arquivo que os parâmetros de escala são gravados, train-load é o arquivo de carga e train-load.scale é o arquivo de saída da carga de treino já escalonada.

Para realizar o escalonamento das cargas de teste, utilizou-se os arquivos de parâmetros de escala resultantes do comando anterior. Este processo é realizado pelo seguinte comando:

```
svm-scale –r range test-load > test-load.scale
```

Onde "-r range" é o arquivo de parâmetros gerado pelo comando de escalonamento da carga de treino, test-load é a carga de teste e test-load.scale é o arquivo de saída da carga já escalonada.

Para treinar a máquina, o comando usado foi:

```
./svm-train -s 2 -t 0 train-load.scale bonetrain.one.model
```

Esse comando usa a carga de treinamento "train-load.scale" e gera um modelo de predição em "train-load.scale.model" usando uma máquina classe única (-s 2) e núcleo linear (-t 0) .

Para testar a acurácia da máquina, o comando usado foi:

```
./svm-predict test-load.scale train-load.scale.model svm-test.out
```

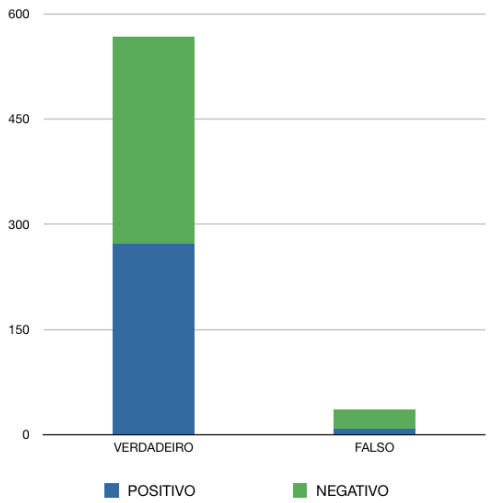
Esse comando usa o modelo de treinamento gerado pelo comando ./svm-train para classificar uma carga de teste “test-load.scale”. O resultado é obtido em “svm-test.out”.

Para testar a acurácia com uma carga sabidamente qualificável como negativa, o comando usado foi:

./svm-predict test-load.2.scale train-load.scale.model bonebadt.out

Este comando difere do anterior apenas pela carga de teste “test-load.2.scale” que constitui de uma matriz gerada com as leituras das amostras depois de realizada a descaracterização das amostras de osso bovino.

Figura 27 - Resultados de parâmetros para kernel linear de classe única em relação ao número de amostras



Com essa configuração, a SVM retornou uma acurácia (Figura 27) de 90.66% quando alimentada com a carga de teste de ossos saudáveis (272/300) e de 2.64% quando alimentada com a carga de teste com ossos porosos (8/303).

6.3.2 Kernel linear de duas classes

O procedimento começou pelo ajuste de escala da carga de treinamento e de teste. Esse escalonamento é realizado pelo comando:

svm-scale –l -1 –u 1 –s range train-load > train-load.scale

Onde o “–l -1” representa o limite inferior (-1), o “–u 1” o limite superior (1), “–s range” é o arquivo que os parâmetros de escala são gravados, train-load é o arquivo de carga e train-load.scale é o arquivo de saída da carga de treino já escalonada.

Para realizar o escalonamento das cargas de teste, deve-se utilizar os arquivos de parâmetros de escala resultantes do comando anterior. Faz-se então:

```
svm-scale –r range test-load > test-load.scale
```

Onde “-r range” é o arquivo de parâmetros gerado pelo comando de escalonamento da carga de treino, test-load é a carga de teste e test-load.scale é o arquivo de saída da carga já escalonada.

Para treinar a máquina, o comando usado foi:

```
./svm-train -s 2 -t 0 train-load.scale bonetrain.model
```

Esse comando usa a carga de treinamento “train-load.scale” e gera um modelo de predição em “train-load.scale.model” usando uma máquina classe única (-s 2) e núcleo linear (-t 0) . Para testar a acurácia da máquina, o comando usado foi:

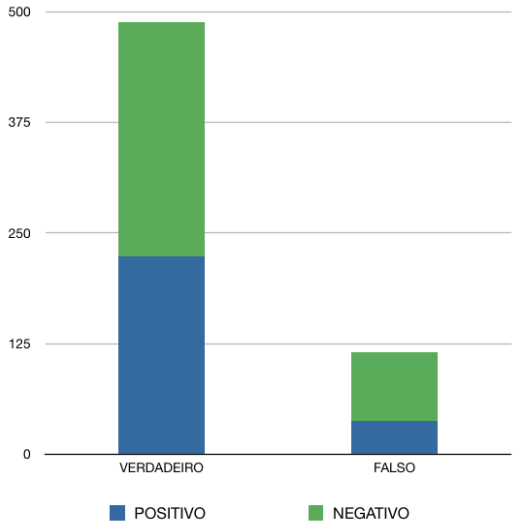
```
./svm-predict test-load.scale train-load.scale.model svm-test.out
```

Este comando usa o modelo de treinamento gerado pelo comando ./svm-train para classificar uma carga de teste “test-load.scale”. O resultado é obtido em “svm-test.out”. Para testar a acurácia com uma carga sabidamente qualificável como negativa, o comando usado foi:

```
./svm-predict test-load.2.scale train-load.scale.model bonebadt.out
```

Que difere do comando anterior apenas pela carga de teste “test-load.2.scale” que constitui de uma matriz gerada com as leituras das amostras depois de realizada a descaracterização das amostras de osso bovino.

Figura 28 - Resultados de parâmetros para kernel linear de duas classes em relação ao número de amostras



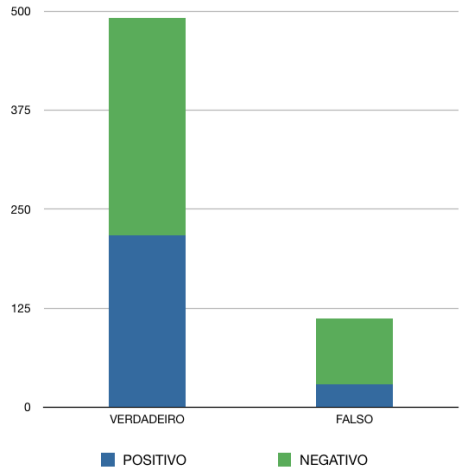
Com essa configuração, a MVS retornou uma acurácia (Figura 28) de 74.33% quando alimentada com a carga de teste de ossos saudáveis (223/300) e de 12.54% quando alimentada com a carga de teste com ossos porosos (38/303).

6.3.3 Kernel RBF de duas classes

No modelo de múltiplas classes (osso saudável e osso poroso) utilizou-se uma ferramenta da biblioteca libSVM acessível pelo comando "svm-easy", que testa a carga com um núcleo radial (RBF), este modelo pode ser resumido em um simples comando:

```
./svm-easy test-load train-load.
```

Figura 29 - Resultados de parâmetros para Kernel RBF de duas classes em relação ao número de amostras



Este comando realiza a escala da carga, calcula os melhores parâmetros, executa validação e por fim testa a acurácia dos dados de teste contra o modelo gerado. Para esta carga de treinamento e de teste específicas, os resultados dos parâmetros ideais foram: C: 2.0 e Gama: 8.0 (Figura 30). Obtendo assim uma taxa de validação cruzada de 89.76%. Com essa configuração, a SVM retornou uma acurácia (Figura 29) de 72.33% (217/300) para o osso sadio e de 9.57% (29/303) para o osso poroso.

7 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram realizados estudos multidisciplinares nas áreas: biomédica, computacional e de engenharia elétrica, realizando-se a posteriori experimentos práticos sobre a aplicação da sondagem eletromagnética de materiais biológicos. No estudo foi abordado aspectos importantes de carácter científico como metodologias de aquisição de dados, processamento e classificação de amostras, bem como o estudo da morfologia do sistema ósseo.

Quadro 8 – Ossos utilizados para treinamento da SVM

OSSO ORIGINAL	DIÂMETRO			
	SUPERIOR (cm)	MEIO (cm)	INFERIOR (cm)	MEDULA (cm)
A2	4,0	4,4	4,5	2,4
B3	4,0	4,0	4,0	2,0
C1	3,6	3,6	3,6	2,0

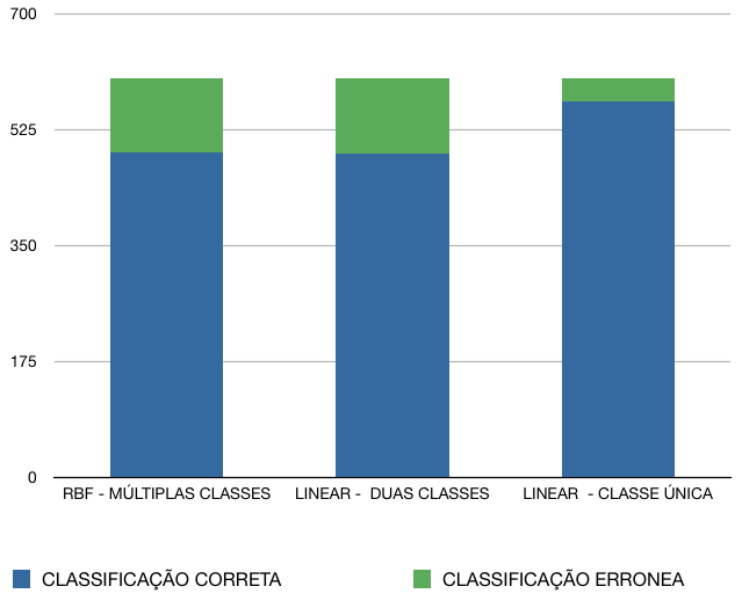
O trabalho foi iniciado com o estudo básico de propagação de ondas eletromagnéticas, sendo dada um maior atenção aos efeitos da permissividade elétrica dos materiais do estudo. Este fato favoreceu o entendimento do comportamento dos materiais alvo da pesquisa para a faixa de frequência escolhida para o desenvolvimento do trabalho. A modelagem computacional do problema abordado deu-se por meio de Redes Neurais Artificiais - RNA, sendo o método de Maquina Vetor de Suporte - SVM o modelo escolhido para a análise dos primeiros dados obtidos experimentalmente (Quadro 8). Realizado o treinamento da SVM observou-se que nos testes com as amostras A2, B3, e C1 (Quadro 9 - originais e alteradas), foram obtidos os melhores resultados com classificação correta em 100% das amostras.

Quadro 9 – Nível de atenuação dos ossos

Osso	Original (dB)	Alterado (dB)
A1	-38,8783	-38,6707
A2	-39,7907	-39,5220
A3	-40,3946	-40,3184
B1	-43,7795	-42,8605
B2	-40,5919	-39,9600
B3	-38,9521	-38,8154
C1	-39,9055	-39,8818
C2	-41,5019	-40,8901
C3	-40,4362	-38,9570

Como forma de comprovar a eficácia e validar os resultados obtidos foram implementados outros métodos como o *Kernel* RBF, Linear de classe única e Linear de duas classes, obtendo-se resultados satisfatórios quanto a eficiência e velocidade de classificação. No entanto, para estes experimentos, obteve-se melhor acurácia com o método Linear de classe única, conforme ilustrado na Figura 31. Com base no acima exposto pode-se então concluir que a faixa de frequência para aplicações médicas e industriais (2,44 GHz) pode ser usada no desenvolvimento de exames de baixo custo e de ampla aplicação em unidades de saúde distantes de grandes centros. Os métodos de avaliação dos resultados obtidos podem ser aperfeiçoados com a introdução de novas técnicas de análise, aumentado-se o grau de precisão dos resultados. A expansão do estudo para a inclusão das camadas mais externas com músculos, tecido adiposo e pele devem ser observadas como próximos passos para a construção de um produto portátil para que este seja aplicável em qualquer região do pais. A atuação de um profissional da área biomédica deverá ser essencial para fases futuras deste trabalho.

Figura 30 - Comparativo entre métodos de Kernels RBF e Lienares em relação ao número de amostras



Como proposta futura pretende-se ampliar a pesquisa com a utilização de novos estudos sobre o sistema esquelético, tendo como alvo principal as regiões e maior incidência de doenças como a osteoporose em adultos e a Osteogênese imperfeita, doença que acomete bebês também denominada de doença do bebê de vidro. Outro objetivo são a fabricação e testes do protótipo de leitura óssea, sendo que este deve ser portátil e de baixo custo para que possa atender a população brasileira em exames iniciais realizados pelo próprio médico ortopedista.

REFERÊNCIAS

ALINI, M., MARRIOTT, A., CHEN, T., ABE, S., & Poole, A. R. (1996b). **A novel angiogenic molecule produced at the time of chondrocyte hypertrophy during endochondral bone formation**. Dev. Biol.,176, 124–32.

ARAÚJO, DV, OLIVEIRA JH, BRACO OL (2005) **Custo da fratura osteoporótica de fêmur no Sistema Suplementar de Saúde Brasileiro.** Arq Bras Endocrinol Metabol 49:897. Arch.Abt.B.Zellpathol., 12, 318.

BAHL, I.J.; BHARTIA, P. **Microstrip Antennas**. Dedham MA: Artech House, 2001.

BALANIS, Constantine A. **Teoria de Antenas – Análise e Síntese.** Ed. 3, Vol 1e 2, Rio de Janeiro, RJ, 2009.

BARROS, Jannayna Domingues; OLIVEIRA, José Josemar Júnior; FARIAS, Robson Fernandes; SILVA, Sandro Gonçalves. **Microwave Characterization Using Wavelets Na application related to bone tissue and bone meal with silica**. MOMAG 2010.

BARROS, Jannayna Domingues; OLIVEIRA, José Josemar Júnior; FARIAS, Robson Fernandes; SILVA, Sandro Gonçalves. **Estudo da Detecção Preventiva da Osteoporose pela Aplicação da Variação da Permissividade Elétrica a partir da Sondagem Eletromagnética**, UFRN, 2010.

BECKER, R e MARINO A., **Eletromagnetism and Life,** State University of New York, Albany, 1982.

CARVALHO, Lorena A. C.; ***Uma Introdução às Support Vector Machines***. 2007.

CHANG, Chih-Chung; LIN, Chih-Jen; **LIBSVM: a library for support vector machines.** ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, 2:27:1—27:27, 2011. Software available at http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm

CHRISTIAN, J. C., Yu, P. L., SLEMENDA, C. W., & JOHNSTON, C. C. Jr. (1989). **Heritability of bone mass: a longitudinal study in aging male twins**. Am.J.Hum.Genet., 44(3), 429–43

CRAIG, R.G; POWERS, J.M., **Materiais Dentários Restauradores**. 11ª Ed., São Paulo, Livraria Editora Santos, 2004.

EPSTEIN, M. and GORDON, O., **The Interaction of Static and Alternating Electric Fields with Biological Systems,** IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 1976.

EVANS, R. A., MAREL, G. M., LANCASTER, E. K., KOS, S., EVANS, M., & WONG, S. Y. (1988). **Bone mass is low in relatives of osteoporotic patients**.Ann.Int.Med., 109(11), 870–3.

GARDNER, Ernest; GRAY, Donald J.; RAHILLY, Ronan O'. **Anatomia - Estudo Regional do Corpo Humano**. Ed.4 Rio de Janeiro, RJ, 2008.

GOTHLIN, G. & ERICSSON, J. L. E. (1973). **On the osteogenesis of the cells in fracture callus**. Virchow's

HAYKIN, Simon. **Redes Neurais – Princípios e Prática**. Ed. 2 – Porto Alegre, RS, 2008.

HEBB, D. O. (1949); **The organization of behavior: a neuropsychological theory**. Wiley, New York, USA.

HENDERSON, Janet E.*;* GOLTZMAN, David; ***The Osteoporosis Primer***. CAMBRIDGE UNIVERSIT PRESS, Cambridge, UK, 2000.

HOPPER, J. L., GREEN, R. M., NOWSON, C. A., YOUNG, D., SHERWIN, A. J., KAYMAKCI, B., LARKINS, R. G., & WARK, J. D. (1998). **Genetic, common environment, and individual specific components of variance for bone mineral density in 10– to 26-year-old females: a twin study.Am.J. Epidemiol**., 147(1), 17–29.

HOUSTON, L. A., GRANT, S. F. A., REID, D. M., & RALSTON, S. H. (1996). **Vitamin D receptor polymorphism, bone mineral density, and osteoporotic vertebral fracture: studies in a UK population.** Bone, 18, 249–52.

ICNIRP, R. Matthes, **Non Ionizing Radiation, Proceedings of the Third International Non-Ionizing Radiation Workshop,** Baden, Austria, 1996.

JÚNIOR, João Bosco Amaral; JÚNIOR, José Lamartine Távora. **Estudo Comparativo de Previsão Entre Redes Neurais Artificiais, Máquina de Suporte Vetorial e Modelos Lineares: uma aplicação à estrutura a termo das taxas de juro,** .2012

LUDWIG O, NUNES, U. **Improving the Generalization Properties of Neural Networks: an Application to Vehicle Detection** . in 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems -ITSC 2008, October 12-15, Beijing, China.

KING, R., **The Interaction of Power Line Electromagnetic Fields with the Human Body,** IEEE Engineering in Medicine and Biology, Nov/Dec, pp. 67-78, 1998.

MARTINI, Frederic H. **Atlas do Corpo Humano**. Ed. 6 Porto Alegre, RS, 2009.

MARTINI, Frederic H.; TIMMONS, Michael J.;TALLITSCH, Robert B. **Anatomia Humana**. Ed. 6 Porto Alegre, RS, 2009.

MUROTANI, NISHI-KU, KOBE, HYOGO, **User's Guide** , Agilent Technologies, Japan, 2002.

NATIONAL OSTEOPOROSIS FOUNDATION. **Clinician's Guide to Prevention and Treatment of Osteoporosis**. Washington, DC: Nacional Osteoporosis Foundation; 2010.

POZAR, D. M. **Microwave Engineering.** New Jersey USA: Jhon Wiley Sons, 1998.

PACIFICI, R., RUPICH, R., GRIFFIN, M., CHINES, A., SUSMAN N., & AVIOLI, L. V. (1990). **Dual energy radiography versus quantitative computer tomography for the diagnosis of osteoporosis**. J. Clin.Endocrinol.Metab., 70, 705–10

RAPPAPORT, T.S.; **Wireless Communications – Principles & Practice.** Prentice Hall Communications Engineering and Emerginn Technologies Series. ISBN 0-13-375536-3. USA, 1996.

SADIKU, Matthew N. O. **Elementos do Eletromagnetismo**. Ed. 3, São Paulo, SP, 2004.

SALLES, A. A. A., **Efeitos Biológicos dos Telefones Celulares Portáteis,** Dept. Eng. Elétrica da UFRGS, Revista Sociedade Brasileira de Telecomunicações, Vol 11, nº1, 1996.

SILVA, Ivan Nunes da; SPATTI, Danilo Hernane; FLAUZINO, Rogério Andrade. **Redes Neurais Artificiais Para Engenharia e Ciências Aplicadas.** São Paulo, SP, 2010.

TAFNER, Malcon Anderson. **Redes neurais artificiais, introdução e princípios da neurocomputação.** Blumenau: EKO: Ed. Da FURB, 1995.

U.S. DEPARTAMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, **Office of the Surgeon General**, 2004.

U.S. DEPARTAMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. **Bone Health and Osteoporosis: A Report of the Surgeon General.** Rockville, MD:

ZABAGLIA, SF, COSTA-PAIVA, LH, PINTO-NETO AM (2001) **Is tubal ligation a risk factor for a reduction of bone mineral density in postmenopausal women?** RGBO 23:621.

User´s Guide – High Frequency Structure Simulator (HFSS), Ansoft Corporation, Ed. Rev 1.0, 2005.

Anexo A
Conteúdo do arquivo “bonetrain” para Kernel RBF

```
svm_type c_svc
kernel_type rbf
gamma 8
nr_class 2
total_sv 172
rho 0.0380547
label 1 -1
nr_sv 86 86
SV
2 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.806283
2 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.764601
1.979990752804654 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.746637
2 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.793167
2 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.767509
2 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.759884
2 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.752372
2 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.825768
2 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.748511
2 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.765601
2 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.75886
2 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.748641
2 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.751539
2 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.497261
1.520109262397314 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.556587
2 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.536068
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.834161
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.869658
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.885375
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.880376
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.874769
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.766056
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.8378
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.85203
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.79572
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.848872
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.874992
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.906022
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.882552
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.89035
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.904983
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.879615
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.847125
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.895616
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.850656
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.860339
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.891411
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.873703
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.882455
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.840301
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.905158
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.820556
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.910392
```

```
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.89873
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.877727
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.904756
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.84895
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.864607
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.830255
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.757113
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.834224
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.85902
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.851253
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.861536
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.789607
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.910742
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.84641
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.823225
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.841655
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.882779
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.848362
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.820238
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.907213
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.837525
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.877672
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.879406
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.844292
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.754639
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.889652
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.889998
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.851166
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.856534
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.871553
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.885716
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.841814
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.855942
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.878168
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.854829
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.82343
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.908506
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.888067
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.885066
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.801517
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.902934
2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.913003
1.598385265811953 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.913424
-2 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.807418
-2 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.831102
-2 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.811308
-2 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.78406
-2 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.807985
-2 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.835562
-2 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.805617
-2 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.833594
-2 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.833586
-1.867590255808872 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.843338
-2 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.833783
-2 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.828619
-2 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.803809
```

```
-2 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.381929
-1.538485128810106 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.374156
-2 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.40746
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.846781
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.847543
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.805717
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.823345
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.9735
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.914659
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.849408
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.818399
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.865845
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.878603
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.807346
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.865194
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.832978
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.822026
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.853493
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.847002
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.827542
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.824432
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.85875
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.854503
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.80626
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.834892
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.814022
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.805708
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.820438
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.804169
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.907375
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.807716
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.841383
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.929968
-1.692409896394942 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.802121
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.810036
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.84921
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.840749
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.821445
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.949515
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.813307
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.809233
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.875989
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.851203
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.864441
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.83487
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.86523
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.877778
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.883375
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.88372
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.833148
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.806814
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.859148
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.820254
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.851171
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.884766
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.893217
```

```
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.887678
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.827937
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.910718
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.937773
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.87495
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.806437
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.845967
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.834159
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.873219
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.890184
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.868996
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.843066
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.899924
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.836439
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.885659
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.856142
-2 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.909875
```

Anexo B
Conteúdo do arquivo “bonetrain.one” para Kernel Linear de classe única

```
svm_type one_class
kernel_type linear
nr_class 2
total_sv 152
rho 12.5517
SV
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.887325
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.978656
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.932996
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.867024
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.879529
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.885262
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.907027
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.913318
0.7625280236372267 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.85628
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.885328
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.913279
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.964289
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.936182
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.927829
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.919601
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.883708
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.878524
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.876509
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:1
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.882951
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.915371
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.882469
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.881436
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.87601
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.934092
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.897785
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.926707
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.905935
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.863088
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.899831
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.904587
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.889135
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.915513
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.871947
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.909165
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.86364
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.864835
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.918688
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.880819
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.912828
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.876701
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.164058
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.170362
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.160989
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.198946
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.181611
```

```
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.189804
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.06241
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.148796
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.141941
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.180783
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.204377
0.8049572079152731 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.207277
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.200382
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.186317
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.14059
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.19408
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.187153
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.0625405
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.103293
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.138663
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.175628
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.163138
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.177411
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.132108
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.185919
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.178257
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.202703
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.126177
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.143563
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.206275
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.101067
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.179403
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.126527
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.122448
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.104252
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.156016
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.134474
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.137059
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.041728
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.117316
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.160374
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.179308
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.123302
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.145863
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.148791
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.206939
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.12899
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.157018
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.207164
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.113534
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.2008
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.818335
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.857219
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.874436
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.868961
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.862819
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.743731
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.822322
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.837909
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.776225
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.83445
```

```
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.863062
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.871344
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.879886
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.868127
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.832536
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.885655
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.836405
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.847011
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.881048
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.86165
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.871238
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.825061
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.803432
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.889066
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.866059
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.834536
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.851686
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.814057
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.733934
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.818404
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.845566
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.837058
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.848322
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.769529
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.831753
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.806356
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.826544
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.871593
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.833891
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.803083
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.82202
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.865999
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.867898
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.829432
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.731224
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.879121
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.879501
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.836963
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.842843
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.859296
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.87481
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.826719
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.842195
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.866542
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.840976
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.80658
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.877385
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.874097
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.782576
0.9325147684475001 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.893671
```

Anexo C
Conteúdo do arquivo “bonetrain.model” para Kernel Linear de classe duas classes

```
svm_type c_svc
kernel_type linear
nr_class 2
total_sv 337
rho 3.28728
label 1 -1
nr_sv 168 169
SV
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.722909
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.666668
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.66736
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.686473
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.659774
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.668864
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.672264
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.690194
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.806283
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.764601
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.687339
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.676965
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.661044
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.704376
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.715792
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.721025
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.740894
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.746637
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.666193
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.671595
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.694568
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.721085
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.746602
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.793167
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.681392
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.767509
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.759884
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.752372
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.719607
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.714874
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.713034
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.825768
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.718916
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.748511
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.658317
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.718475
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.717533
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.712579
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.669071
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.765601
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.732457
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.75886
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.739897
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.700782
```

```
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.734325
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.738667
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.691258
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.674854
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.724561
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.748641
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.70887
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.742846
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.701287
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.702378
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.683585
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.692128
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.751539
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.662796
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.716969
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.662989
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.693299
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.746189
1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.71321
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.497261
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.556587
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.536068
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.566496
0.8905870139894889 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.575511
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.561469
1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.56028
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.834161
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.869658
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.885375
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.880376
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.952806
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.874769
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.766056
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.8378
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.85203
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.79572
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.848872
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.874992
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.906022
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.882552
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.89035
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.904983
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.879615
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.96215
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.847125
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.895616
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.850656
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.94629
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.860339
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.891411
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.946478
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.873703
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.882455
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.840301
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.905158
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.820556
```

```
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.923091
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.910392
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.959167
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.89873
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.877727
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.904756
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.84895
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.864607
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.830255
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.757113
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.834224
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.85902
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.956758
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.851253
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.861536
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.919841
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.789607
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.910742
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.948084
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.84641
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.823225
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.841655
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.882779
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.848362
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.820238
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.907213
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.837525
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.934764
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.877672
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.879406
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.844292
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.754639
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.920854
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.889652
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.889998
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.918891
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.851166
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.950153
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.856534
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.871553
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.885716
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.841814
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.949007
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.855942
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.878168
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.928576
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.854829
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.82343
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.922138
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.908506
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.92597
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.888067
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.885066
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.922707
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.942088
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.801517
```

```
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.902934
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.956098
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.943258
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.914526
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.913003
0.3665769774384937 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.969384
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.968493
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.933784
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.959359
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.94649
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.913424
1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.936531
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.807418
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.855732
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.854428
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.831102
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.811308
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.886507
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.78406
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.807985
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.835562
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.860181
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.805617
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.877538
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.870691
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.833594
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.882072
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.896424
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.878464
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.889609
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.833586
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.881748
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.870016
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.86525
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.869979
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.880045
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.885369
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.862087
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.897489
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.843338
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.863239
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.847107
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.845819
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.893014
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.874518
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.863337
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.902621
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.874994
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.86915
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.872662
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.889327
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.863308
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.833783
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.887441
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.855655
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.891167
```

```
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.894217
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.865782
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.828619
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.880684
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.803809
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.882761
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.901072
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.892754
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.868579
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.851192
-0.212297008319661 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.903416
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.891558
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.901081
-1 1:1 2:-0.111111 3:-5.55112e-16 4:1 5:0.898092
-1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.364085
-1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.345092
-1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.381929
-1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.374156
-0.04486698310832115 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.330217
-1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.359229
-1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.338834
-1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.40746
-1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.341961
-1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.335188
-1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.354145
-1 1:1 2:1 3:1 4:0.333333 5:-0.334676
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.846781
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.847543
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.752213
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.805717
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.823345
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.9735
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.914659
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.779861
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.849408
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.763468
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.818399
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.73981
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.865845
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.878603
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.807346
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.865194
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.832978
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.822026
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.853493
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.847002
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.827542
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.824432
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.85875
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.854503
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.766897
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.80626
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.834892
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.814022
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.758587
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.805708
```

```
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.777205
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.820438
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.804169
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.780748
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.907375
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.763905
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.807716
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.752693
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.751171
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.841383
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.929968
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.802121
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.810036
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.779661
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.84921
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.840749
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.793416
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.773229
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.821445
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.949515
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.778895
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.813307
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.809233
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.875989
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.851203
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.753786
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.771937
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.796695
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.781593
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.796628
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.864441
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.83487
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.86523
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.877778
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.799811
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.883375
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.88372
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.762411
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.786385
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.833148
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.787254
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.806814
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.859148
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.820254
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.851171
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.732655
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.884766
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.893217
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.771506
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.887678
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.791948
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.827937
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.910718
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.937773
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.87495
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.806437
```

```
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.796598
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.845967
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.834159
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.873219
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.890184
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.868996
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.843066
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.899924
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.836439
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.885659
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.769875
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.856142
-1 1:-1 2:-1 3:-1 4:-1 5:-0.909875
```

Anexo D
Conteúdo do arquivo “bonetrain.scale”

```
5 -7 85.9736
-1 -7 53.7954
5 -1 89.604
-1 -1 80.363
11 -7 89.4389
11 -1 89.4389
5 -13 52.1452
-1 -13 52.1452
11 -13 86.4686
-3 -7 53.7954
-3 -1 65.0165
-3 -13 52.1452
5 1 89.4389
-1 1 87.7888
11 1 89.2739
-3 1 80.5281
9 -7 89.2739
9 -1 89.2739
9 -13 66.3366
9 1 89.1089
5 -11 48.3498
-1 -11 52.1452
11 -11 88.7789
-3 -11 52.1452
9 -11 86.3036
3 -7 66.3366
3 -1 89.2739
3 -13 52.1452
3 1 89.604
3 -11 52.1452
5 -5 88.2838
-1 -5 47.6898
11 -5 89.2739
-3 -5 53.7954
9 -5 89.604
3 -5 82.1782
15 -7 89.4389
15 -1 89.2739
15 -13 89.2739
15 1 88.9439
15 -11 89.4389
15 -5 89.4389
5 -15 52.1452
-1 -15 52.1452
11 -15 66.3366
-3 -15 52.1452
9 -15 48.3498
3 -15 52.1452
15 -15 88.4488
-5 -7 53.7954
-5 -1 66.1716
-5 -13 52.1452
```

-5 1 73.5974
-5 -11 52.1452
-5 -5 53.7954
-5 -15 52.1452
5 3 89.1089
-1 3 89.1089
11 3 89.1089
-3 3 87.6238
9 3 88.9439
3 3 89.2739
15 3 88.9439
-5 3 81.8482
7 -7 88.6139
7 -1 89.1089
7 -13 48.3498
7 1 89.2739
7 -11 66.3366
7 -5 89.2739
7 -15 52.1452
7 3 89.2739
5 -9 66.5017
-1 -9 52.4752
11 -9 89.2739
-3 -9 52.4752
9 -9 88.7789
3 -9 48.3498
15 -9 89.604
-5 -9 52.4752
7 -9 86.1386
1 -7 48.8449
1 -1 87.6238
1 -13 52.1452
1 1 89.1089
1 -11 52.1452
1 -5 65.5116
1 -15 52.1452
1 3 89.769
1 -9 52.4752
5 -3 88.9439
-1 -3 64.3564
11 -3 89.2739
-3 -3 48.0198
9 -3 89.2739
3 -3 87.7888
15 -3 89.2739
-5 -3 50.0
7 -3 89.604
1 -3 81.6832
13 -7 89.4389
13 -1 88.9439
13 -13 88.7789
13 1 89.1089
13 -11 89.2739
13 -5 89.4389
13 -15 86.4686
13 3 88.9439

```
13 -9 89.4389
13 -3 89.4389
```